A Informação A Informação A Informação
A Informação A Informação A Informação
A Informação A Informação A Informação
A Informação A Informação A Informação
A Informação A Informação A Informação
A Informação A Informação James Gleick
A Informação A Informação James Gleick
A Informação A Informação James Gleick
A Informação A Informação James Gleick
A Informação A Informação James Gleick
A Informação A Informação James Gleick
A Informação A Informação James Gleick
A Informação A Informação James Gleick
A Informação A Informação James Gleick
A Informação A Informação James Gleick
A Informação A Informação James Gleick
A Informação Uma Teoria, James Gleick
A Informação A Informação James Gleick
A Informação A Informação James Gleick
A Informação A Informação James Gleick
A Informação A Informação James Gleick
A Informação A Informação Autor de Caos
A Informação Uma Enxurrada Autor de Caos
A Informação A Informação Autor de Caos
Uma História, Autor de Caos
A Informação Autor de Caos

Companhia Das Letras

# DADOS DE COPYRIGHT

## Sobre a obra:

A presente obra é disponibilizada pela equipe ***Le Livros*** e seus diversos parceiros, com o objetivo de oferecer conteúdo para uso parcial em pesquisas e estudos acadêmicos, bem como o simples teste da qualidade da obra, com o fim exclusivo de compra futura.

É expressamente proibida e totalmente repudiável a venda, aluguel, ou quaisquer uso comercial do presente conteúdo

## Sobre nós:

O ***Le Livros*** e seus parceiros disponibilizam conteúdo de dominio publico e propriedade intelectual de forma totalmente gratuita, por acreditar que o conhecimento e a educação devem ser acessíveis e livres a toda e qualquer pessoa. Você pode encontrar mais obras em nosso site: ***LeLivros.site*** ou em qualquer um dos sites parceiros apresentados neste link.

***"Quando o mundo estiver unido na busca do conhecimento, e não mais lutando por dinheiro e poder, então nossa sociedade poderá enfim evoluir a um novo nível."***

JAMES GLEICK

# A informação

## *Uma história, uma teoria, uma enxurrada*

*Tradução*
Augusto Calil

Companhia Das Letras

*Para Cynthia*

*Seja como for, aquelas passagens, as antigas, não informavam o destino, e muito menos o ponto de partida. Ele não conseguia se lembrar de ter visto nelas nenhum tipo de data, e certamente não era feita nenhuma menção ao horário. Tudo era diferente agora, claro. Todas aquelas informações. Archie se perguntou qual seria a razão daquilo.*

Zadie Smith

*O que chamamos de passado é construído sobre bits.*

John Archibald Wheeler

# Prólogo

> *O problema fundamental da comunicação é reproduzir num determinado ponto, seja exata, seja aproximadamente, uma mensagem selecionada num outro ponto. As mensagens costumam ter um significado.*
>
> Claude Shannon, 1948

Depois de 1948, que foi o ano crucial, as pessoas imaginaram ser capazes de apontar um propósito claro a inspirar a obra de Claude Shannon, mas esse é um olhar contaminado por desdobramentos posteriores. A visão dele era bem outra: *Minha mente vaga por aí, e penso em coisas diferentes dia e noite. Como um autor de ficção científica, ponho-me a pensar: "E se as coisas fossem assim?"*.[1]

Por acaso, 1948 foi o ano em que os Laboratórios Telefônicos da Bell anunciaram a invenção de um pequeno semicondutor eletrônico, "um dispositivo de simplicidade impressionante", capaz de fazer tudo aquilo que uma válvula termiônica fazia, e de modo mais eficiente. Consistia numa lasca cristalina, tão pequena que centenas delas caberiam na palma de uma mão. Em maio, os cientistas formaram uma comissão para batizar o invento, e foram distribuídas cédulas de papel aos principais engenheiros de Murray Hill, Nova Jersey, relacionando algumas opções: *triodo semicondutor*… *iotatron*… *transistor* (um híbrido de *varistor* e *transcondutância*). Transistor foi o nome vencedor. "Isto pode ter um significado de grande alcance na eletrônica e na comunicação elétrica", declararam os Laboratórios Bell num comunicado à imprensa e, fugindo à regra, a realidade superou as expectativas. O transistor deu início a uma revolução na eletrônica, colocando a tecnologia no rumo da miniaturização e da onipresença, e logo garantiu para seus três principais inventores o prêmio Nobel. Para o laboratório, aquela era a joia da coroa. Mas esse foi apenas o segundo avanço mais importante daquele ano. O transistor era apenas um equipamento.

Uma invenção ainda mais profunda e fundamental surgiu numa monografia publicada em 79 páginas da *Revista Técnica dos Sistemas Bell* nas edições de julho e outubro. Ninguém se preocupou em fazer um comunicado à imprensa. Ela trazia um título ao mesmo tempo simples e grandioso — "Uma teoria

matemática da comunicação” —, e a mensagem era difícil de ser resumida. Mas ela se tornou o fulcro em torno do qual o mundo passou a girar. Como o transistor, esse avanço também envolveu um neologismo: a palavra “bit”, escolhida nesse caso não por uma comissão, e sim pelo autor, um homem de 32 anos chamado Claude Shannon.[2] O bit então se juntou à polegada, à libra, ao quarto de galão e ao minuto e passou a ser visto como uma quantidade determinada — uma unidade fundamental de medida.

Mas para medir o quê? “Uma unidade de medida da informação”, escreveu Shannon, como se algo como a informação fosse mensurável e quantificável.

Shannon supostamente pertencia ao grupo de pesquisas matemáticas dos Laboratórios Bell, mas costumava trabalhar sozinho.[3] Quando o grupo abandonou a sede da empresa em Nova York em busca de novos e reluzentes escritórios nos subúrbios de Nova Jersey, ele ficou para trás, ocupando um cubículo no prédio antigo, um edifício de doze andares construído com tijolos de barro em West Street, com os fundos industriais voltados para o rio Hudson e a fachada de frente para o Greenwich Village. Ele gostava de ir a pé para o trabalho, e gostava do bairro, próximo ao centro da cidade, onde podia ouvir clarinetistas de jazz nas casas noturnas que ficavam abertas até tarde. Flertava timidamente com uma jovem que trabalhava no grupo de pesquisas com micro-ondas dos Laboratórios Bell na antiga fábrica da Nabisco, uma construção de dois andares que ficava do outro lado da rua. As pessoas o consideravam um jovem inteligente. Logo depois de se formar pelo Massachusetts Institute of Technology (mit) ele mergulhou no trabalho realizado pelos laboratórios para a guerra, primeiro desenvolvendo um direcionador automático de controle de fogo para as baterias antiaéreas, e depois se concentrando nos fundamentos matemáticos da comunicação secreta — criptografia — e criando uma prova matemática para demonstrar que o chamado Sistema x, uma linha telefônica direta entre Winston Churchill e o presidente Roosevelt, era seguro. Por tudo isso, a chefia enfim concordou em deixá-lo trabalhar em paz, apesar de não saberem exatamente o que ele estava fazendo.

Em meados do século, a American Telephone & Telegraph Company (at&t) não exigia resultados imediatos de sua divisão de pesquisas. A empresa permitia

desvios para os ramos da matemática e da astrofísica sem nenhuma motivação comercial aparente. Fosse como fosse, a ciência moderna fazia parte, direta e indiretamente, da missão da empresa, que era vasta, monopolista e de abrangência quase ilimitada. Ainda assim, por mais ampla que fosse, o assunto principal tratado pela empresa de telefonia permaneceu um pouco fora de foco. Em 1948 mais de 125 milhões de conversas passavam diariamente pelos 222 milhões de quilômetros de cabos da Bell System e por 31 milhões de aparelhos telefônicos.[4] O Bureau Censitário relatou esses fatos sob a rubrica "Comunicações nos Estados Unidos", mas tudo isso não passava de medidas primitivas para mensurar o volume de comunicação no país. O censo contou também vários milhares de estações emissoras de rádio e algumas dúzias de emissoras de televisão, além de jornais, livros, panfletos e correspondência em geral. O correio contava as cartas e os pacotes que passavam por suas agências, mas o que, exatamente, transportava o sistema da Bell, e qual unidade deveríamos usar para quantificar esse transporte? Certamente não seriam as *conversas*; nem as *palavras* e, sem dúvida, nem os *caracteres*. Talvez fosse apenas eletricidade. Os engenheiros da empresa eram engenheiros elétricos. Todos compreendiam que a eletricidade servia como substituta do som, o som da voz humana, ondulações no ar que entravam no microfone do telefone e eram convertidas em formas de onda elétrica. Essa conversão era a essência do avanço do telefone em relação ao telégrafo — a tecnologia anterior, que já parecia tão obsoleta. A telegrafia dependia de um tipo diferente de conversão: um código de pontos e traços, sem relação com o som e tendo como base o alfabeto escrito, que era, por sua vez, um código em si. De fato, ao analisar atentamente a questão hoje, podemos ver uma cadeia de abstração e conversão: os pontos e traços representando letras do alfabeto; as letras representando sons e, combinadas, formando palavras; as palavras representando em última análise algum substrato de significado, uma questão que talvez pertencesse ao campo dos filósofos.

O sistema Bell não contava com nenhum desses pensadores, mas a empresa contratara seu primeiro matemático em 1897: George Campbell, um morador de Minnesota que tinha estudado em Göttingen e Viena. Ele confrontou logo de cara um problema sério das primeiras transmissões telefônicas. Os sinais eram distorcidos conforme passavam pelos circuitos; quanto maior a distância, pior a

distorção. A solução de Campbell era em parte matemática e em parte engenharia elétrica.[5] Seus empregadores aprenderam a não se preocupar muito com essa distinção. O próprio Shannon, quando estudante, nunca conseguiu decidir se optaria pela carreira de engenheiro ou pela de matemático. Para os Laboratórios Bell ele era ambas as coisas, quer desejasse ou não, encarando com pragmatismo os circuitos e relês, mas demonstrando mais intimidade com o domínio da abstração simbólica. A maioria dos engenheiros da comunicação concentrava suas atenções em problemas físicos, como amplificação e modulação, distorção de fase e degradação na proporção entre sinal e ruído. Shannon gostava de jogos e charadas. Códigos secretos o fascinavam desde quando ele era apenas um menino que lia Edgar Allan Poe. Era capaz de relacionar diferentes assuntos com uma capacidade espantosa. Na época de assistente de pesquisas em seu primeiro ano no mit, trabalhou num protocomputador de cem toneladas, o Analisador Diferencial de Vannevar Bush, capaz de solucionar equações com grandes engrenagens móveis, dutos e rodas. Aos 22 anos, escreveu uma dissertação que aplicava uma ideia do século xix, a álgebra da lógica de George Boole, ao projeto de circuitos elétricos. (Lógica e eletricidade — uma combinação peculiar.) Mais tarde, trabalhou com o matemático e lógico Hermann Weyl, que ensinou a ele o que era a teoria: “As teorias permitem que a consciência ‘salte por cima da própria sombra’, deixando para trás aquilo que é dado, representando aquilo que transcende, ainda que, como é autoevidente, apenas em símbolos”.[6]

Em 1943, o matemático britânico e decifrador de códigos Alan Turing visitou os Laboratórios Bell numa missão criptográfica e se encontrou com Shannon algumas vezes na hora do almoço, quando trocaram especulações sobre o futuro das máquinas pensantes artificiais. (“Shannon não quer alimentar um Cérebro apenas com *dados*, mas também com elementos culturais!”,[7] exclamou Turing. “Ele quer tocar música para o aparelho!”) O caminho de Shannon também se cruzou com o de Norbert Wiener, que tinha sido seu professor no mit e, em 1948, já propunha a criação de uma nova disciplina, que seria batizada de “cibernética”, o estudo da comunicação e do controle. Enquanto isso, Shannon começou a dedicar uma atenção especial aos sinais da televisão, e com um ponto de vista peculiar: imaginando se o conteúdo deles poderia ser compactado ou

comprimido de maneira a permitir uma transmissão mais rápida. Lógica e circuitos se combinaram para criar algo novo e híbrido, assim como os códigos e os genes. À sua maneira solitária, na busca por uma estrutura capaz de combinar tantas meadas, Shannon começou a elaborar uma teoria para a informação.

A matéria-prima estava por toda parte, reluzindo e zumbindo na paisagem do início do século xx, letras e mensagens, sons e imagens, notícias e instruções, abstrações e fatos, sinais e signos: uma mistura de espécies relacionadas. E estavam em movimento, fosse pelo correio, por fio ou via onda eletromagnética. No entanto, não havia uma palavra que denotasse tudo aquilo. “Intermitentemente”, escreveu Shannon a Vannevar Bush no mit em 1939, “tenho trabalhado numa análise de algumas das propriedades fundamentais dos sistemas gerais para a transmissão da inteligência.”[8] “Inteligência”: esse era um termo flexível, muito antigo. “Agora usado como palavra elegante”, escreveu Sir Thomas Elyot no século xvi, “nas situações de tratados mútuos ou compromissos, seja por carta, seja por mensagem.”[9] Mas esse termo também tinha outros significados. Alguns engenheiros, especialmente nos laboratórios telefônicos, começaram a falar em *informação*. Eles usavam a palavra de maneira a sugerir algo técnico: quantidade de informação, ou medida de informação. Shannon adotou esse uso.

Para os propósitos da ciência, “informação” tinha de significar algo especial. Três séculos antes, a nova disciplina da física só pôde tomar forma depois que Isaac Newton se apropriou de palavras que eram antigas e vagas — “força”, “massa”, “movimento” e até “tempo” — e conferiu a elas novos significados. Newton transformou esses termos em quantidades, medidas adequadas para serem usadas em fórmulas matemáticas. Até então, “movimento” (por exemplo) era um termo tão flexível e abrangente quanto “informação”. Para os aristotélicos, o movimento dava conta de uma vasta família de fenômenos: o amadurecimento de um pêssego, a queda de uma pedra, o crescimento de uma criança, a decadência de um corpo. Tudo isso era vasto demais. A maioria das variedades de movimento teve de ser descartada antes que as leis de Newton

pudessem se aplicar à realidade e a Revolução Científica pudesse triunfar. No século xix, o termo “energia” começou a sofrer uma transformação parecida: uma palavra que para os filósofos naturais significava vigor ou intensidade foi transferida para o âmbito da matemática, conferindo à energia seu lugar fundamental na visão que os físicos têm da natureza.

O mesmo ocorreu com a informação. Um ritual de purificação se tornou necessário.

E então, depois de ter sido transformada em algo mais simples, destilada, contabilizada em bits, a informação passou a ser encontrada por toda parte. A teoria de Shannon construiu uma ponte entre a informação e a incerteza; entre a informação e a entropia; e entre a informação e o caos. Levou aos cds e aos aparelhos de fax, aos computadores e ao ciberespaço, à lei de Moore e a todas as empresas pontocom do mundo. Assim nasceu o processamento de informações, junto com o armazenamento de informações e o acesso à informação. As pessoas começaram a nomear uma sucessora para a Era do Ferro e a Era do Vapor. “O homem, coletor de comida, reaparece de maneira incongruente como coletor de informação”,[10] comentou Marshall McLuhan em 1967.[a] Ao escrever isso, ele se antecipou em alguns segundos à aurora dos computadores e do ciberespaço.

Podemos agora ver que a informação é aquilo que alimenta o funcionamento do nosso mundo: o sangue e o combustível, o princípio vital. Ela permeia a ciência de cima a baixo, transformando todos os ramos do conhecimento. A teoria da informação começou como uma ponte da matemática para a engenharia elétrica e daí para a computação. Não à toa, a ciência da computação também é conhecida pelo nome de informática. Hoje até a biologia se tornou uma ciência da informação, sujeita a mensagens, instruções e códigos. Os genes encapsulam informações e permitem procedimentos para que estas sejam lidas a partir deles e inscritas neles. A vida se expande por meio do estabelecimento de redes. O próprio corpo é um processador de informações. A memória reside não apenas no cérebro, mas em cada célula. Não surpreende que a genética tenha florescido junto com a teoria da informação. O dna é a molécula de informação quintessencial, o mais avançado processador de mensagens no nível celular — um alfabeto e um código, bilhões de bits para formar um ser humano. “Aquilo

que jaz no coração de todas as coisas vivas não é uma chama, nem um hálito quente, nem uma ‘faísca de vida’”,[11] declarou o teórico da evolução Richard Dawkins. “É a informação, palavras, instruções. […] Se quiser compreender a vida, não pense nas gosmas e melecas pulsantes e fluidas, e sim na tecnologia da informação.” As células de um organismo são nódulos de uma rede de comunicações ricamente entrelaçada, transmitindo e recebendo, codificando e decodificando. A própria evolução é o resultado de uma troca contínua de informações entre organismo e meio ambiente.

“O ciclo da informação se torna a unidade da vida”,[12] diz Werner Loewenstein depois de trinta anos estudando a comunicação intercelular. Ele nos lembra que *informação* hoje significa algo mais profundo: “O termo traz a conotação de um princípio cósmico de organização e ordem, e nos proporciona uma medida exata disso”. O gene também conta com um equivalente cultural: o meme. Na evolução cultural, um meme é um replicador e um propagador — uma ideia, uma moda, uma corrente de correspondência. Num dia ruim, um meme é um vírus.

A economia está se reorganizando nos moldes de uma ciência da informação, agora que o próprio dinheiro está concluindo um arco de desenvolvimento da matéria para os bits, armazenado na memória de computadores e em fitas magnéticas, e que as finanças mundiais correm pelo sistema nervoso global. Mesmo quando o dinheiro parecia ser um tesouro material, ocupando espaço nos bolsos, nos compartimentos de carga dos navios e nos cofres dos bancos, ele sempre foi informação. Moedas e notas, siclos e búzios foram todas tecnologias de vida igualmente curta para o registro da informação que determina quem é dono do quê.

E quanto aos átomos? A matéria tem sua própria moeda, e a ciência mais exata dentre as naturais, a física, parece ter chegado à maturidade. Mas até a física hoje se vê varrida por um novo modelo intelectual. Nos anos posteriores à Segunda Guerra Mundial, momento de glória dos físicos, as grandes notícias científicas pareciam ser a divisão do átomo e o controle sobre a energia nuclear. Os teóricos concentraram seu prestígio e seus recursos na busca por partículas fundamentais e pelas leis que regem a interação entre elas, a construção de

gigantescos aceleradores e a descoberta de quarks e glúons. O ramo da pesquisa em comunicação não poderia parecer mais distante desse tão festejado empreendimento. Nos Laboratórios Bell, Claude Shannon não estava pensando na física. Os físicos que estudavam as partículas não precisavam de bits.

E então, de uma hora para a outra, esses cientistas passaram a precisar deles. Cada vez mais, os físicos e os teóricos da informação são iguais uns aos outros, tornam-se uma mesma coisa. O bit é uma partícula fundamental de outro tipo: não apenas minúsculo, mas também abstrato — um dígito binário, um circuito flip-flop, um sim-ou-não. Trata-se de algo sem substância, mas, à medida que os cientistas enfim começam a compreender a informação, eles se perguntam se esta não seria a questão principal: mais fundamental do que a própria matéria. Eles sugeriram que o bit seria o núcleo irredutível e que a informação compõe o próprio cerne da existência. Estabelecendo uma ponte entre a física do século xx e a do xxi, John Archibald Wheeler, colaborador de Einstein e também de Bohr, apresentou este manifesto monossilábico e oracular: “Do bit ao ser”. A informação possibilita a existência de “cada ser — cada partícula, cada campo de força, até o próprio continuum espaço-tempo”.[13] Essa é outra maneira de considerar o paradoxo do observador: o fato de o resultado de um experimento ser afetado, ou até determinado, quando este é observado. Além de estar observando, o observador também faz perguntas e afirmações que por fim precisam ser expressas em bits distintos. “Aquilo que chamamos de realidade”, escreveu Wheeler, timidamente, “surge em última análise das perguntas no formato sim-ou-não que fazemos a nós mesmos.” Ele acrescentou: “Tudo aquilo que é físico tem uma origem informacional-teórica, e estamos num universo participativo”. Todo o universo passa assim a ser visto como um computador — uma máquina cósmica de processamento de informações.

Uma chave para esse enigma é um tipo de relacionamento que não tinha lugar na física clássica: o fenômeno conhecido como entrelaçamento quântico. Quando partículas ou sistemas quânticos estão entrelaçados, suas propriedades se mantêm correlacionadas por vastas distâncias e longos períodos. Separados por anos-luz, eles partilham algo que é físico, mas não apenas físico. Surgem espantosos paradoxos, que permanecem insolúveis até que alguém compreenda

como o entrelaçamento quântico codifica a informação, medida em bits ou no seu equivalente quântico de nome cômico, os qubits. Quando fótons e elétrons e outras partículas interagem entre si, o que estão fazendo, afinal? Trocando bits, transmitindo estados quânticos, processando informação. As leis da física são os algoritmos. Cada estrela incandescente, cada silenciosa nebulosa, cada partícula que deixa seu rastro fantasmagórico numa câmara de nuvens é um processador de informações. O universo computa seu próprio destino.

O quanto ele computa? A que velocidade? Qual é o tamanho de sua capacidade total de processar informações, quanto espaço há em sua memória? Qual é o elo entre energia e informação: qual é o custo energético de manipular um bit? São perguntas difíceis, mas não tão místicas ou metafóricas quanto podem parecer. Físicos e teóricos quânticos da informação, uma nova raça, enfrentam-nas juntos. Eles fazem as contas e produzem respostas experimentais. ("A contagem total de bits do cosmos, independentemente de como seja calculada, é igual a dez elevado a uma potência altíssima",[14] de acordo com Wheeler. Segundo Seth Lloyd: "Não mais que $10^{120}$ ops[b] em $10^{90}$ bits".[15]) Eles contemplam com um novo olhar os mistérios da entropia termodinâmica e aqueles famosos devoradores de informação, os buracos negros. "Amanhã", declarou Wheeler, "teremos aprendido a compreender e expressar *toda* a física nos termos da informação."[16]

À medida que o papel desempenhado pela informação se expande para além dos limites da capacidade humana, ela se torna excessiva. "É informação demais", dizem as pessoas hoje em dia. Temos fadiga informacional, ansiedade informacional, saturação informacional. Já conhecemos o Demônio da Sobrecarga de Informações e seus maléficos filhotes, o vírus de computador, o sinal de ocupado, o link desativado e a apresentação em formato PowerPoint. Tudo isso remonta a Shannon. Foram muitas mudanças em muito pouco tempo. Posteriormente, John Robinson Pierce (engenheiro dos Laboratórios Bell que cunhou o termo *transistor*) brincou: "É difícil imaginar como era o mundo antes de Shannon mesmo para aqueles que o habitavam. É difícil recuperar a

inocência, a ignorância e a falta de compreensão”.[17]

Mas o passado também é reexaminado sob essa luz. *No princípio era o verbo*, de acordo com João. Somos a espécie que batizou a si mesma de *Homo sapiens*, aquele que sabe — e então, depois de refletir a respeito, corrigimos para *Homo sapiens sapiens*. A maior dádiva de Prometeu à humanidade não foi o fogo, no fim das contas: “Também os números, a principal entre as ciências, fui eu que inventei para eles, e a combinação das letras, mãe criadora das artes das Musas, com a qual se torna possível reter tudo na memória”.[18] O alfabeto foi uma tecnologia fundadora da informação. O telefone, o aparelho de fax, a calculadora e, por fim, o computador são apenas as mais recentes inovações projetadas para armazenar, manipular e transmitir conhecimento. Nossa cultura absorveu um vocabulário funcional dessas úteis invenções. Falamos em comprimir dados, cientes de que isso é bem diferente de comprimir um gás. Nossa parafernália inclui iPods e telas de plasma, nossas habilidades incluem o envio de mensagens de texto e a capacidade de fazer buscas no Google, temos autonomia, somos especialistas, e por isso vemos a informação em primeiro plano. Mas ela sempre esteve lá. Ela também permeava o mundo de nossos ancestrais, assumindo formas sólidas ou etéreas, gravadas no granito e registradas nos sussurros dos cortesãos. O cartão de ponto, a caixa registradora, a Máquina Diferencial do século xix, os fios do telégrafo, todos desempenharam um papel na teia de aranha de informações à qual nos agarramos. À sua época, cada nova tecnologia da informação levou a avanços em seu armazenamento e sua transmissão. Da prensa de tipos móveis surgiram novos modelos de organizadores da informação: dicionários, enciclopédias, almanaques — compêndios de palavras, classificadores de fatos, árvores do conhecimento. As tecnologias da informação dificilmente se tornam obsoletas. Cada nova tecnologia traz para suas antecessoras um alento. Assim, Thomas Hobbes, no século xvii, resistiu à empolgação de sua era com o novo meio de comunicação que surgia: “Ainda que genial, a invenção da imprensa é insignificante se comparada à invenção das letras”.[19] Até certo ponto, ele tinha razão. Cada novo suporte transforma a natureza do pensamento humano. No longo prazo, a História é a história da informação adquirindo consciência de si mesma.

Algumas tecnologias da informação tiveram seu valor reconhecido na própria época, mas outras não. Entre as que foram muito pouco compreendidas estavam os tambores falantes da África.

---

a E acrescentou, secamente: “Nesse sentido, o homem eletrônico não é menos nômade do que seus ancestrais paleolíticos”.

b “Ops”: operações por segundo.

# 1. Tambores que falam
## (*Quando um código não é um código*)

> *Por todo o continente negro soam os tambores que nunca se calam:*
> *a base de toda a música, o foco de cada dança;*
> *os tambores falantes, a comunicação sem fios da selva desconhecida.*
>
> Irma Wassall, 19431

Ninguém falava de maneira simples e direta através dos tambores. Os percussionistas não diziam “Volte para casa”, e sim:

> Faça seus pés voltarem pelo caminho que vieram,
> faça suas pernas voltarem pelo caminho que vieram,
> plante seus pés e suas pernas logo abaixo
> na vila que nos pertence.2

Eles não diziam apenas “cadáver”, preferiam elaborar: “que jaz de costas sobre montes de terra”. Em vez de “Não tenha medo”, diziam: “Faça o coração descer da boca, tire o coração da boca, obrigue-o a descer daí”. Os tambores geravam jorros de oratória. Isso não parecia ser muito eficiente. Seria um caso de grandiloquência descontrolada? Ou outra coisa?

Durante muito tempo os europeus presentes na África subsaariana não souberam a resposta. Na verdade, eles nem sequer sabiam que os tambores transmitiam informações. Em suas próprias culturas, em certos casos um tambor podia ser um instrumento de sinalização, bem como o clarim e o sino, usados para transmitir um pequeno conjunto de mensagens: *atacar*; *recuar*; *ir à igreja*. Mas eles jamais poderiam imaginar que os tambores falassem. Em 1730, Francis Moore navegou rumo ao leste pelo rio Gâmbia, encontrando-o navegável até quase mil quilômetros acima, admirando pelo caminho as belezas do país e curiosas maravilhas como “ostras que cresciam nas árvores” (mangues).[3] Ele não era um grande naturalista. Estava fazendo um reconhecimento de terreno para

traficantes de escravos ingleses em reinos habitados por, aos olhos dele, diferentes raças de povos de cor escura, “como mundingoes, jolloiffs, pholeys, floops e portugueses”. Quando se deparou com homens e mulheres que carregavam tambores, feitos de madeira entalhada e chegando a quase um metro de comprimento, cuja largura se estreitava de cima para baixo, ele destacou que as mulheres dançavam agitadas ao som de sua música, e às vezes os tambores eram “tocados ao ser detectada a aproximação de um inimigo”, e por fim que, “em certas ocasiões muito extraordinárias”, os tambores invocavam a ajuda de cidades próximas. Mas isso foi tudo que ele foi capaz de perceber.

Um século mais tarde, o capitão William Allen, numa expedição ao rio Níger,[a] fez mais uma descoberta, depois de prestar atenção ao comportamento de seu piloto camaronês, a quem chamava de Glasgow. Eles estavam na cabine do barco a vapor quando, de acordo com a lembrança de Allen:

> De repente, ele se mostrou completamente alheio, e assim permaneceu, concentrado no que estava ouvindo. Quando foi chamada sua atenção, ele disse: “Você não ouve meu filho falar?”. Como não estávamos escutando nenhuma voz, perguntamos a Glasgow como ele sabia daquilo. Ele respondeu: “Tambor me falou, me diz subir no convés”. Isso pareceu ser bastante singular.4

O ceticismo do capitão deu lugar ao assombro, à medida que Glasgow o convencia de que cada pequena vila tinha essa “capacidade de correspondência musical”. Por mais que custasse a acreditar, o capitão finalmente aceitou que mensagens detalhadas de muitas frases podiam ser transmitidas à distância de quilômetros. “Muitas vezes ficamos surpresos”, escreveu ele, “ao perceber o quanto o som do trompete é bem compreendido em nossas evoluções militares; mas isso fica muito aquém do resultado obtido por aqueles selvagens incultos.” Aquele resultado era uma tecnologia muito desejada na Europa: comunicação de longa distância mais rápida do que qualquer mensageiro, fosse a pé, fosse a cavalo. Cortando o ar parado da noite sobre um rio, o bater do tambor podia chegar a uma distância de aproximadamente dez quilômetros. Transmitidas de vilarejo em vilarejo, as mensagens podiam percorrer mais de 150 quilômetros em questão de uma hora.

O anúncio de um nascimento em Bolenge, vilarejo do Congo Belga, dizia mais ou menos o seguinte:

*Batoko fala fala, tokema bolo bolo, boseka woliana imaki tonkilingonda, ale nda bobila wa fole fole, asokoka l'isika koke koke.*

As esteiras estão enroladas, sentimo-nos fortes, uma mulher veio da floresta, ela está na vila aberta, e basta por enquanto.

Um missionário, Roger T. Clarke, transcreveu o seguinte chamado para o funeral de um pescador:[5]

*La nkesa laa mpombolo, tofolange benteke biesala, tolanga bonteke bolokolo bole nda elinga l'enjale baenga, basaki l'okala bopele pele. Bojende bosalaki lifeta Bolenge wa kala kala, tekendake tonkilingonda, tekendake beningo la nkaka elinga l'enjale. Tolanga bonteke bolokolo bole nda elinga l'enjale, la nkesa la mpombolo*.

Ao raiar do dia, não queremos nos reunir para trabalhar, queremos nos reunir para brincar no rio. Homens que moram em Bolenge, não vão à floresta, não vão pescar. Queremos uma reunião para brincar no rio, ao raiar do dia.

Clarke destacou vários fatos. Apesar de apenas poucas pessoas aprenderem a se comunicar por meio dos tambores, quase todos eram capazes de compreender as mensagens contidas nos batuques. Alguns batucavam mais rápido, e outros, mais devagar. Certas expressões eram recorrentes, quase sempre inalteradas, mas diferentes percussionistas enviavam uma mesma mensagem usando diferentes termos. Clarke concluiu que a linguagem dos tambores era a um só tempo convencional e fluida. "Os sinais representam a tônica das sílabas de frases convencionais de uma natureza tradicional e altamente poética", sentenciou ele, e nisso estava correto, apesar de não ter sido capaz de dar o passo final no sentido de compreender o motivo daquilo.

Esses europeus falavam em "consciência nativa" e descreviam os africanos

como “primitivos” e “animistas”, mas, independentemente disso, perceberam que eles tinham alcançado o antigo sonho de toda cultura humana. Existia ali um sistema de transmissão de mensagens mais rápido do que os melhores mensageiros montados nos melhores cavalos cruzando as estradas de melhor qualidade, contando com entrepostos e parceiros de revezamento. Os sistemas de transmissão de mensagens transportadas a pé por via terrestre sempre produziram resultados decepcionantes. Seus exércitos os ultrapassavam. Júlio César, por exemplo, “com frequência chegava antes do mensageiro enviado para anunciar a sua vinda”,[6] como relatou Suetônio no século i. Mas os antigos não eram desprovidos de recursos. Os gregos usaram faróis de fogo na época da Guerra de Troia, no século xii a.C., de acordo com todos os relatos — ou seja, os de Homero, Virgílio e Ésquilo. Uma fogueira armada no cume de uma montanha podia ser vista por postos de sentinelas a uma distância de mais de trinta quilômetros, ou até mais longe em casos específicos. Na versão de Ésquilo, Clitemnestra recebe a notícia da queda de Troia naquela mesma noite, em Micenas, a seiscentos quilômetros de distância. “Que mensageiro chegaria tão depressa?”,[7] indaga o cético Coro.

Ela credita o feito a Hefesto, deus do fogo, que “mandou dos píncaros do Ida a sua chama lúcida”. Não se trata de um feito qualquer, o ouvinte precisa ser convencido; assim, Ésquilo faz Clitemnestra prosseguir por vários minutos relatando os detalhes do percurso: a chama mensageira originada no monte Ida foi carregada por sobre o norte do mar Egeu até a ilha de Lemnos; dali, seguiu para o monte Atos, na Macedônia; então rumou para o sul, cruzando planícies e lagos até chegar ao Macisto; depois ao Messápio, de onde foi vista “por gente alerta que depressa transmitiu a nítida mensagem vinda de tão longe”; ao Citéron; ao Egiplancto; e “ao alto monte Aracne, penúltima etapa, posto avançado atento de Argos”. “[…] finalmente daqui pudemos ver a luz alvissareira, vinda diretamente da primeira chama. Não foi em vão que transmiti as minhas ordens aos homens postos no percurso da mensagem”, orgulha-se ela. Um historiador alemão, Richard Hennig, traçou a rota, mediu o percurso da mensagem em 1908 e confirmou a plausibilidade de uma cadeia de fogueiras.[8] É claro que o significado da mensagem tinha que ser predefinido, efetivamente condensado num único bit. Uma escolha binária, *alguma coisa* ou *coisa*

*nenhuma*: o sinal de fogo significava *alguma coisa*, a qual, apenas daquela vez, correspondia a “Troia caiu”. A transmissão desse único bit exigiu imenso planejamento, muito trabalho, vigilância atenta e lenha. Muitos anos mais tarde, lanternas na igreja de Old North enviaram da mesma maneira um único e precioso bit a Paul Revere, uma escolha binária que ele repassou adiante: por terra ou pelo mar.

Ocasiões menos extraordinárias exigiam ainda mais capacidade. As pessoas tentaram bandeiras, cornetas, sinais de fumaça e trocas de reflexos entre espelhos. Elas conjuraram espíritos e anjos para atender aos propósitos da comunicação — e os anjos são, por definição, mensageiros divinos. A descoberta do magnetismo parecia ser especialmente promissora. Num mundo já repleto de magia, os ímãs encarnavam poderes ocultos. A magnetita atrai o ferro. Esse poder de atração se estende, invisível, pelo ar. E tal poder não é limitado pela água e nem mesmo por corpos sólidos. Um pedaço de magnetita segurado de um lado de uma parede pode movimentar um pedaço de ferro do outro lado. O mais intrigante é que o poder magnético parece capaz de coordenar objetos separados por imensas distâncias, em todo o planeta Terra: mais especificamente, as agulhas das bússolas. E se uma agulha fosse capaz de controlar outra? Essa ideia se disseminou — um “conceito”, escreveu Thomas Browne na década de 1640,

> sussurrado em todo o mundo com certa atenção, os ouvintes mais crédulos e vulgares acreditavam prontamente nele, e as consciências mais ajuizadas e distintas não o rejeitavam por completo. O conceito é excelente e, se o efeito esperado de fato ocorresse, isso teria algo de divino; assim poderíamos nos comunicar como espíritos, e nos reunir na Terra com Menipo na Lua.9

A ideia das agulhas “sintonizadas” aparecia sempre que se reuniam filósofos naturais e artistas ilusionistas. Na Itália um homem tentou vender a Galileu “um método secreto para se comunicar com outra pessoa a 2 mil ou 3 mil quilômetros de distância, por meio de uma certa propriedade das agulhas magnéticas”.[10]

> Disse a ele que tinha interesse na compra, mas queria ver aquilo funcionando num experimento e que a mim bastaria que ele ficasse num cômodo enquanto eu ficaria em outro. Ele respondeu que a operação não poderia ser detectada a uma distância tão curta. Eu o dispensei, comentando que não tinha a intenção naquele momento de ir até o Cairo ou a Moscou para realizar o experimento, mas que, se ele se

dispusesse a ir tão longe, eu ficaria em Veneza para cuidar do outro extremo.

A ideia era a de que, se um par de agulhas fosse magnetizado em conjunto — “agulhas tocadas pela mesma magnetita”, nas palavras de Browne —, elas permaneceriam sintonizadas na mesma frequência dali para a frente, mesmo quando separadas pela distância. Alguém poderia chamar isso de “entrelaçamento”. Um emissor e um receptor ficariam com as agulhas e combinariam um momento para se comunicar. Eles colocariam suas agulhas sobre discos com as letras do alfabeto dispostas ao longo de seu perímetro. O emissor soletraria uma mensagem ao girar a agulha. “A partir de então, de acordo com a tradição”, explicou Browne, “independentemente do local ou da distância, quando uma agulha fosse apontada para uma letra, a outra agulha, por uma fenomenal e maravilhosa empatia, passaria a apontar para a mesma letra.” No entanto, ao contrário da maioria das pessoas que pensaram na ideia das agulhas sintonizadas, Browne chegou de fato a realizar o experimento, que não funcionou. Quando ele girou uma das agulhas, a outra permaneceu imóvel.

Browne não foi tão longe a ponto de excluir a possibilidade de que essa força misteriosa pudesse um dia ser usada para a comunicação, mas acrescentou mais uma ressalva. Mesmo que a comunicação magnética à distância fosse possível, sugeriu ele, um problema poderia surgir quando o emissor e o receptor tentassem sincronizar seus atos. Como poderiam eles saber o momento certo de fazê-lo,

uma questão nada simples ou típica dos almanaques, mas sim um problema matemático, descobrir a diferença de horário entre os diferentes lugares; nem mesmo os mais sábios parecem minimamente satisfeitos com as respostas encontradas. Pois os horários de vários lugares antecipam um ao outro, de acordo com suas longitudes; que não são fáceis de serem descobertas para todos os lugares.

Tratava-se de um pensamento presciente, e absolutamente teórico, um produto do novo conhecimento da astronomia e da geografia do século xvii. Essa foi a primeira tentativa de estabelecer a então já mais sólida ideia da simultaneidade. Fosse como fosse, como destacou Browne, os especialistas discordavam. Mais dois séculos transcorreriam antes que alguém conseguisse de

fato viajar com velocidade suficiente, ou se comunicar com rapidez suficiente, para vivenciar as diferenças de horário entre os diferentes pontos do globo. Na verdade, naquela época, ninguém no mundo conseguia se comunicar tanto, nem tão rápido nem tão livremente, quanto os africanos e seus tambores.

Na época em que o capitão Allen descobriu os tambores falantes, em 1841, Samuel F. B. Morse estava trabalhando em seu próprio código percussivo, o batuque eletromagnético projetado para pulsar percorrendo o fio do telégrafo. Inventar um código era um problema complexo e delicado. Inicialmente, ele nem mesmo pensava em termos de um código, e sim de um "sistema de sinais para letras que pudessem ser indicados e marcados por uma rápida sucessão de golpes ou choques da corrente galvânica".[11] Os anais da invenção ofereciam pouquíssimos precedentes. A tarefa de converter a informação de um formato — a linguagem cotidiana — para outro, mais adequado à transmissão pelo fio, exigiu da engenhosidade dele mais do que qualquer problema mecânico do telégrafo. É muito apropriado que a história tenha associado o nome de Morse a seu código, mais do que a seu aparelho.

Ele tinha nas mãos uma tecnologia que parecia permitir apenas pulsos rudimentares, rajadas de uma corrente elétrica ligada e desligada, um circuito elétrico abrindo e fechando. Como eles poderiam transmitir uma linguagem por meio dos cliques de um eletroímã? A primeira ideia de Morse foi enviar números, um dígito por vez, com pontos e pausas. A sequência ••• •• ••••• significaria 325. Cada palavra da língua inglesa seria associada a um número, e os telegrafistas em cada extremo da linha consultariam esses números num dicionário especial. Morse se dedicou ele mesmo à criação desse dicionário, desperdiçando muitas horas inscrevendo-o em grandes fólios.[b] Ele reivindicava a ideia em sua primeira patente do telégrafo, em 1840:

> O dicionário ou vocabulário consiste em palavras organizadas alfabeticamente e numeradas com regularidade, começando com as letras do alfabeto, de modo que cada palavra do idioma tem seu número telegráfico correspondente, sendo designada a gosto, por meio dos sinais dos numerais.12

Buscando eficiência, ele pesou os custos e as possibilidades em muitos planos entrecruzados. Havia o custo da própria transmissão: os fios eram caros e só eram capazes de transmitir um determinado número de pulsos por minuto. Os números seriam relativamente fáceis de ser transmitidos. Mas havia então o custo adicional representado pelo tempo gasto e pela dificuldade enfrentada pelos telegrafistas. A ideia de livros de códigos — tabelas de referência — ainda oferecia possibilidades, e produziu ecos no futuro, ressurgindo em outras tecnologias. A técnica acabou funcionando para a telegrafia chinesa. Mas Morse percebeu que obrigar os operadores a folhear o dicionário em busca de cada palavra seria uma solução nem um pouco prática.

Enquanto isso, seu protegido, Alfred Vail, estava desenvolvendo uma simples tecla em forma de alavanca por meio da qual um operador pudesse fechar e abrir o circuito elétrico rapidamente. Vail e Morse se voltaram para a ideia de um alfabeto codificado, usando sinais como substitutos das letras para soletrar cada palavra. De alguma maneira, aqueles elementares sinais teriam de dar conta de todas as palavras da linguagem falada ou escrita. Eles tinham de mapear toda a linguagem numa única dimensão de pulsos. Inicialmente, conceberam um sistema erguido em torno de dois elementos: os cliques (agora chamados de pontos) e os espaços entre eles. Então, enquanto testavam o protótipo do teclado, eles bolaram um terceiro sinal: a linha, ou traço, “quando o circuito era mantido fechado por mais tempo do que aquele que seria necessário para produzir um ponto”.[13] (O código se tornou conhecido como alfabeto do ponto-e-traço, mas o espaço não mencionado permaneceu igualmente importante; o código Morse não era uma linguagem binária.[c]) O fato de os humanos serem capazes de aprender essa nova linguagem, de início, provocou assombro. Era preciso dominar o sistema de codificação e então desempenhar um contínuo ato de dupla tradução: linguagem convertida em sinais; pensamentos convertidos em gestos dos dedos. Uma testemunha ficou impressionada com a maneira como os telegrafistas internalizavam essas habilidades:

> Os funcionários que cuidam do instrumento de gravação se tornam tão especializados em seus curiosos hieróglifos que não precisam mais olhar para o registro impresso para descobrir o significado da mensagem que é transmitida; o instrumento de gravação tem para eles uma linguagem articulada

> inteligível. Eles compreendem *a fala do aparelho*. Podem fechar os olhos e escutar os estranhos cliques que soam perto de seus ouvidos enquanto a impressão está em andamento, e anunciam seu significado ao mesmo tempo que fica pronto o registro da máquina.14

Em nome da velocidade, Morse e Vail tinham percebido que podiam poupar cliques ao reservar as sequências mais curtas de pontos e traços para as letras mais comuns. Mas quais seriam as letras usadas com maior frequência? Pouco se sabia a respeito das estatísticas do alfabeto. Em busca de dados sobre a frequência relativa do uso de cada letra, Vail se inspirou numa visita à redação do jornal local em Morristown, Nova Jersey, ao olhar para as caixas de tipos móveis.[15] Ele descobriu um estoque de 12 mil *E*s, 9 mil *T*s e apenas 2 mil *Z*s. Vail e Morse rearranjaram o alfabeto de acordo com essa informação. Eles haviam designado originalmente traço-traço-ponto para representar o *T*, a segunda letra mais usada; decidiram então promover o *T* a um único traço, poupando assim aos operadores telegráficos incontáveis bilhões de cliques no mundo que viria a seguir. Muito depois, teóricos da informação calcularam que os dois chegaram muito perto de uma configuração ideal para a transposição dos textos de língua inglesa em linguagem telegráfica, errando por uma margem de apenas 15%.[16]

A linguagem dos batuques não era orientada por esse tipo de ciência e pragmatismo. Mas havia um problema a ser solucionado, assim como no caso do desenvolvimento do código para os operadores telegráficos — mapear toda uma linguagem num fluxo unidimensional formado pelos sons mais simples. Esse problema de projeto foi solucionado coletivamente por gerações de percussionistas num processo de séculos de evolução social. No início do século xx a analogia entre o telégrafo e os batuques era a mais óbvia para os europeus que estudavam a África. “Faz poucos dias que li no *Times*”, contou o capitão Robert Sutherland Rattray à Sociedade Real Africana em Londres, “a respeito de como um residente de certa parte da África tomou conhecimento da morte de um bebê europeu em outra parte do continente, muito mais remota, e de como essa

notícia foi transmitida por meio da percussão, que foi usada, segundo o que afirmava a reportagem, de acordo com o ‘princípio de Morse’ — sempre o ‘princípio de Morse’.”[17]

No entanto, a analogia mais óbvia parecia indicar para as pessoas o rumo errado. Elas não conseguiram decifrar o código dos batuques porque, na verdade, não havia código nenhum. Morse tinha adaptado seu sistema a uma camada simbólica média, o alfabeto escrito, uma intermediação entre a fala e seu código final. Seus pontos e traços não tinham relação direta com o som — eles representavam letras, que formavam palavras escritas, as quais por sua vez representavam as palavras ditas. Os percussionistas não tinham um código intermediário a partir do qual desenvolver sua linguagem — não podiam recorrer à abstração de uma camada de símbolos — porque os idiomas africanos, assim como quase todos os 6 mil idiomas falados no mundo moderno, com algumas poucas dezenas de exceções, não contavam com um alfabeto. O batuque era uma metamorfose da fala.

Essa explicação coube a John F. Carrington. Missionário britânico nascido em 1914 em Northamptonshire, Carrington partiu para a África aos 24 anos, e o continente se tornou seu lar pelo resto da vida. Os batuques logo chamaram sua atenção, quando viajava da estação da Sociedade Missionária Batista em Yakusu, no alto do rio Congo, passando pelos vilarejos da floresta Bambole. Certo dia, ele fez uma viagem não planejada à cidadezinha de Yaongama e ficou surpreso ao encontrar um professor, um assistente de enfermagem e membros da igreja já reunidos para recebê-lo. Eles explicaram que tinham ouvido o chamado dos tambores. Carrington acabou percebendo que os batuques transmitiam não apenas informes e alertas, mas também preces, poesias e até piadas. Os percussionistas não estavam sinalizando, e sim falando: eles falavam num idioma especialmente adaptado para os tambores.

No fim, o próprio Carrington aprendeu a batucar. Ele batucava principalmente em Kele, idioma da família Bantu falado em um local que corresponde ao leste da atual República Democrática do Congo. “Ele não é realmente europeu, apesar da cor de sua pele”,[18] disse um viajante lokele a respeito de Carrington. “Ele era da nossa vila, um de nós. Depois que morreu, os

espíritos cometeram um erro e o enviaram para longe, para uma vila de brancos, onde ele entraria no corpo de um bebezinho nascido de uma mulher branca, e não de uma das nossas. Mas, como pertencia a nós, ele não pôde esquecer de onde veio, e por isso voltou.” O aldeão acrescentou, generoso: “Se ele se mostrar um pouco desajeitado nos tambores, é por causa da má educação que os brancos lhe deram”. A vida de Carrington na África durou quatro décadas. Ele se tornou um grande botânico, antropólogo e, acima de tudo, linguista, um profundo conhecedor da estrutura das famílias de idiomas da África: milhares de dialetos e centenas de idiomas distintos. Carrington percebeu o quão loquaz um bom percussionista tinha de ser. Publicou suas descobertas a respeito dos tambores em 1949, num magro volume intitulado *The Talking Drums of Africa*.

Para solucionar o enigma dos tambores, Carrington encontrou a chave num fato central a respeito dos idiomas africanos mais relevantes. Eles são idiomas tonais, nos quais o significado é determinado tanto pelas variações mais agudas ou graves da entonação como pelas distinções entre as consoantes ou as vogais. Essa característica está ausente na maioria das línguas indo-europeias, que limitam a tonalidade a usos sintáticos: para distinguir, por exemplo, entre perguntas (“você está feliz ⁀”) e declarações (“você está feliz ‿”). Para outros idiomas, porém, dentre os quais os mais conhecidos são o mandarim e o cantonês, a tonalidade tem um significado primário na distinção entre as palavras. O mesmo ocorre na maioria dos idiomas africanos. Mesmo quando aprendiam a se comunicar nesses idiomas, os europeus em geral negligenciavam a importância da tonalidade, pois não tinham experiência com esse tipo de característica. Quando traduziam as palavras que ouviam para o alfabeto latino, descartavam totalmente a questão dos sons mais graves ou agudos. Na verdade, era como se fossem cegos para esse detalhe.

Três palavras diferentes do idioma kele são transliteradas pelos europeus como *lisaka*. As palavras se distinguem somente pela tonalidade de seus fonemas. Assim sendo, $_{\text{lisaka}}$ com três sílabas graves é uma poça d’água; $_{\text{lisa}}{}^{\text{ka}}$ com a última sílaba mais aguda (mas não necessariamente destacada) é uma promessa; e *li*$^{saka}$ com as duas últimas sílabas agudas é um veneno. *Li*$^{a}{}_{la}$, com a segunda sílaba aguda, significa noiva e $_{lia\,la}$, com as três sílabas graves, uma

fossa de lixo. Na transliteração, as palavras parecem ser homônimas, mas não são. Quando finalmente se deu conta disso, Carrington recordou: “Devo muitas vezes ter sido culpado de pedir a um menino que ‘remasse para um livro’ ou que ‘pescasse que o amigo dele estava chegando’”.[19] Aos europeus simplesmente faltava o apuro auditivo para captar as distinções. Carrington percebeu o quanto a confusão poderia se tornar cômica:

*alambaka boili* [– _ – – _ _ _ ] = ele vigiou a margem

*alambaka boili* [– – – – _ – _ ] = ele ferveu a sogra

Desde o final do século xix os linguistas identificaram o fonema como a menor unidade acústica capaz de fazer diferença no significado. A palavra inglesa *chuck* compreende três fonemas: diferentes significados podem ser criados ao trocar *ch* por *d*, ou *u* por *e*, ou *ck* por *m*. Trata-se de um conceito útil, mas imperfeito: os linguistas se surpreenderam com a dificuldade enfrentada para se chegar a um acordo quanto ao inventário preciso dos fonemas presentes no inglês ou em qualquer outro idioma (para o inglês, a maioria das estimativas fala em 45 fonemas). O problema é que um fluxo de fala representa uma continuidade; um linguista pode separá-lo, abstrata e arbitrariamente, em unidades distintas, mas o significado dessas unidades varia de falante para falante e depende do contexto. A compreensão instintiva da maioria dos falantes em relação aos fonemas também é parcial, afetada pelo conhecimento do alfabeto escrito, que codifica a linguagem à sua própria maneira, às vezes arbitrária. Seja como for, os idiomas tonais, com sua variável adicional, contêm muito mais fonemas do que pareceu inicialmente aos linguistas inexperientes.

Como os idiomas falados na África elevaram a tonalidade a um papel crucial, a linguagem dos tambores foi obrigada a dar um difícil passo adiante. Ela empregava a tonalidade, apenas a tonalidade. Tratava-se de uma linguagem que continha um único par de fonemas, uma linguagem composta inteiramente por contornos entoacionais. Os tambores variavam quanto ao material e à técnica de construção. Alguns eram de fenda, tubos de *padauk*, ocos, com uma incisão longa e estreita que produz uma extremidade de som agudo e uma extremidade

de som mais grave; outros eram cobertos por pelica, e eram usados aos pares. O único detalhe importante era que os tambores precisavam produzir duas notas distintas, com um intervalo entre elas aproximadamente equivalente a uma terça maior.

Dessa forma, ao fazer a correspondência da linguagem falada com a linguagem dos tambores, a informação se perdia. A fala dos tambores se tornava uma forma deficitária de conversa. Para cada vilarejo e cada tribo, a linguagem dos tambores começava com a palavra falada, que se desfazia das consoantes e vogais. Tratava-se de uma perda substancial. O fluxo da informação restante se via repleto de ambiguidade. Um golpe duplo na extremidade aguda do tambor [_ _] era equivalente ao padrão tonal da palavra da língua kele para pai, *sango*, mas, naturalmente, podia também corresponder a *songe*, a Lua; *koko*, a ave doméstica; *fele*, uma espécie de peixe; ou qualquer outra palavra formada por dois tons agudos. Até o limitado dicionário dos missionários em Yakusu continha 130 palavras desse tipo.[20] Ao reduzir as palavras faladas, com toda a sua riqueza sônica, a um código tão minimalista, como os tambores poderiam distingui-las umas das outras? A resposta estava em parte na ênfase e no ritmo, mas essas características não podiam compensar a falta de consoantes e vogais. Sendo assim, como descobriu Carrington, um percussionista invariavelmente acrescentava "uma pequena frase" a cada palavra curta. *Songe*, a Lua, é referida como *songe li tange la manga* — "a Lua vê a Terra de cima". *Koko*, a ave doméstica, é referida como *koko olongo la bokiokio* — "a ave doméstica, a pequenina que diz kiokio". Longe de serem supérfluas, as batucadas excedentes proporcionam o contexto. Cada palavra ambígua começa numa nuvem de possíveis interpretações alternativas, mas então as possibilidades indesejadas evaporam. Isso ocorre abaixo do nível da consciência. Os ouvintes estão escutando apenas um *staccato* de batucadas nos tambores, em tons mais graves e agudos, mas, na verdade, "escutam" também as vogais e consoantes ausentes. É por isso que ouvem frases inteiras, e não palavras individuais. "Entre os povos que nada sabem da escrita e da gramática, uma palavra em si mesma, recortada de seu grupo sonoro, parece quase deixar de ser uma articulação inteligível",[21] relatou o capitão Rattray.

As expressões recorrentes também fazem sua parte, usando sua redundância para vencer a ambiguidade. A linguagem dos tambores é criativa, produzindo livremente neologismos para as inovações vindas do norte: barcos a vapor, cigarros e o Deus cristão são três dos exemplos destacados por Carrington. Mas os percussionistas começam pelo aprendizado das fórmulas tradicionais fixas. Na verdade, as fórmulas dos percussionistas africanos às vezes preservam palavras arcaicas que foram esquecidas na linguagem falada do cotidiano. Para os Yaunde, o elefante é sempre "o ser grande e desajeitado".[22] A semelhança com as formas homéricas — não apenas Zeus, mas Zeus, aquele que reúne as nuvens; não apenas o mar, mas o mar escuro como o vinho — não é acidental. Numa cultura oral, a inspiração precisa atender primeiro à clareza e à memória. As Musas são as filhas de Mnemósine.

Nem o idioma kele nem o inglês tinham na época palavras para dizer: *disponibilize bits adicionais para eliminar ambiguidades e corrigir erros*. No entanto, era isso que a linguagem dos tambores fazia. A redundância — ineficiente por definição — serve como antídoto para a confusão. Ela proporciona segundas chances. Toda linguagem natural contém algum tipo de redundância. É por isso que as pessoas são capazes de compreender textos repletos de erros e também entender conversas num ambiente barulhento. A redundância natural do inglês foi a inspiração do famoso pôster visto no metrô de Nova York nos anos 1970 (e do poema de James Merrill):

if u cn rd ths
u cn gt a gd jb w hi pa!d

("Este contraencanto pode salvar-lhe a alma",[23] acrescenta Merrill.) Na maior parte do tempo, a redundância na linguagem é apenas parte do segundo plano. Para um telegrafista, trata-se de um dispendioso desperdício. Para um percussionista africano, a redundância é essencial. Uma outra linguagem

especializada nos proporciona uma analogia perfeita: a linguagem das comunicações de rádio da aviação. Números e letras compõem boa parte das informações trocadas entre pilotos e controladores do tráfego aéreo: altitudes, vetores, números de identificação das aeronaves, identificadores de pistas de trânsito e decolagem, frequências de rádio. Trata-se de uma comunicação de importância fundamental, transmitida por meio de um canal notoriamente ruidoso, e por isso um alfabeto especial é empregado para minimizar a ambiguidade. Quando ditas, as letras *B* e *V* são fáceis de confundir; *bravo* e *victor* são uma opção mais segura. *M* e *N* se tornam *mike* e *november*. No caso dos números, *five* e *nine*, especialmente dados a confusões, são falados como *fife* e *niner*. As sílabas adicionais desempenham a mesma função que a verborragia adicional dos tambores falantes.

Depois de publicar seu livro, John Carrington chegou a uma forma matemática de compreender esse aspecto. Um estudo preparado por um engenheiro telefônico dos Laboratórios Bell, Ralph Hartley, continha até uma fórmula que parecia relevante: $H = n \log s$, sendo $H$ a quantidade de informação, $n$ o número de símbolos na mensagem, e $s$ o número de símbolos disponíveis nessa linguagem.[24] O colega mais jovem de Hartley, Claude Shannon, seguiu a deixa, e um de seus principais projetos passou a ser uma medição precisa da redundância na língua inglesa. Os símbolos poderiam ser palavras, fonemas, ou pontos e traços. As possibilidades de escolha dentro de um conjunto de símbolos variavam — mil palavras ou 45 fonemas ou 26 letras ou três tipos de interrupção num circuito elétrico. A fórmula quantificava um fenômeno relativamente simples (na verdade, considerado simples apenas depois de ter sido percebido): quanto menor a quantidade de símbolos disponíveis, maior o número de símbolos que precisa ser transmitido para comunicar uma quantidade determinada de informação. Para os percussionistas africanos, as mensagens tinham de ter cerca de oito vezes o comprimento de suas equivalentes faladas.

Hartley se esforçou bastante para justificar o uso que fez da palavra *informação*. “Em seu emprego mais comum, informação é um termo muito elástico”, escreveu ele, “e primeiro será necessário prepará-lo para um significado mais específico.” Ele propôs que pensássemos na informação em

termos “físicos” — palavra empregada por ele —, e não em termos psicológicos. Acabou percebendo que as complicações se multiplicavam. De maneira um pouco paradoxal, a complexidade emanava das camadas intermediárias de símbolos: letras do alfabeto, ou pontos e traços, que eram distintos e, portanto, fáceis de contabilizar por si mesmos. Era mais difícil medir as conexões entre esses substitutos e a camada inferior: a própria voz humana. Era esse fluxo de sons repletos de significados que ainda parecia ser, tanto para os engenheiros telefônicos como para os percussionistas africanos, a verdadeira forma da comunicação, por mais que o som, por sua vez, servisse como um código para o conhecimento ou o significado subjacente. Fosse como fosse, Hartley imaginou que um engenheiro deveria ser capaz de fazer generalizações a partir de todos os casos de comunicação: a escrita e os códigos telegráficos, bem como a transmissão física do som por meio de ondas eletromagnéticas percorrendo fios telefônicos ou atravessando o éter.

Ele nada sabia a respeito dos tambores, claro. E, tão logo John Carrington começou a compreendê-los, eles começaram a desaparecer da cena africana. Carrington notou que os jovens Lokele praticavam cada vez menos a percussão, havia meninos em idade escolar que não sabiam nem mesmo seus próprios nomes na linguagem dos tambores.[25] Isso o entristeceu. Ele tinha tornado os tambores falantes parte de sua própria vida. Em 1954, um visitante dos Estados Unidos o encontrou administrando uma escola missionária no posto avançado congolês de Yalemba.[26] Carrington ainda caminhava diariamente pela selva e, quando chegava a hora do almoço, sua mulher o convocava com um recado rápido. Ela batucava: “Espírito homem branco na floresta venha venha para casa de tábuas bem alta sobre espírito homem branco na floresta. Mulher com inhames espera. Venha venha”.

Em pouco tempo, surgiu uma geração de pessoas para quem o rumo da tecnologia da comunicação saltou diretamente do tambor falante para o celular, pulando os estágios intermediários.

---

a A viagem foi financiada pela Sociedade Defensora da Extinção do Comércio de Escravos e da Civilização da África, com o objetivo de interferir na atividade dos traficantes de escravos.

b*“Uma experiência muito breve, no entanto, mostrou a superioridade do modo alfabético”, escreveu ele posteriormente, “e as grandes folhas do dicionário numerado, que me custaram tanto trabalho, […] foram descartadas e substituídas pelo alfabético.” “The superiority of the alphabetic mode”. Samuel F. B. Morse, carta a Leonard D. Gale, em *Samuel F. B. Morse: His Letters and Journals*, v. 2, p. 65.

c Os operadores logo aprenderam a distinguir entre os espaços de diferentes durações — entre as letras e entre as palavras —, de modo que o código Morse empregava na verdade quatro sinais.

d Uma tradução possível seria: “s vc csg lr sto/ pd enct um bm empg de slr lt!”.

# 2. A persistência da palavra
## (*Não existe dicionário na mente*)

> *Odisseu chorou quando ouviu o poeta cantar seus grandes feitos no exterior porque, uma vez cantados, estes deixavam de ser apenas seus. Passavam a pertencer a quem quer que ouvisse a canção.*
>
> Ward Just, 20041

"Tente imaginar", propôs Walter J. Ong, padre jesuíta, filósofo e historiador cultural, "uma cultura na qual ninguém nunca 'deu uma olhada' em nada."[2] Para subtrair as tecnologias da informação internalizadas no decorrer de dois milênios, é necessário um salto da imaginação de volta a um passado esquecido. A tecnologia que mais temos dificuldade em apagar da mente é a primeira de todas elas: a escrita. Esta surge na própria aurora da história, como deve ser, pois a história tem início com a escrita. A anterioridade do passado depende disso.[3]

São necessários alguns milhares de anos para que o mapeamento da linguagem num sistema de símbolos se torne natural e, depois disso, não há como voltar a um estado de ingenuidade. Foi esquecida a época em que a nossa própria consciência das palavras vinha de *vê-las*. "Numa cultura fundamentalmente oral", como destacou Ong,

> a expressão "dar uma olhada" numa informação é uma expressão vazia: ela não teria nenhum significado concebível. Sem a escrita, as palavras em si não têm presença visual, mesmo quando os objetos que representam são visuais. Elas são sons. Pode-se "chamá-las" de volta à memória — "rememorá-las". Mas não existe nenhum lugar onde se possa "dar uma olhada" nelas. As palavras não têm foco nem deixam vestígio.

Nos anos 1960 e 1970, Ong declarou que a era eletrônica seria uma nova era da oralidade — mas de uma "oralidade secundária", com a palavra dita ampliada e difundida como nunca antes, mas sempre no contexto da alfabetização: vozes ouvidas contra um fundo de comunicação impressa onipresente. A primeira era da oralidade tinha durado mais tempo. Correspondeu a quase toda a existência da espécie humana, tendo sido a escrita um desenvolvimento muito posterior, e a alfabetização universalizada, um ponto ínfimo nessa trajetória. Como Marshall

McLuhan, com quem foi muitas vezes comparado (“o outro eminente profeta católico-eletrônico”,[4] afirmou um desdenhoso Frank Kermode), Ong teve a infelicidade de expor suas interpretações visionárias de uma nova era pouco antes de ela ter início. As novas mídias pareciam ser o rádio, o telefone e a televisão. Mas estes eram apenas fracos raios de luz que despontavam no céu noturno, uma indicação da fonte de luminosidade que ainda estava além do horizonte. Qualquer que fosse a interpretação de Ong a respeito do ciberespaço — se seria fundamentalmente oral ou alfabético —, ele sem dúvida reconheceria sua qualidade transformadora: não apenas uma revitalização de formas mais antigas, mas algo inteiramente novo. Ele pode ter pressentido a descontinuidade que viria a seguir, algo semelhante ao surgimento da própria alfabetização. Poucos compreendiam melhor do que Ong a profundidade daquela descontinuidade.

Quando ele começou seus estudos, “literatura oral” era uma expressão muito usada. Trata-se de um oximoro envolto no anacronismo — as palavras implicam uma abordagem demasiadamente inconsciente do passado por meio do presente. A literatura oral era, em geral, tratada como uma variação da escrita. Isso, de acordo com Ong, era “um pouco como pensar nos cavalos como automóveis sem rodas”.[5]

> Pode-se, é claro, tentar fazê-lo. Imagine escrever um tratado sobre cavalos (para pessoas que nunca viram tal animal) que comece não com o conceito de “cavalo”, e sim com o de “automóvel”, valendo-se da vivência direta dos leitores com os automóveis. O texto se dedicaria então a discursar a respeito dos cavalos por meio de constantes referências a eles como “automóveis sem rodas”, explicando a leitores fortemente automobilizados todos os pontos que os diferenciam. […] Em vez de rodas, os automóveis sem rodas têm unhas do pé maiores, chamadas cascos; em vez de faróis, olhos; em vez de um revestimento de cera, algo chamado crina; em vez de usar a gasolina como combustível, usam o feno, e assim por diante. No fim, os cavalos seriam apenas aquilo que não são.

No que diz respeito à compreensão do passado pré-alfabetização, nós, indivíduos contemporâneos, somos irreversivelmente automobilizados. A palavra escrita é o mecanismo por meio do qual sabemos aquilo que sabemos. Ela organiza nosso pensamento. Podemos ter o desejo de compreender a

ascensão da escrita tanto histórica como logicamente, mas história e lógica são elas mesmas produtos do pensamento alfabetizado.

Por ser uma tecnologia, a escrita exige premeditação e o domínio de uma certa arte. Já a linguagem não é uma tecnologia, independentemente de seu grau de desenvolvimento e de sua eficácia. Não dá para enxergá-la como algo distinto da consciência — ela é aquilo que a consciência produz. “A linguagem guarda em relação ao conceito da consciência a mesma relação que a legislação guarda com o conceito do parlamento”, afirma Jonathan Miller: “trata-se de uma competência perpetuamente encarnada numa série de atos concretos.”[6] Mais ou menos o mesmo pode ser dito a respeito da escrita — trata-se de um ato concreto — mas, quando a palavra é representada no papel ou na pedra, assume uma existência separada como artifício. Ela é o produto de ferramentas, e é ela própria uma ferramenta. E, como muitas tecnologias que se seguiram, imediatamente encontrou detratores.

Um improvável luddista foi também um dos primeiros beneficiados a longo prazo. Platão (ecoando Sócrates, que não escrevia) alertou que tal tecnologia significava empobrecimento:

> Pois esta invenção vai produzir esquecimento na consciência daqueles que aprenderem a usá-la, porque estes deixarão de treinar a memória. Sua confiança na escrita, produzida por caracteres externos que não fazem parte deles, vai desencorajar o uso de sua própria memória, contida dentro deles. Vocês inventaram um elixir não da memória, mas da lembrança; e oferecem a seus pupilos a aparência da sabedoria, e não a sabedoria verdadeira.[7]

*Caracteres externos que não fazem parte deles* — era esse o problema. A palavra escrita parecia insincera. Marcas artificiais no papiro ou na argila eram abstrações demasiadamente distantes do real, o fluido e livre som da linguagem, tão intimamente ligado ao pensamento a ponto de parecer coincidir com ele. A escrita pareceu deslocar o conhecimento para longe da pessoa, guardar suas memórias num espaço de armazenamento. Também separou o orador do ouvinte, em muitos quilômetros ou anos. As mais profundas consequências da escrita, para o indivíduo e para a cultura, dificilmente poderiam ter sido previstas, mas

até Platão foi capaz de enxergar parte do poder dessa dissociação. O indivíduo fala à multidão. Os mortos falam aos vivos, os vivos, aos ainda não nascidos. Como constatou McLuhan: “Dois mil anos de cultura manuscrita estavam por vir no Ocidente quando Platão fez essa observação”.[8] O poder dessa primeira memória artificial era incalculável: o de reestruturar o pensamento, de engendrar a história. Continua sendo incalculável, embora uma estatística nos dê uma pista: apesar de o vocabulário total de toda linguagem oral compreender alguns milhares de palavras, a linguagem que mais foi escrita, o inglês, conta com um vocabulário documentado de bem mais de 1 milhão de palavras, um corpo que ganha milhares de palavras todos os anos. Essas palavras não existem apenas no presente. Cada uma tem uma proveniência e uma história que se mistura à sua existência atual.

Com as palavras começamos a deixar rastros, como migalhas de pão: memórias na forma de símbolos para ser seguidas pelos outros. As formigas se valem de seus feromônios, trilhas de informação química; Teseu desenrolou o fio de Ariadne. Agora as pessoas deixam trilhas de papel. A escrita passa a existir para possibilitar a retenção da informação ao longo do tempo e do espaço. Antes da escrita, a comunicação é temporária e local — os sons são transmitidos por alguns metros e então se perdem para sempre. O caráter temporário da palavra dita era um dado que dispensava reflexão. A fala era tão transitória que o raro fenômeno do eco, um som ouvido uma vez e então de novo, parecia ser um tipo de mágica. “Esse milagroso rebote da voz recebeu um belo nome dos gregos, que o chamam de Eco”,[9] escreveu Plínio. “O símbolo falado”, como observou Samuel Butler, “perece instantaneamente sem deixar rastro material, e sua própria existência viva só se dá na consciência daqueles que o ouviram.” Butler foi capaz de formular tal verdade justamente quando ela era falsificada pela primeira vez, pela chegada das tecnologias eletrônicas de captura da fala. Foi precisamente por não ser mais cem por cento verdadeira que ela pôde ser vista com clareza. Butler completou a distinção: “O símbolo escrito se estende infinitamente quando se trata do tempo e do espaço, que representam os limites do alcance da comunicação de uma consciência à outra; ele confere à consciência do escritor uma vida limitada pela duração da tinta, do papel e dos leitores, em contrapartida à longevidade de seu próprio corpo de carne e osso”.[10]

Mas o novo canal faz mais do que estender o canal anterior. Ele permite a reutilização e a "anamnese" — novos modos. Permite arquiteturas de informação inteiramente novas. Entre elas estão a história, o direito, o comércio, a matemática e a lógica. Além de seu conteúdo, essas categorias representam novas técnicas. O poder não está apenas no conhecimento, preservado e passado adiante, por mais valioso que seja, e sim na metodologia: indicações visuais codificadas, o ato da transferência, substituindo signos por coisas. E então, mais tarde, signos por signos.

Há pelo menos 30 mil anos os humanos do paleolítico começaram a rabiscar e pintar formas que invocavam ao olhar imagens de cavalos, peixes e caçadores. Esses signos inscritos na argila e nas paredes de cavernas serviam a propósitos artísticos ou mágicos, e os historiadores repudiam quem os chama de escrita, mas eles inauguraram o registro de estados mentais numa mídia externa. Assim como os nós em cordas e em gravetos serviram como recursos para auxiliar a memória — eles podiam ser transportados como mensagens. Marcas em peças de cerâmica e argamassa poderiam indicar de quem seriam propriedade. Marcas, imagens, pictografias, petroglifos — conforme essas novas formas foram se tornando cada vez mais estilizadas, convencionais e, portanto, cada vez mais abstratas, elas se aproximaram daquilo que entendemos como escrita, mas faltava ainda uma transição crucial, a da representação das coisas para a representação da linguagem falada: ou seja, uma representação de segundo grau. Existe uma progressão do pictográfico, *escrever a figura*; para o ideográfico, *escrever a ideia*; e então para o logográfico, *escrever a palavra*.

A escrita chinesa começou a fazer essa transição entre 4500 e 8 mil anos atrás: signos que surgiram como imagens passaram a representar unidades de som dotadas de significado. Como a unidade básica era a palavra, milhares de símbolos distintos eram necessários. Isso tem um lado eficiente e um lado ineficiente. O chinês unifica uma gama de linguagens faladas distintas: pessoas que não conseguem falar umas com as outras podem escrever umas às outras. Emprega ao menos 50 mil símbolos, dos quais 6 mil são comumente usados e

conhecidos pela maioria dos chineses alfabetizados. Em ágeis traços diagramáticos, eles codificam relacionamentos semânticos multidimensionais. Um recurso é a simples repetição: *árvore* + *árvore* + *árvore* = *floresta*; abstraindo mais, *sol* + *lua* = *brilho*, e *leste* + *leste* = *toda parte*. O processo de composição cria surpresas: *grão* + *faca* = *lucro*; *mão* + *olho* = *olhar*. Os caracteres podem ter seu significado alterado por meio de uma reorientação de seus elementos: de *criança* para *nascimento*, e de *homem* para *cadáver*. Alguns elementos são fonéticos, outros são até trocadilhos. Sua totalidade representa o mais rico e complexo sistema de escrita que a humanidade já desenvolveu. Considerando a escrita em termos do número necessário de símbolos e da quantidade de significado transmitida por um símbolo individual, o chinês se tornou um caso extremo: o maior conjunto de símbolos, que são também individualmente os mais ricos de significado. Os sistemas de escrita podiam tomar rumos alternativos: uma menor quantidade de símbolos, cada um deles carregando menos informação. Um estágio intermediário é o silabário, um sistema de escrita fonética usando caracteres individuais para representar sílabas, que podem ter significado ou não. Algumas centenas de caracteres podem transmitir uma linguagem.

O sistema de escrita no extremo oposto foi aquele que mais demorou para emergir: o alfabeto, um símbolo para um som mínimo. O alfabeto é a mais redutiva e subversiva das formas de escrita.

Em todas as linguagens da Terra existe apenas uma palavra para o *alfabeto* (*alfabet*, *alphabet*, алфавит, αλφάβητο). O alfabeto só foi inventado uma vez. Todos os alfabetos conhecidos, tanto os usados hoje como aqueles encontrados enterrados em tabuletas e pedras, descenderam do mesmo ancestral original, que surgiu perto do litoral oriental do mar Mediterrâneo, em algum momento não muito antes de 1500 a.C., numa região que mais tarde se tornou uma encruzilhada politicamente instável, correspondendo à Palestina, à Fenícia e à Assíria. Ao leste jazia a grande civilização da Mesopotâmia, cuja escrita cuneiforme já existia havia um milênio; descendo pela costa, ao sudoeste, havia o Egito, onde os hieróglifos se desenvolveram simultânea e independentemente. Os comerciantes também viajavam do Chipre e de Creta, trazendo seus próprios

sistemas incompatíveis. Com glifos minoicos, hititos e anatólicos, o que existia era uma salada de símbolos. As classes sacerdotais governantes eram investidas de seus sistemas de escrita. Quem quer que fosse dono da escrita controlava também as leis e os ritos. Mas a autopreservação tinha de concorrer com o desejo pela comunicação rápida. A escrita era conservadora; a nova tecnologia era pragmática. Um sistema simbólico reduzido, de apenas 22 signos, foi a inovação dos povos semitas que habitavam a Palestina e seus arredores. Os estudiosos naturalmente apontam para Kiriath-sepher, que pode ser traduzido como “cidade do livro”, e Byblos, “cidade de papiro”, mas ninguém sabe — nem pode saber — ao certo onde isso ocorreu. O paleógrafo se depara com um problema bem peculiar. É a própria escrita que possibilita a existência de sua história. A principal autoridade em alfabeto no século xx, David Diringer, citou um estudioso anterior: “Nunca houve um homem que pudesse se sentar e dizer: ‘Serei agora o primeiro humano a escrever’”.[11]

O alfabeto foi difundido por meio do contágio. A nova tecnologia foi ao mesmo tempo o vírus e o vetor de transmissão. Não poderia ser monopolizada nem suprimida. Até as crianças eram capazes de aprender essas poucas letras, leves e semanticamente vazias. Rotas divergentes levaram aos alfabetos do mundo árabe e do norte da África; aos alfabetos hebreu e fenício; passando pela Ásia Central, surgiu o brahmi e as demais formas indianas de escrita; e chegaram à Grécia. A nova civilização que ali surgia elevou o alfabeto a um alto grau de perfeição. Entre outros, os alfabetos latino e cirílico seguiram seus moldes.

A Grécia não precisou do alfabeto para criar a literatura — fato que os estudiosos reconheceram, não sem certo rancor, a partir dos anos 1930. Foi então que Milman Parry, linguista estrutural que se debruçou sobre a tradição viva da poesia épica oral na Bósnia-Herzegovina, propôs que a *Ilíada* e a *Odisseia* não apenas podem como devem ter sido compostas e cantadas sem o benefício da escrita. A métrica, a redundância formular, na verdade a própria poesia das grandes obras servia principalmente para auxiliar a memória. Seu poder de encantamento fez do verso uma cápsula do tempo, capaz de transmitir uma verdadeira enciclopédia de cultura através das gerações. Sua argumentação, inicialmente controvertida, passou a ser considerada irresistivelmente persuasiva

— mas somente porque os poemas foram de fato *escritos*, em algum ponto do século vi ou vii a.C. Esse ato — a transcrição dos épicos homéricos — ecoa pelas eras. “Tratou-se de algo como uma trovoada na história da humanidade, que o viés da familiaridade converteu no som das folhas de papel sobre uma escrivaninha”,[12] disse Eric Havelock, estudioso clássico britânico que seguiu os passos de Parry. “Aquilo se constituiu em uma intrusão na cultura, com resultados que se mostraram irreversíveis. Foram estabelecidos os alicerces para a destruição do modo de vida oral e dos modos orais de pensamento.”

A transcrição de Homero converteu essa grande poesia num novo suporte e fez dele algo que não tinha sido planejado: um fio momentâneo de palavras recriado toda vez pelo rapsodo, desvanecendo-se enquanto ecoava no ouvido do ouvinte, tornou-se uma linha fixa e portátil numa folha de papiro. Restava saber se esse modo estranho e impessoal se adequaria à criação de poesias e canções. Enquanto isso, a palavra escrita ajudou formas mais mundanas de discurso: petições aos deuses, enunciações de leis e acordos econômicos. A escrita também possibilitou o surgimento do discurso sobre o discurso. Os textos escritos se tornaram objeto de um novo tipo de interesse.

Mas como as pessoas poderiam falar a respeito deles? As palavras que descrevem os elementos desse discurso não existiam no léxico de Homero. A linguagem de uma cultura oral teve de ser adaptada a novas formas; assim, um novo vocabulário emergiu. Os poemas passaram a ser vistos como parte de um *tópico* — palavra que antes significava “lugar”. Eles tinham *estrutura*, pela analogia com os edifícios. Eram feitos de *trama* e *dicção*. Aristóteles podia agora ver o trabalho dos bardos como “representações da vida”, nascidas do impulso natural no sentido da imitação que tem início na infância. Mas ele também precisou considerar a escrita que serve a outros propósitos — os diálogos socráticos, por exemplo, e os tratados médicos ou científicos —, e esse tipo geral de trabalho, que incluía previsivelmente o dele próprio, “parece não ter, até o momento atual, nenhum nome”.[13] Ainda estava em construção todo um reino de abstração, forçosamente divorciado do concreto. Havelock descreveu isso como uma guerra cultural, uma nova consciência e uma nova linguagem em confronto com a antiga consciência e a antiga linguagem:

> Seu conflito produziu contribuições essenciais e permanentes ao vocabulário de todo o pensamento abstrato. Corpo e espaço, matéria e movimento, permanência e mudança, qualidade e quantidade, combinação e separação, estão entre os balcões de moeda comum agora disponíveis.14

O próprio Aristóteles, filho do médico do rei da Macedônia e um ávido e organizado pensador, estava tentando sistematizar o conhecimento. A persistência da escrita tornou possível a imposição de uma estrutura àquilo que se sabia na época a respeito do mundo e, então, àquilo que se sabia a respeito do conhecimento. Assim que se tornou possível registrar as palavras, examiná-las, olhá-las com outros olhos no dia seguinte e meditar a respeito de seu significado, surgiu o filósofo, e o filósofo partia de uma tábula rasa e um vasto projeto de definição a ser empreendido. O conhecimento pôde começar a puxar a si mesmo pelos cadarços das botas. Para Aristóteles, mesmo as noções mais básicas eram merecedoras de registro, e era necessário registrá-las:

> Um *começo* é aquilo que, em si, não se segue necessariamente a nenhuma outra coisa, mas uma segunda coisa existe ou ocorre naturalmente depois dele. Da mesma maneira, um *fim* é aquilo que em si segue naturalmente alguma outra coisa, seja necessariamente ou em geral, mas não há nada depois dele. Um *meio* é aquilo que em si vem depois de alguma coisa, e alguma outra coisa se segue a ele.15

Essas são afirmações não da experiência, mas dos usos da linguagem para estruturar a experiência. Da mesma forma, os gregos criaram *categorias* (palavra cujo significado original era o de “acusações” ou “previsões”) para classificar as espécies de animais, insetos e peixes. Depois disso, eles puderam então classificar as ideias. Esse foi um modo de pensar estranho e radical. Platão alertou que isso afastaria a maioria das pessoas:

> A multidão não pode aceitar a ideia da beleza em lugar de muitas coisas belas, nem nada que tenha sido concebido em sua essência em vez de muitas coisas específicas. Assim, a multidão não pode ser filosófica.16

Por “multidão” podemos entender “os pré-letrados”. Eles “se perdem e vagam em meio à multiplicidade de coisas variadas”,[17] declarou Platão, pensando na cultura oral que ainda o envolvia. Eles “não têm um padrão vívido em suas almas”.

E que padrão vívido seria esse? Havelock se concentrou no processo de conversão, na mente, de uma “prosa da narrativa” numa “prosa de ideias”; na organização da experiência em termos de categorias, e não de eventos; na adoção da disciplina da abstração. Ele tinha uma palavra em mente para se referir a esse processo, e a palavra era *pensamento*. Essa foi a descoberta não apenas do ser, mas do ser *pensante* — de fato, o verdadeiro começo da consciência.

Em nosso mundo de alfabetização consolidada, pensar e escrever parecem ser atividades que guardam pouca relação entre si. Podemos imaginar que a segunda depende da primeira, mas o contrário certamente não seria válido — todos pensam, sejam capazes de escrever ou não. Mas Havelock estava certo. A palavra escrita — a palavra perene — foi um pré-requisito para o pensamento consciente como o concebemos. Ela foi o gatilho de uma mudança abrangente e irreversível na psique humana — e *psique* foi a palavra preferida por Sócrates/Platão enquanto lutavam para entendê-la. Platão, como diz Havelock,

> está tentando pela primeira vez na história identificar esse grupo de qualidades mentais gerais, e buscando um termo com o qual rotulá-las satisfatoriamente dentro de um mesmo tipo. […] Foi ele que anunciou a profecia e a identificou corretamente. Ao fazê-lo, ele por assim dizer confirmou e se apoderou dos palpites de uma geração anterior, que estava tateando no rumo da *ideia* de que era possível “pensar”, e que o pensamento era um tipo muito especial de atividade psíquica, muito desconfortável, mas também muito excitante, e também um tipo que exigia um emprego bastante inovador do grego.[18]

Ao dar o passo seguinte no caminho da abstração, Aristóteles empregou categorias e relações numa ordem sistemática para desenvolver um simbolismo do raciocínio: a lógica — de λόγος, *logos*, a palavra quase impossível de traduzir a partir da qual tantos significados fluem, como “fala” ou “razão” ou “discurso” ou, enfim, apenas “palavra”.

A lógica pode ser imaginada como algo que existe independentemente da

escrita — silogismos podem ser ditos tanto quanto escritos —, mas isso não é verdadeiro. A fala é passageira demais para se prestar a uma análise. A lógica descendeu da palavra escrita, tanto na Grécia como na Índia e na China, onde ela se desenvolveu de forma independente.[19] A lógica transforma o ato da abstração numa ferramenta para determinar aquilo que é verdadeiro e aquilo que é falso: a verdade pode ser descoberta simplesmente nas palavras, afastada da experiência concreta. A lógica assume sua forma em sucessivas cadeias: sequências cujos membros se conectam uns aos outros. As conclusões são tiradas a partir de premissas. Estas exigem certo grau de constância. Não têm força a não ser que possam ser examinadas e avaliadas. Em comparação, uma narrativa oral se dá por meio do acréscimo, com as palavras desfilando em coluna diante da bancada da plateia, brevemente presentes e então passadas, interagindo umas com as outras por meio da memória e da associação. Não há silogismo em Homero. A experiência é disposta em termos de eventos, e não categorias. Somente com a escrita a estrutura narrativa passa a encarnar um argumento racional sustentado. Aristóteles atingiu outro nível ao enxergar o estudo de tal argumentação — não apenas seu emprego, mas seu estudo — como uma ferramenta. A lógica aristotélica expressa uma contínua autoconsciência em relação às palavras com as quais as argumentações são compostas. Quando Aristóteles desvenda premissas e conclusões — *Se não é possível que homem nenhum seja um cavalo, então é também admissível que nenhum cavalo seja um homem; e se não é admissível que nenhuma peça de roupa seja branca, então também é inadmissível que algo branco seja uma peça de roupa. Pois, se algo branco for uma peça de roupa, então alguma peça de roupa será necessariamente branca* —,[20] ele não exige nem pressupõe nenhuma experiência pessoal com cavalos, peças de roupa ou cores. Ele já deixou esse domínio. Mas, ainda assim, busca criar conhecimento por meio da manipulação das palavras, talvez até uma forma superior de conhecimento.

“Sabemos que a lógica formal é a invenção da cultura grega depois que esta interiorizou a tecnologia da escrita alfabética”, afirma Walter J. Ong — o que também vale para Índia e China —, “e, assim, tornou o tipo de pensamento possibilitado pela escrita alfabética uma parte permanente de seus recursos mentais.”[21] Em busca de provas, Ong se volta para o trabalho de campo do

psicólogo russo Aleksandr Romanovich Luria entre os povos iletrados das remotas regiões do Uzbequistão e do Quirguistão na Ásia Central dos anos 1930.[22] Luria descobriu notáveis diferenças entre os sujeitos iletrados e os letrados, mesmo que limitadamente letrados, mas não naquilo que sabiam, e sim em sua maneira de pensar. Lógica implica simbolismo: coisas fazem parte de classes, possuem qualidades que são abstraídas e generalizadas. Os povos orais não contavam sequer com as categorias que se tornam naturais até para indivíduos iletrados que vivem em culturas letradas: as formas geométricas, por exemplo. Quando mostraram a eles desenhos de círculos e quadrados, eles os identificaram como “prato, coador, balde, relógio ou lua” e “espelho, porta, casa, tábua de secagem de damascos”. Não eram capazes de aceitar silogismos lógicos, ou se recusavam a fazê-lo. Uma pergunta típica:

> No Extremo Norte, onde há neve, todos os ursos são brancos.
>
> Nova Zembla fica no Extremo Norte e sempre há neve por lá.
>
> De que cor são os ursos?

Resposta típica: “Não sei. Já vi um urso preto. Nunca vi de outro tipo. […] Cada localidade tem seus próprios animais”.

Em comparação, um homem que tenha acabado de aprender a ler e escrever responderia: “A julgar por suas palavras, eles devem ser todos brancos”. A julgar por suas palavras — nessa frase, um nível é ultrapassado. A informação foi dissociada de um indivíduo, dissociada da vivência do falante. Ela passa a residir nas palavras, pequenos módulos de suporte vital. As palavras ditas também transportam informação, mas não com a autoconsciência que a escrita traz. Os povos letrados consideram sua própria consciência das palavras como um dado, junto com o conjunto de máquinas relacionadas à palavra: classificação, referência, definição. Antes da alfabetização, não havia nada de óbvio em técnicas como essas. “Tente me explicar o que é uma árvore”, diz Luria, e um camponês responde: “Por que eu deveria fazê-lo? Todo mundo sabe o que é uma árvore, e ninguém precisa que eu explique isso”.

“Na prática, o camponês tinha razão”,[23] comenta Ong. “Não há maneira de

refutar o mundo da oralidade primária. Só podemos nos afastar dela em direção à alfabetização.”

É tortuosa a jornada das coisas às palavras, das categorias às metáforas e à lógica. Por mais antinatural que parecesse a tarefa de definir *árvore*, era ainda mais difícil definir *palavra*, e palavras auxiliares úteis como *definir* não estavam disponíveis no começo, pois nunca existira a necessidade delas. “Na infância da lógica, uma forma de pensamento precisava ser inventada antes que seu conteúdo pudesse ser preenchido”,[24] afirma Benjamin Jowett, tradutor de Aristóteles do século xix. As línguas faladas precisavam evoluir mais.

Linguagem e raciocínio se encaixaram tão bem que seus usuários nem sempre conseguiam ver seus defeitos e lacunas. Ainda assim, tão logo alguma cultura inventou a lógica, os paradoxos surgiram. Na China, o filósofo Gongsun Long, quase contemporâneo a Aristóteles, capturou alguns desses paradoxos sob a forma de um diálogo, conhecido como “Quando um cavalo branco não é um cavalo”.[25] Foi escrito em tiras de bambu amarradas por fios, antes da invenção do papel. O diálogo tem início:

> *Será possível que um cavalo branco não seja um cavalo?*
>
> Sim, é possível.
>
> *Como?*
>
> “Cavalo” é aquilo por meio do qual damos nome à forma. “Branco” é aquilo por meio do qual damos nome à cor. Aquilo que dá nome à cor não é aquilo que dá nome à forma. Assim, digo que um cavalo branco não é um cavalo.

À primeira vista, trata-se de algo insondável. Começa a fazer sentido ao ser considerado uma afirmação a respeito da linguagem e da lógica. Gongsun Long era membro da Mingjia, a Escola dos Nomes, e seu mergulho nesses paradoxos deu origem em parte àquilo que os historiadores chineses chamam de “crise da linguagem”, um debate contínuo a respeito da natureza da linguagem. Os nomes não são os objetos que nomeiam. Classes não coincidem com subclasses. Assim, inferências de aparência inocente são postas em xeque: “Um homem não gosta de cavalos brancos” não implica que “um homem não gosta de cavalos”.

Você acha que cavalos que têm cor não são cavalos. No mundo, não se pode dizer que há cavalos sem cor. Será possível que não haja cavalos no mundo?

O filósofo esclarece o processo de abstração em classes com base em propriedades: brancura, equinidade. Será que essas classes fazem parte da realidade, ou será que existem apenas na linguagem?

Os cavalos sem dúvida têm cor. Assim, há cavalos brancos. Se fosse possível que os cavalos não tivessem cor, então haveria apenas cavalos, e então como seria possível escolher um cavalo branco? Um cavalo branco é um cavalo e é branco. Um cavalo e um cavalo branco são diferentes. Assim, digo que um cavalo branco não é um cavalo.

* * *

Dois milênios mais tarde, os filósofos continuam tentando entender esses textos. Os rumos da lógica que conduzem ao pensamento moderno são indiretos, entrecortados e complexos. Como os paradoxos parecem fazer parte da linguagem, ou envolver a linguagem, uma forma de bani-los era purificar o suporte: eliminar as palavras ambíguas e a sintaxe vaga, empregar símbolos que fossem rigorosos e puros. Ou seja, voltar-se para a matemática. No início do século xx, parecia que somente um sistema de símbolos construídos para atender a um propósito específico poderia fazer a lógica funcionar como deveria — livre de erros e paradoxos. Esse sonho se revelaria nada mais do que uma ilusão — os paradoxos encontrariam uma maneira de voltar, mas ninguém podia esperar compreendê-los até que os rumos da lógica e da matemática convergiram.

A matemática também se seguiu à invenção da escrita. A Grécia costuma ser considerada a fonte do rio que se torna a matemática moderna, com todos os seus muitos afluentes no decorrer dos séculos. Mas os próprios gregos aludiram a outra tradição — antiga, para eles —, que chamavam de caldeia, e que acreditamos ser babilônica. Essa tradição desapareceu em meio às dunas, e só voltou à superfície no fim do século xix, quando tabuletas de argila foram

desenterradas das ruínas de cidades perdidas.

As primeiras dezenas logo se tornaram milhares de tabuletas, em sua maioria do tamanho da mão de um humano, gravadas numa escrita distinta e angular conhecida como cuneiforme, “em forma de cunha”. A escrita cuneiforme plenamente desenvolvida não era pictográfica (os símbolos eram redundantes e abstratos) nem alfabética (eram numerosos demais). Em 3000 a.C. um sistema com cerca de setecentos símbolos floresceu em Uruk, a cidade murada, provavelmente a maior do mundo, lar do rei-herói Gilgamesh, nos pântanos aluviais perto do rio Eufrates. Arqueólogos alemães investigaram Uruk numa série de escavações ao longo do século xx. O material desta que era a mais antiga das tecnologias da informação estava sempre disponível. Segurando argila úmida numa das mãos e um instrumento pontiagudo de junco na outra, um escriba gravava pequenos caracteres dispostos em linhas e colunas.



*Uma tabuleta cuneiforme.*

O resultado: mensagens crípticas de uma cultura alienígena. Foi preciso gerações para decifrá-las. “A escrita, como a cortina de um teatro se abrindo para revelar essas impressionantes civilizações, permitiu que olhássemos diretamente para elas — mas de uma maneira imperfeita”,[26] escreve o psicólogo Julian Jaynes. Alguns europeus a princípio se sentiram ofendidos. “Aos assírios, caldeus e egípcios”, escreveu o teólogo do século xvii Thomas Sprat, “devemos a Invenção”, mas também a “Corrupção do conhecimento”,[27] quando estes o ocultaram com suas estranhas formas de escrita. “Era costume entre seus Sábios reunir suas Observações da Natureza e do Comportamento do Homem nas escuras Sombras da *Hieroglífica*” (como se antigos mais amistosos pudessem empregar um alfabeto com o qual Sprat estivesse mais familiarizado). Os primeiros exemplos de escrita cuneiforme deixaram pasmados os arqueólogos e paleolinguistas por mais tempo, porque a primeira linguagem a ser escrita, a suméria, não deixou nenhum outro traço na cultura ou na fala. O idioma sumério revelou-se uma raridade linguística, uma língua isolada sem descendentes conhecidos. Quando os estudiosos enfim aprenderam a ler as tabuletas de Uruk, descobriram que eram

triviais, à sua maneira: documentos cívicos, contratos e leis, e recibos e cobranças envolvendo cevada, rebanhos, óleo, esteiras de junco e peças de cerâmica. Foram necessários séculos para que surgisse na escrita cuneiforme algo parecido com a poesia ou a literatura. As tabuletas não apenas registravam o comércio e a burocracia, mas antes de mais nada os possibilitaram.

Já nesse período, a escrita cuneiforme incorporou sinais para a contagem e a medição. Caracteres diferentes, usados de maneiras diferentes, eram capazes de denotar números e pesos. Uma abordagem mais sistemática para o registro dos números só tomou forma na época de Hammurabi, 1750 a.C., quando a Mesopotâmia foi unificada em torno da grande cidade da Babilônia. O próprio Hammurabi foi provavelmente o primeiro rei letrado, escrevendo à própria mão em letras cuneiformes em vez de depender dos escribas, e o império construído por ele manifestava a conexão entre a escrita e o controle social. “Esse processo de conquista e influência é possibilitado por letras e tabuletas e estelas numa abundância que nunca fora conhecida antes”,[28] segundo Jaynes. “A escrita era um novo método de direção civil, de fato o modelo que dá início a nosso próprio governo, que se comunica por meio de memorandos.”

A escrita dos números tinha evoluído para um sistema elaborado. Os numerais eram compostos de apenas dois elementos básicos, uma cunha vertical para o 1 (𒁹) e uma cunha inclinada para o 10 (𒌋). Estes eram combinados para formar os caracteres-padrão, de modo que 𒐗 representava 3 e 𒌋𒐗 representava 16, e assim por diante. Mas o sistema babilônico não era decimal, não era de base 10; seu sistema era sexagesimal, de base 60. Cada um dos numerais de 1 a 60 tinha seu próprio caractere. Para formar números maiores, os babilônicos usavam numerais em determinadas posições: 𒁹 𒌋 era 70 (um 60 mais dez 1s);𒁹 𒌋 𒌋 𒁹 𒐖 era 616 (dez 60s mais dezesseis 1s), e assim por diante.[29] Nada disso estava claro quando as tabuletas começaram a ser descobertas. Um tema básico com algumas variações, encontrado muitas vezes, revelou-se uma tabela de multiplicação. Num sistema sexagesimal, estas tinham de cobrir os números de 1 a 19, bem como 20, 30, 40 e 50. Ainda mais difícil de desvendar foi a tabela dos inversos multiplicativos, possibilitando a divisão e os números fracionários: no sistema de base 60, os inversos multiplicativos eram 2:30, 3:20, 4:15, 5:12… e

então, usando posições adicionais, 8:7,30, 9:6,40, e assim por diante.[a]

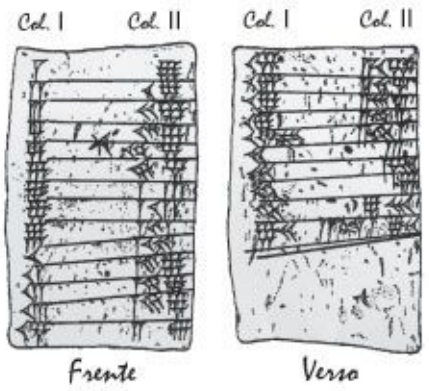



*Tabela matemática numa tabuleta cuneiforme analisada por Asger Aaboe.*

Esses símbolos estavam longe de ser palavras — ou talvez fossem palavras de um tipo peculiar, gracioso e rígido. Eles pareciam se dispor em padrões visíveis na argila, repetitivos, quase artísticos, diferentemente de qualquer outra forma de prosa ou poesia encontrada pelos arqueólogos. Eram como mapas de uma cidade misteriosa. Essa foi, por fim, a chave que permitiu decifrá-los: o caos ordenado que parece garantir a presença do significado. Fosse como fosse, aquela parecia ser uma tarefa para os matemáticos, e finalmente ela lhes foi designada. Eles reconheceram progressões geométricas, tabelas de potências, e até instruções para computar raízes quadradas e raízes cúbicas. Familiarizados com o desenvolvimento da matemática um milênio mais tarde na Grécia Antiga, esses estudiosos ficaram pasmados diante da abrangência e da profundidade do conhecimento matemático que existiu antes na Mesopotâmia. “Supôs-se que os babilônios tiveram algum tipo de misticismo numérico ou numerologia”, escreveu Asger Aaboe em 1963, “mas sabemos agora o quanto essa suposição estava aquém da verdade.”[30] Os babilônios computaram equações lineares, equações quadráticas e números pitagóricos muito antes de Pitágoras. Comparados aos matemáticos gregos que os sucederam, os matemáticos babilônicos não enfatizavam a geometria, com exceção dos problemas práticos; os babilônios calculavam áreas e perímetros, mas não demonstravam teoremas. Ainda assim eles eram capazes de (na prática) reduzir elaborados polinômios de segundo grau. A matemática deles parecia valorizar o poder de computação

acima de tudo.

Isso não pôde ser percebido até que poder de computação passasse a significar algo. Quando os matemáticos modernos finalmente voltaram sua atenção para a Babilônia, muitas tabuletas importantes já tinham sido destruídas ou perdidas. Fragmentos recuperados de Uruk antes de 1914, por exemplo, foram levados a diferentes cidades, como Berlim, Paris e Chicago, e foi somente cinquenta anos depois que se descobriu estar nelas os primórdios dos métodos da astronomia. Para demonstrar isso, Otto Neugebauer, principal historiador de matemática antiga no século xx, teve de reunir tabuletas cujos fragmentos haviam sido levados para lados opostos do oceano Atlântico. Em 1949, quando o número de tabuletas cuneiformes guardadas em museus chegou a meio milhão (numa estimativa rudimentar), Neugebauer lamentou: “Nossa tarefa pode, portanto, ser comparada adequadamente à de restaurar a história da matemática a partir de algumas páginas rasgadas que acidentalmente sobreviveram à destruição de uma grande biblioteca”.[31]

Em 1972, Donald Knuth, um dos primeiros cientistas da computação em Stanford, olhou para os restos de uma tabuleta da antiga Babilônia do tamanho de um livro de bolso, da qual metade estava no British Museum, de Londres, um quarto estava no Staatliche Museen, de Berlim, e o restante estava desaparecido, e enxergou aquilo que só pôde descrever, de maneira anacrônica, como um algoritmo:

> Uma cisterna.
>
> A altura é 3,20, e foi escavado um volume de 27,46,40.
>
> O comprimento excede a largura em 50.
>
> Deve-se tomar o inverso multiplicativo da altura, 3,20, obtendo 18.
>
> Multiplique isso pelo volume, 27,46,40, obtendo 8,20.
>
> Tome metade de 50 e eleve ao quadrado, obtendo 10,25.
>
> Acrescente 8,20, e tem-se 8,30,25.
>
> A raiz quadrada é 2,55.
>
> Faça duas cópias disso, somando à primeira e subtraindo à segunda.
>
> Descobrirá que 3,20 é o comprimento e 2,30 a largura.

Esse é o procedimento.32

“Esse é o procedimento” era um encerramento-padrão, como uma bendição, e, para Knuth, cheio de significado. No Louvre ele encontrou um “procedimento” que o lembrou de um programa de pilhas num Burroughs B5500. “Podemos elogiar os babilônios por terem desenvolvido uma boa maneira de explicar um algoritmo por meio do exemplo enquanto o próprio algoritmo começava a ser definido”, disse Knuth. Naquela época o próprio cientista estava envolvido no processo de definir e explicar o algoritmo, e ficou impressionado com aquilo que encontrou nas tabuletas antigas. Os escribas registraram instruções para a disposição dos números em determinados locais — para fazer “cópias” de um número, e para manter um número “na cabeça”. Essa ideia, na qual quantidades abstratas ocupam lugares abstratos, só voltaria à vida muito mais tarde.

Onde fica um símbolo? O que é um símbolo? Até mesmo para fazer tais perguntas era necessária uma autoconsciência que não surgiu naturalmente. Uma vez feitas, as perguntas continuaram no ar. *Olhe para estes símbolos*, imploravam os filósofos. *O que são eles?*

“Fundamentalmente, letras são símbolos indicando vozes”,[33] explicou John de Salisbury na Inglaterra medieval. “Assim sendo, representam coisas que trazem à mente por meio das janelas dos olhos.” John serviu como secretário e escriba do arcebispo de Canterbury no século xii. Ele serviu à causa de Aristóteles como defensor e vendedor. Seu *Metalogicon* não apenas estabeleceu os princípios da lógica aristotélica como também incitava seus contemporâneos a se converter, como se se tratasse de uma nova religião. (Ele não perdeu tempo com meias palavras: “Que aquele que não alcançou a lógica seja vítima da sujeira contínua e eterna”.) Escrevendo com pena e pergaminho nessa época de alfabetização mínima, ele tentou examinar o ato da escrita e o efeito das palavras: “Com frequência, elas dizem sem voz as falas dos ausentes”. A ideia da escrita ainda estava entrelaçada com a ideia da fala. A mistura do visual e do

audível continuou a criar enigmas, e o mesmo ocorreu com a mistura entre passado e futuro: as falas dos ausentes. A escrita era um salto que perpassava todos esses níveis.

Todo usuário dessa tecnologia era um novato. Aqueles que compunham documentos legais formais, como cartas e contratos, com frequência sentiam a necessidade de expressar sua sensação de estar falando a uma plateia invisível: “Oh! Todos vocês que terão ouvido isto e também visto!”.[34] (Eles estranharam a conservação dos tempos verbais normais, como novatos deixando suas primeiras mensagens numa secretária eletrônica nos idos de 1980.) Muitos documentos terminam com a palavra “adeus”. Antes de a escrita parecer natural — antes de poder se tornar parte da natureza humana —, esses ecos de vozes tiveram de desaparecer gradualmente. A escrita, em si e por si, teve de transformar a consciência humana.

Entre as muitas habilidades ganhas pela cultura escrita, uma das mais importantes era o poder de olhar para dentro, para si. Os escritores amavam debater a escrita, muito mais do que os bardos jamais se ocuparam em debater o discurso. Eles podiam *ver* o meio e suas mensagens, mostrá-los ao olhar da mente para seu estudo e análise. E eles podiam criticá-la — afinal, desde os primórdios, as novas habilidades foram acompanhadas por uma insistente sensação de perda. Era uma forma de nostalgia. Platão a sentiu:

> Não consigo afastar a sensação, Fedro, [diz Sócrates] de que a escrita é, infelizmente, como a pintura; as criações do pintor guardam a atitude dos vivos, mas, se as fazemos perguntas, elas mantêm um solene silêncio. […] Poderíamos imaginar que tivessem inteligência, mas, se quiser saber algo e fizer uma pergunta a alguma delas, o falante sempre reproduz a mesma resposta, sem variações.[35]

Infelizmente, a palavra escrita permanece como está. Ela é estável e imóvel. As ansiedades de Platão foram em sua maioria deixadas de lado nos milênios seguintes, conforme a cultura da alfabetização desenvolveu suas muitas dádivas: a história e o direito; as ciências e a filosofia; a explicação reflexiva da arte e da própria literatura. Nada disso poderia ter emergido a partir da oralidade pura. Nas grandes poesias sim, e de fato emergiram, mas tratava-se de um artigo dispendioso e raro. Para produzir os épicos de Homero, para permitir que fossem

ouvidos, para sustentá-los ao longo dos anos e dos quilômetros, era necessária uma parcela considerável da energia cultural disponível.

Portanto o mundo desaparecido da oralidade primária não foi objeto de muita saudade. Foi somente no século xx, em meio ao crescimento de novas mídias para a comunicação, que a inquietação e a nostalgia voltaram à superfície. Marshall McLuhan, que se tornou o mais famoso porta-voz da cultura oral do passado, o fez a serviço de uma defesa da modernidade. Ele celebrou a nova "era eletrônica" não por causa da sua novidade, e sim por causa de seu retorno às raízes da criatividade humana. Ele enxergou isso como um ressurgimento da antiga oralidade. "Estamos, no nosso século, 'rebobinando a fita'",[36] declarou ele, encontrando sua metáfora da fita numa das mais novas tecnologias da informação. Ele construiu uma série de contrastes polêmicos: palavra impressa versus palavra dita; frio/quente; estático/fluido; neutro/mágico; empobrecido/rico; sistematizado/criativo; mecânico/orgânico; separatista/integrador. "O alfabeto é uma tecnologia de fragmentação visual e especialismo", escreveu ele. Esta leva a "um deserto de dados classificados". Uma maneira de interpretar a crítica de McLuhan à mídia impressa seria dizer que esta oferece apenas um canal estreito de comunicação. O canal é linear e até fragmentado. Em comparação, a fala — no caso primordial, a interação humana cara a cara, viva, cheia de gestos e toques — envolve todos os sentidos, e não apenas a audição. Se o ideal da comunicação é um encontro entre as almas, então a escrita é uma triste sombra do ideal.

A mesma crítica foi feita a outros canais limitados, criados por tecnologias posteriores — o telégrafo, o telefone, o rádio e o e-mail. Jonathan Miller reescreve a argumentação de McLuhan em termos quase técnicos de informação: "Quanto maior o número de sentidos envolvidos, maior a chance de transmitir uma cópia confiável do estado mental do emissor".[b] No fluxo de palavras que passam pelo ouvido ou pelo olho, sentimos não apenas os itens individualmente, mas também seu ritmo e sua tonalidade, ou sua música. Nós, ouvintes ou leitores, não ouvimos, nem lemos, uma palavra de cada vez; recebemos mensagens em agrupamentos menores e maiores. Sendo a memória humana aquilo que é, torna-se mais fácil reter padrões maiores por escrito, mais do que

por meio de seu som. O olho pode voltar atrás. McLuhan considerou isso prejudicial ou, no mínimo, redutor. “O espaço acústico é orgânico e integral”, disse ele, “percebido por meio da interação simultânea de todos os sentidos; ao passo que o espaço ‘racional’ ou pictórico é uniforme, sequencial e contínuo, criando um mundo fechado sem nada da rica ressonância do país tribal dos ecos.”[37] Para McLuhan, o país tribal dos ecos é o Éden.

> Por meio de sua dependência em relação à palavra dita para a obtenção de informações, as pessoas eram atraídas umas às outras num tecido tribal […] a palavra falada é mais plena de emoção do que a sua variante escrita. […] O homem tribal ouvinte-tateante tomava parte do inconsciente coletivo, vivia num mágico mundo integral padronizado pelo mito e pelo ritual, imbuído de valores divinos.c

Até certo ponto, talvez. Mas, três séculos mais cedo, Thomas Hobbes, observando a partir de um ponto de vista segundo o qual a alfabetização era nova, apresentou uma opinião menos otimista. Ele via com mais clareza a cultura pré-letrada: “Os homens viviam com base na experiência bruta”, escreveu ele. “Não havia método; quer dizer, nenhuma maneira de semear nem de plantar o conhecimento em si, com exceção das ervas daninhas e do mato dos erros e das conjecturas.”[38] Um lugar infeliz, longe de ser mágico ou divino.

Quem estaria certo, McLuhan ou Hobbes? Se somos ambivalentes, essa ambivalência teve início com Platão. Ele testemunhou a ascensão do domínio da escrita. Ele constatou sua força e temeu sua ausência de vida. O escritor-filósofo encarnava um paradoxo. O mesmo paradoxo estava destinado a reaparecer sob diferentes disfarces, e cada tecnologia da informação trazia seu próprio poder e seus próprios temores. Parece que o “esquecimento” temido por Platão não vem à tona. Isso não ocorre porque o próprio Platão, com seu mentor Sócrates e seu discípulo Aristóteles, desenvolveu um vocabulário de ideias, organizou-as em categorias, estabeleceu as regras da lógica e assim tornou real a promessa da tecnologia da escrita. Tudo isso fez do conhecimento algo mais durável do que tinha sido até então.

E o átomo do conhecimento era a palavra. Será mesmo? Durante algum tempo, a palavra continuou a iludir aqueles que a perseguiam, fosse numa

efêmera saraivada de sons, fosse num conjunto fixo de marcas visuais. “Quando dizemos ‘pense numa palavra’ à maioria das pessoas letradas, elas pensam de uma maneira ou de outra em algo que está diante de seus olhos”, diz Ong, “onde uma palavra real jamais poderá de fato estar.”[39] E onde é que procuramos as palavras, então? No dicionário, é claro. Ong disse também: “É desmoralizante lembrar a si mesmo que não existe dicionário na mente, que o aparato lexicográfico é um acréscimo muito tardio à linguagem”.[40]

---

a É costume transcrever um número cuneiforme sexagesimal de duas posições usando uma vírgula — como “7,30”. Mas os escribas não empregavam essa pontuação e, na verdade, sua notação deixava indefinidos os valores de cada posição; ou seja, os números deles eram aquilo que chamaríamos de “ponto flutuante”. Um número de duas posições como 7,30 poderia ser 450 (sete 60s + trinta 1s) ou 7½ (sete 1s + trinta 1/60s).

b Não que Miller concorde com isso. Ao contrário: “É difícil exagerar os sutis efeitos reflexivos da alfabetização sobre a imaginação criativa, ao proporcionar um depósito cumulativo de ideias, imagens e idiomas cujos recursos caros e cada vez mais valiosos podem ser legítima e ilimitadamente sacados por cada artista”. Jonathan Miller, *Marshall McLuhan*, p. 3.

c O entrevistador perguntou, desanimado: “Mas não haveria ganhos correspondentes na reflexão, na compreensão e na diversidade cultural, compensando pela destribalização do homem?”. McLuhan respondeu: “Sua pergunta reflete toda a parcialidade institucionalizada do homem letrado”.

# 3. Dois vocabulários

## (*A incerteza em nossa escrita, a inconstância em nossas letras*)

> *Numa época tão movimentada e ativa, surge um número cada vez maior de pensamentos humanos, que precisam ser significados e variados por novas expressões.*
>
> Thomas Sprat, 16671

O padre e reitor da escola de um vilarejo fez um livro em 1604 com um extenso título que começava com “Uma Tabela Alfabética, contendo e ensinando a verdadeira escrita, e compreensão das palavras mais comuns e difíceis do inglês”, e prosseguia oferecendo mais dicas de seu propósito, que era incomum e precisava de explicação:[2]

> Com a interpretação de palavras simples do inglês, reunidas para beneficiar & ajudar as Damas, as Senhoritas e quaisquer outras pessoas desprovidas de habilidades.
>
> Tornando assim possível que estas compreendam melhor e mais facilmente muitas difíceis palavras inglesas, que serão ouvidas ou lidas nas Escrituras, nos Sermões ou em outras situações, e também que se tornem elas mesmas aptas a usá-las devidamente.

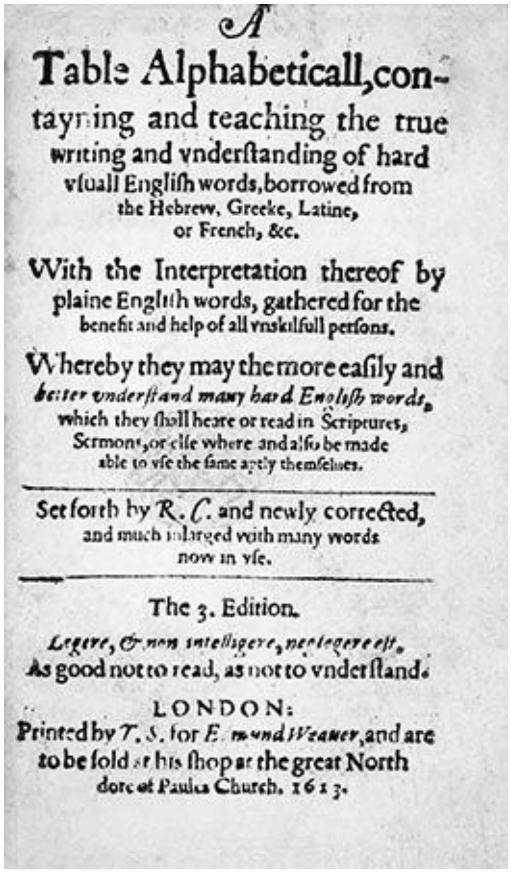
A página do título omitia o nome do autor, Robert Cawdrey, mas incluía um lema do latim — Ler sem entender é como não ter lido — e situava o editor com tanta formalidade e exatidão quanto seria de esperar de uma época na qual o *endereço*, no sentido de especificação de um lugar, ainda não existia:

> Em Londres, impresso por I. R. para Edmund Weaver, & devem ser vendidos na loja dele na grande porta norte da Igreja de S. Paulo.

Mesmo nas densamente povoadas ruas de Londres, era raro lojas e lares serem encontrados pelo número. O alfabeto, entretanto, tinha uma ordem definida — com as duas primeiras letras lhe dando o próprio nome —, ordem que tinha sido mantida desde a época dos primeiros fenícios, sobrevivendo a

todos os empréstimos e evoluções que se seguiram.

Cawdrey vivia numa época de miséria informacional. Ele não teria pensado assim, mesmo que conhecesse tal conceito. Ao contrário: diria que estava no coração de uma explosão de informações, algo que ele próprio tentava facilitar e organizar. Quatro séculos mais tarde, porém, sua vida se encontra envolta nas trevas do conhecimento faltante. Sua *Tabela Alfabética* figura como um marco na história da informação, mas, de toda sua primeira edição, somente um exemplar desgastado sobreviveu até o futuro. A data e o local do nascimento dele são desconhecidos — provavelmente nos anos 1530, em Midlands. A não ser pelos registros paroquiais, a vida das pessoas era pouquíssimo documentada. Ninguém sabe nem mesmo a maneira correta de escrever o nome de Cawdrey (Cowdrey, Cawdry). Mas, na época, não havia consenso quanto à maneira correta de grafar a maioria dos nomes: eles eram ditos, e raramente escritos.



A
Table Alphabeticall, con-
taynıng and teaching the true
writing and vnderſtanding of hard
vſuall Engliſh words, borrowed from
the Hebrew, Greeke, Latine,
or French, &c.

With the Interpretation thereof by
plaine Engliſh words, gathered for the
benefit and help of all vnskilfull perſons.

Whereby they may the more eaſily and
*better vnderſtand many hard Engliſh words,*
which they ſhall heare or read in Scriptures,
Sermons, or elſe where and alſo be made
able to vſe the ſame aptly themſelues.

Set forth by R. C. and newly corrected,
and much inlarged with many words
now in vſe.

The 3. Edition.

*Legere, & non intelligere, neglegere eſt.*
As good not to read, as not to vnderſtand.

LONDON:
Printed by T. S. for Edmund Weauer, and are
to be ſold at his ſhop at the great North
dore of Paules Church. 1613.

*Página de Cawdrey contendo o título.*

Na verdade, poucos conheciam o conceito de “soletrar” — a ideia de que

cada palavra, quando escrita, deve assumir um arranjo predeterminado sob a forma de letras. A palavra *cony* (coelho) aparecia grafada de diferentes maneiras, como *conny*, *conye*, *conie*, *connie*, *coni*, *cuny*, *cunny* e *cunnie*, num mesmo panfleto de 1591.[3] E ainda havia outras grafias. Por isso mesmo, o próprio Cawdrey, na página de título de seu livro "ensinando a verdadeira escrita", escreveu *wordes* (palavras) numa frase e *words* na seguinte. A linguagem não funcionava como um depósito de palavras, a partir do qual os usuários poderiam invocar os termos corretos, pré-formados. Muito pelo contrário, as palavras eram fugazes, pairavam no ar, e esperava-se que desaparecessem depois de ditas. Quando enunciadas, não ficavam disponíveis para serem comparadas ou equiparadas a outras instâncias de si mesmas. Cada vez que mergulhavam uma pena na tinta para formar uma palavra sobre o papel, as pessoas faziam uma nova escolha das letras que pareciam mais adequadas para cumprir a tarefa. Mas isso estava mudando. A disponibilidade — a solidez — do livro impresso inspirou uma noção de que a palavra escrita *deveria ser* de uma determinada maneira, de que havia uma forma certa e outras erradas. A princípio essa ideia surgiu de forma inconsciente, e depois começou a se aproximar mais da consciência coletiva. Os próprios donos das prensas de tipos móveis fizeram disso seu ramo de atividade.

De início, *soletrar* (*to spell*, derivada de uma antiga palavra germânica) significava falar ou pronunciar. Depois passou a denotar ler lentamente, letra por letra. E enfim, por extensão, mais ou menos na época de Cawdrey, começou a significar escrever as palavras letra por letra. Este último sentido era um emprego um tanto poético. "Soletre Eva ao contrário e encontrarás Ave", escreveu o poeta jesuíta Robert Southwell (pouco antes de ser enforcado e esquartejado em 1595). Quando certos educadores passaram de fato a se debruçar sobre a ideia de soletrar, eles se referiam a "escrever corretamente" — ou, num empréstimo do grego, "*ortografia*". Poucos se ocuparam disso, mas um dos que o fizeram era o diretor de uma escola de Londres, Richard Mulcaster. Ele preparou um manual, intitulado "Primeira parte [a segunda parte nunca foi publicada] do Manual Elementar que trata principalmente da escrita correta do nosso idioma inglês". Ele o publicou em 1582 ("em Londres por Thomas Vautroullier, morador de Blackfriars perto de Ludgate"), incluindo sua própria

lista de aproximadamente 8 mil palavras e um apelo para que fosse criado um dicionário:

> Seria algo muito louvável em minha opinião, e não menos lucrativo do que louvável, se alguém de boa formação e dedicado ao trabalho pudesse reunir todas as palavras que usamos em nossa língua inglesa […] num dicionário, e também a maneira correta de escrevê-las, que incide no Alfabeto, assim abrindo para nós tanto sua força natural quanto seu uso correto.4

Ele reconheceu outro fator de motivação: o ritmo cada vez mais acelerado do comércio e do transporte transformou outros idiomas numa presença palpável, forçando uma consciência do idioma inglês como apenas um entre muitos. “Estrangeiros e desconhecidos indagam a nosso respeito”, escreveu Mulcaster, “quanto à incerteza em nossa escrita e a inconsistência em nossas letras.” A linguagem já não era invisível como o ar.

Pouco mais de 5 milhões de pessoas falavam inglês (uma estimativa aproximada — foi somente em 1801 que alguém pensou em contar a população da Inglaterra, da Escócia ou da Irlanda). Destas, pouco mais de 1 milhão sabia escrever. De todos os idiomas do mundo, o inglês já era o mais diversificado, o mais sarapintado, o mais poligenético. Sua história mostrava uma contínua corrupção e um enriquecimento vindos do exterior. As mais antigas de suas palavras principais, as palavras que pareciam mais elementares, eram dos idiomas falados pelos anglos, saxões e jutos, tribos germânicas que atravessaram o mar do Norte e chegaram à Inglaterra no século v, afastando os habitantes celtas. Pouco do idioma celta penetrou na fala anglo-saxônica, mas invasores vikings trouxeram mais palavras dos idiomas nórdicos e do dinamarquês: *egg* (*ovo*), *sky* (*céu*), *anger* (*raiva*), *give* (*dar*), *get* (*obter*). O latim chegou com os missionários cristãos — eles escreviam no alfabeto dos romanos, que substituiu a escrita rúnica disseminada no centro e no norte da Europa no início do primeiro milênio. Então veio a influência do francês.

Para Robert Cawdrey, *influência* significava “um influxo”. A Conquista

Normanda se assemelhou mais a um dilúvio, em termos linguísticos. Os camponeses ingleses das classes mais baixas continuaram a criar vacas (*cows*), porcos (*pigs*) e bois (*oxen*), palavras de origem germânica, mas, no segundo milênio, as classes altas comiam bife (*beef*), carne suína (*pork*) e carneiro (*mutton*), palavras francesas. No período medieval, as raízes francesas e latinas respondiam por mais da metade do vocabulário comum. Novas palavras estrangeiras chegaram quando os intelectuais começaram copiosamente a tomar emprestados termos do latim e do grego para expressar conceitos dos quais a linguagem não tinha precisado até então. Cawdrey considerava tal hábito irritante. "Alguns vão tão longe na busca de um inglês extravagante que parecem se esquecer completamente do idioma de suas mães, de modo que, se uma de suas mães estivesse viva, não conseguiria saber e nem compreender aquilo que diz o filho",[5] queixou-se. "Poderiam até ser acusados de falsificar o inglês do rei."

Quatrocentos anos depois de Cawdrey ter publicado seu livro de palavras, John Simpson refez o trajeto percorrido por ele. Em certos aspectos, Simpson era seu herdeiro natural: o editor de um livro de palavras ainda maior, o *Oxford English Dictionary*. Homem de pele clara e voz amena, Simpson viu em Cawdrey um sujeito obstinado, irredutível e até briguento. O professor foi ordenado diácono e então pastor da Igreja Anglicana num período de grande agito, quando o puritanismo estava em ascensão. O inconformismo o meteu em encrencas. Ele parece ter sido culpado de "não se Conformar" com alguns dos sacramentos, como "a Cruz no Batismo, e a Aliança no Casamento".[6] Como pastor de um vilarejo, não se curvava a bispos e arcebispos. Pregava uma forma de igualdade malquista pelas autoridades da Igreja.

> Foi apresentada secretamente contra ele uma Informação segundo a qual estaria proferindo Palavras dissidentes no Púlpito, tendendo à depravação do Livro de Oração Comum. […] E sendo assim julgado uma Pessoa perigosa, caso siga pregando e assim infectando o Povo com Princípios diferentes daqueles da Religião estabelecida.

Cawdrey teve seu sacerdócio revogado e foi privado de seus benefícios.

Continuou a se defender das acusações durante anos, sem resultado.

Durante todo aquele tempo, ele reuniu palavras (“reunir: coletar”). Publicou dois tratados instrutivos, um a respeito do catecismo (“catequizador: aquele que ensina os princípios da religião cristã”) e outro sobre *Uma forma divina de governo do lar para a organização de famílias particulares*, e em 1604 produziu um tipo diferente de livro: nada mais do que uma lista de palavras, acompanhadas de breves definições.

Por quê? Segundo Simpson: “Já tínhamos visto que ele era uma pessoa comprometida com a simplicidade na linguagem, e que era teimoso a ponto de ser obstinado”. Ele ainda estava pregando — dessa vez, aos pregadores. “Aqueles cuja posição e vocação (os Pastores, principalmente) lhes proporcionam a ocasião de falar em público ao povo ignorante”, declarou Cawdrey em sua nota introdutória, “devem ser admoestados.” Ele os admoesta. “Nunca empreguem estranhos termos saídos do tinteiro de chifre.” (Na época os tinteiros eram feitos de chifre; ele estava se referindo a palavras pernósticas, próprias dos livros.) “Esforcem-se para falar nos termos comumente usados, de modo que os mais ignorantes possam entender.” E, acima de tudo, não tentem falar como estrangeiros:

> Alguns senhores mais viajados, quando voltam para casa, demonstram seu apreço pelo linguajar estrangeiro, adornando sua fala com termos do continente. Aquele que acaba de chegar da França falará num inglês francês, sem nunca ficar constrangido ao fazê-lo.

A ideia de Cawdrey não era listar todas as palavras — fosse qual fosse o significado disso. Em 1604, William Shakespeare já tinha escrito a maioria de suas peças, empregando um vocabulário de quase 30 mil termos, mas essas palavras não estavam disponíveis para Cawdrey nem para mais ninguém. Cawdrey não se ocupou das palavras mais comuns, nem das mais pernósticas e afrancesadas. Foram listadas apenas “as palavras mais comuns e difíceis”, palavras difíceis o bastante para exigir uma explicação, mas, ainda assim, “adequadas ao idioma no qual falamos” e “claras para o entendimento de todos”. Ele compilou 2500 delas. Sabia que muitas eram derivadas do grego, do francês

e do latim (“derivar: trazer de algum lugar”), e deixou isso claro. O livro feito por Cawdrey foi o primeiro dicionário do inglês. A palavra *dicionário* não estava nele.

Embora Cawdrey não citasse outros estudiosos, tinha se valido de alguns deles. Copiou do bem-sucedido livro de Thomas Wilson *The Arte of Rethorique* os comentários a respeito dos termos pernósticos e do linguajar estrangeiro dos senhores mais viajados.[7] Para as palavras em si, recorreu a numerosas fontes (“fonte: onda, ou fonte de água”). Encontrou cerca de metade de suas palavras num manual que ensinava a ler em inglês, chamado *The English Schoole-maister* [O professor de inglês], de Edmund Coote, publicado pela primeira vez em 1596 e reimpresso muitas vezes desde então. Coote sugeria que, munido do seu texto, um professor seria capaz de ensinar cem alunos mais rapidamente do que a quarenta sem usar o material. Ele considerava útil explicar os benefícios de ensinar o povo a ler: “De modo que mais conhecimento seja trazido à nossa Terra, e mais livros sejam comprados do que seriam na ausência do ensino”.[8] Coote incluiu um longo glossário, do qual Cawdrey se aproveitou.

A decisão de Cawdrey de dispor suas palavras em ordem alfabética para criar sua *Tabela Alfabética* não era uma obviedade. Ele sabia que não podia contar nem mesmo que seus leitores mais letrados fossem versados na ordem alfabética, e tentou produzir um pequeno manual ensinando como usá-la. Cawdrey enfrentou dificuldades: não sabia se o melhor era descrever o ordenamento em termos lógicos, esquemáticos, ou em termos de um procedimento passo a passo, um algoritmo. “Gentil leitor”, escreveu ele — mais uma vez adaptando livremente o material de Coote —

> precisas aprender o Alfabeto, ou seja, a ordem das Letras conforme foi estabelecida, perfeitamente e sem recorrer a livros, sabendo a posição de cada letra: estando o *b* perto do começo, o *n* perto do meio, e o *t* perto do fim. Ora, se a palavra que desejas encontrar começar com *a*, então deves procurá-la no início desta Tabela, mas, se começar com *v*, procure-a perto do fim. Mais uma vez, se a palavra começar com *ca*, procure-a no início da letra *c*, mas se começar com *co*, procures perto do fim da letra. E assim funciona todo o restante. &c.

Não era fácil explicar. O frei Johannes Balbus, de Gênova, tentou fazê-lo em seu *Catholicon*, de 1286. Balbus acreditou que estava inventando a ordem alfabética pela primeira vez, e suas instruções foram detalhadas: “Pretendo, por exemplo, discutir *amo* antes de *bibo* porque *a* é a primeira letra de *amo* e *b* é a primeira letra de *bibo*, e *a* vem antes de *b* no alfabeto. Da mesma maneira […]”.[9] Ele ensaiou uma longa lista de exemplos e concluiu dizendo: “Assim sendo, imploro a vós, bom leitor, que não despreze o grande trabalho que tive nem desconsidere este ordenamento como algo sem valor”.

No mundo antigo, as listas alfabéticas foram raras até 250 a.C., aparecendo sob a forma de textos escritos no papiro, em Alexandria. A grande biblioteca de lá parece ter usado ao menos alguma forma de organização alfabética no ordenamento dos livros. A necessidade de tal esquema artificial de ordenamento surge somente nos grandes acervos de dados, carentes de outra forma de organização. E a possibilidade de uma ordem alfabética só surge nos idiomas que possuem um alfabeto: um conjunto distinto e pequeno de símbolos dotado de uma sequência convencional (“abecedário: a ordem das letras, ou aquele que as usa”). Mesmo assim, o sistema não chega a ser exatamente natural. Ele obriga o usuário a separar informação de significado; a tratar as palavras estritamente como sequências de caracteres; a se concentrar abstratamente na configuração da palavra. Além disso, o ordenamento alfabético compreende um par de procedimentos, sendo um o inverso do outro: organizar uma lista e procurar por itens; separar e procurar. Em ambas as direções, o procedimento é recursivo (“recurso: um curso percorrido novamente”). Sua operação básica é uma decisão binária: maior que ou menor que. Essa operação é realizada primeiro numa letra; então, acomodada como sub-rotina, na letra seguinte; e (como afirmou Cawdrey, debatendo-se com todo o estranhamento) “assim funciona todo o restante. &c”. Isso produz uma eficiência impressionante. O sistema se adapta facilmente a qualquer dimensão, sendo sua macroestrutura idêntica à microestrutura. Uma pessoa que compreende a ordem alfabética é capaz de encontrar com precisão qualquer item determinado numa lista de mil ou 1 milhão, sem errar, com total confiança. E sem nada saber a respeito de seu significado.

Foi somente em 1613 que o primeiro catálogo alfabético foi criado — não impresso, mas escrito em dois pequenos manuais — para a Biblioteca Bodleiana de Oxford.[10] O primeiro catálogo da biblioteca de uma universidade, criado em Leiden, na Holanda, duas décadas antes, foi organizado por assunto, como uma lista de prateleiras (cerca de 450 livros). Sem nenhum índice alfabético. De uma coisa Cawdrey podia ter certeza: seu leitor típico, um leitor letrado e comprador de livros da virada do século xvii, podia passar toda a vida sem se deparar com um conjunto de dados organizados alfabeticamente.

Maneiras mais razoáveis de organizar as palavras já haviam surgido antes, e duraram muito tempo. Na China, por muitos séculos, aquilo que mais se assemelhava a um dicionário foi o *Erya*, de autor desconhecido e data indeterminada, mas provavelmente perto do século iii a.C. Seus 2 mil verbetes eram organizados por significado, em categorias tópicas: parentesco, construção, ferramentas e armas, o paraíso, a terra, plantas e animais. Os egípcios contavam com listas de palavras organizadas por princípios filosóficos ou educacionais, e o mesmo valia para os árabes. Essas listas não organizavam as palavras em si, e sim o mundo: as coisas que as palavras representavam. Na Alemanha, um século depois de Cawdrey, o filósofo e matemático Gottfried Wilhelm Leibniz tornou essa distinção explícita:

> Permita-me mencionar que as palavras ou nomes de todos os objetos e atos podem ser relacionadas numa lista de acordo com duas maneiras diferentes, seguindo o alfabeto e seguindo a natureza. […] A primeira vai da palavra ao objeto; a segunda, do objeto à palavra.11

As listas tópicas instigavam o pensamento, eram imperfeitas e criativas. As listas alfabéticas eram mecânicas, eficazes e automáticas. Consideradas alfabeticamente, as palavras não são mais do que indicadores, cada qual instalada num espaço. De fato, elas bem que poderiam ser números.

O significado chega ao dicionário em suas definições, é claro. Os modelos cruciais seguidos por Cawdrey foram dicionários para a tradução, especialmente

um *Dictionarium* de latim-inglês elaborado por Thomas Thomas. Um dicionário bilíngue tinha um propósito mais claro do que um dicionário de um único idioma: o mapeamento do latim para o inglês fazia sentido de uma forma que a tradução do inglês para o inglês não fazia. Mas as definições eram o objetivo, e o propósito declarado por Cawdrey era ajudar as pessoas a compreender e usar palavras difíceis. Ele abordou a tarefa com uma apreensão que parece palpável. Mesmo enquanto definia suas palavras, Cawdrey ainda não acreditava plenamente em sua solidez. Os significados eram ainda mais fluidos do que a ortografia. Para Cawdrey, *definir* era para objetos, não para palavras: “definir: expor claramente aquilo que uma coisa é”. Era a realidade, e toda sua riqueza, que precisava de definição. *Interpretar* significava “abrir, tornar simples, encontrar o sentido e o significado de uma coisa”. Para ele, a relação entre o objeto e a palavra era como a relação entre um objeto e sua sombra.

Os conceitos relevantes ainda não tinham atingido a maturidade:

> figurar: fazer sombra, ou representar, ou falsificar
>
> tipo: figura, exemplo, sombra de qualquer coisa
>
> representar: expressar, mostrar uma coisa

Um contemporâneo anterior de Cawdrey, Ralph Lever, inventou sua própria palavra: “dizeroqueé (*saywhat*): chamada corruptamente de definição, é na verdade um dizer que conta o que é uma coisa, podendo ser mais corretamente nomeada como uma dizeroqueé”.[12] Isso não pegou. Foi preciso quase outro século — e os exemplos de Cawdrey e seus sucessores — para que o sentido moderno entrasse em foco: “Definição”, escreve finalmente John Locke, em 1690, “nada mais é que fazer outro compreender, por meio das Palavras, a Ideia que o Termo definido representa”.[13] E Locke ainda adota uma visão operacional. Definição é comunicação: fazer outro compreender; enviar uma mensagem.

Cawdrey toma emprestadas as definições de suas fontes, combina-as e as adapta. Em muitos casos, simplesmente mapeia uma palavra em relação a outra:

orifício: boca

meretriz: prostituta

capacete: proteção para a cabeça

Para uma pequena classe de palavras, ele usa uma designação especial, a letra *t*: “representando um tipo de”. Ele não se dá ao trabalho de dizer *qual* tipo. Assim:

crocodilo: *t* fera

alabastro: *t* pedra

cidra: *t* fruta

Mas associar pares de palavras, seja como sinônimos, seja como membros de uma classe, só pode levar um lexicógrafo até certo ponto. As relações entre as palavras de uma língua são complexas demais para uma abordagem tão linear (“caos: uma pilha confusa de objetos variados”). Às vezes Cawdrey tenta lidar com o problema inserindo um ou mais sinônimos adicionais, definindo por meio da triangulação:

sarda: pinta ou marca

cínico: rude, teimoso

vapor: umidade, ar, hálito quente, ou fumaça

Para outras palavras, que representam conceitos e abstrações, mais afastadas do domínio concreto dos sentidos, Cawdrey precisa encontrar outro estilo. Ele inventa a resposta pelo caminho. Precisa falar com seu leitor, em prosa mas não exatamente em frases, e o esforço dele é audível, tanto para compreender certas palavras como para expressar seu entendimento.

gargarejar: lavar a boca, e a garganta, ao passar algum líquido forte por todo o interior da boca

hipócrita: aquele que em sua aparência exterior, expressão facial e comportamento finge ser uma pessoa diferente de quem realmente é, ou um enganador

sodomia: união carnal com alguém do mesmo gênero, ou entre homem e animal

teologia: ciência do divino, ciência do viver abençoado para sempre

Entre os mais problemáticos estavam os termos técnicos das novas ciências:

cifra: um círculo na numeração, sem nenhum valor em si, mas usado para formar o número e para criar outros números de maior valor

horizonte: um círculo, dividindo metade do firmamento da outra metade, que não vemos

zodíaco: um círculo nos céus, dentro do qual são localizados os doze signos, e no qual o Sol se move

Não eram apenas as palavras que se encontravam num estado de incerteza, mas o próprio conhecimento. A linguagem estava examinando a si própria. Mesmo quando Cawdrey copia de Coote ou Thomas, está fundamentalmente sozinho, sem nenhum especialista a quem consultar.

Uma das palavras mais comuns e difíceis de Cawdrey era *ciência* (“conhecimento, ou habilidade”). A ciência ainda não existia como instituição responsável por aprender a respeito do universo material e suas leis. Os filósofos naturais estavam começando a demonstrar um interesse especial na natureza das palavras e em seu significado. Eles precisavam de palavras melhores do que aquelas das quais dispunham. Quando Galileu apontou seu primeiro telescópio para o céu e descobriu as manchas solares em 1611, ele imediatamente imaginou a controvérsia que se seguiria — por tradição, o Sol era um epítome da pureza — e sentiu que a ciência não poderia prosseguir sem solucionar antes um problema de linguagem:

Enquanto os homens forem de fato obrigados a chamar o Sol de “mais puro e mais lúcido”, nenhuma sombra nem impureza foram percebidas nele; mas, agora que mostra ser parcialmente impuro e manchado; por que não chamá-lo de “manchado e impuro”? Afinal, os nomes e os atributos devem ser adequados à essência das coisas, e não a essência aos nomes, já que as coisas surgem primeiro, e os nomes, depois.14

Quando Isaac Newton embarcou no seu grande programa, ele encontrou uma falta fundamental de definição justamente onde isso era mais necessário. Ele começou com um rápido truque de ilusão semântica: “Não defino o tempo, o espaço, o lugar e o movimento, coisas bem conhecidas por todos”,[15] escreveu ele de maneira enganadora. Definir tais palavras era justamente seu propósito. Não havia acordo internacional para pesos e medidas. *Peso* e *medida* eram em si termos vagos. O latim parecia mais confiável do que o inglês, precisamente por se encontrar menos desgastado pelo uso cotidiano, mas aos romanos também faltavam as palavras necessárias. As anotações de Newton revelam uma disputa que ficou oculta no produto acabado. Ele testou expressões como *quantitas materiae*. Difícil demais para Cawdrey: “material: algum tipo de matéria, ou importância”. Newton sugeriu (a si mesmo) “aquilo que emana de sua densidade e volume conjuntamente”. Ele pensou em mais palavras: “Tal quantidade designarei pelo nome de corpo ou massa”. Sem as palavras corretas ele não poderia prosseguir. *Velocidade*, *força*, *gravidade* — nenhuma dessas era ainda adequada. Não podiam ser definidas em termos umas das outras; não havia nada na natureza visível que as pessoas pudessem indicar apontando o dedo; e não havia nenhum livro onde pudessem ser pesquisadas.

Quanto a Robert Cawdrey, a marca deixada por ele na história se encerra com a publicação de sua *Tabela Alfabética* em 1604. Ninguém sabe quando ele morreu. Ninguém sabe quantas cópias foram impressas pelo editor. Não há registros (“registros: escritos mantidos a título de lembrança”). Uma única cópia chegou à Biblioteca Bodleiana de Oxford, que a preservou. Todas as demais desapareceram. Uma segunda edição surgiu em 1609, um pouco expandida (“muito ampliada”, diz a página do título, falsamente) pelo filho de Cawdrey, Thomas, e a terceira e a quarta apareceram em 1613 e 1617, e foi então que a vida desse livro chegou ao fim.

Ele sumiu na sombra de um novo dicionário, duas vezes mais abrangente, *Uma exposição do inglês: Ensinando a interpretação das palavras mais difíceis usadas em nossa linguagem, com claras explicações, descrições e discursos*. O

responsável por sua compilação, John Bullokar, também deixou nos registros históricos uma marca tão discreta quanto a deixada por Cawdrey.[16] Era um doutor da física; viveu durante algum tempo em Chichester; suas datas de nascimento e morte não são conhecidas; diz-se que visitou Londres em 1611 e viu lá um crocodilo morto; e não muito mais é sabido a seu respeito. Sua *Exposição* apareceu em 1616 e foi submetida a várias edições nas décadas seguintes. Então, em 1656, um advogado londrino, Thomas Blount, publicou sua *Glossografia: ou um dicionário interpretando todas as palavras consideradas difíceis de qualquer que seja o idioma, agora usadas em nosso refinado idioma inglês*. O dicionário de Blount listava mais de 11 mil palavras, muitas das quais ele mesmo admitia serem novas, chegadas a Londres por meio do burburinho do comércio e dos negócios —

> café ou cauphe: tipo de bebida comum entre turcos e persas (e recentemente difundida entre nós), sendo preta, densa e amarga, destilada a partir de frutinhas desta mesma natureza e de mesmo nome, considerada boa e muito completa: dizem que tem o efeito de afastar a melancolia.

— ou criadas no próprio país, como "maria-rapaz (*tom-boy*): menina ou moça agitada feito um menino". Ele parece ter sido consciente de que estava mirando num alvo em movimento. O "trabalho" do criador do dicionário, escreveu ele no prefácio, "nunca chegará ao fim, pois nosso idioma inglês muda de hábitos todos os dias". As definições de Blount eram muito mais elaboradas do que as de Cawdrey, e ele tentou também incluir informações sobre as origens das palavras.

Nem Bullokar, nem Blount sequer mencionaram Cawdrey. Ele já tinha sido esquecido. Mas, em 1933, por ocasião da publicação do maior de todos os livros de palavras, os primeiros editores do *Oxford English Dictionary* prestaram uma homenagem a seu "pequeno e magro tomo". Eles o chamaram de "a semente original" a partir da qual o seu carvalho tinha crescido. (Cawdrey: "semente: *t* fruto.")

Quatrocentos e dois anos depois da *Tabela Alfabética*, a União Astronômica

Internacional decidiu em votação declarar que Plutão não seria mais considerado um planeta, e John Simpson teve de tomar uma rápida decisão. Ele e seu grupo de lexicógrafos de Oxford estavam trabalhando nas palavras da letra *p*. *Pletzel* (tipo de pão da culinária judaica), *plish* (saliva que escapa da boca enquanto a pessoa fala), *pod person* (pessoa superficial, sem opinião própria), *point-and-shoot* (diz-se das câmeras digitais fáceis de usar) e *polyamorous* (pessoa que mantém múltiplos relacionamentos amorosos simultaneamente) estavam entre as novas palavras do inglês que entravam para o *OED*. A própria inclusão de Plutão tinha sido relativamente recente. O planeta fora descoberto somente em 1930, tarde demais para a inclusão na primeira edição do *OED*. O nome Minerva foi proposto inicialmente, mas rejeitado, pois já havia um asteroide assim chamado. Tratando-se de nomes, os céus estavam começando a ficar lotados. Então "Pluto" (Plutão) foi sugerido por Venetia Burney, de onze anos, moradora de Oxford. O *OED* foi atualizado com a inclusão de um verbete para Pluto (Plutão) em sua segunda edição: "1. Pequeno planeta do sistema solar localizado além da órbita de Netuno […] 2. Nome de um personagem canino dos desenhos animados que fez sua primeira aparição em *Caça ao alce*, de Walt Disney, lançado em abril de 1931".

"Na verdade não gostamos de ser pressionados a fazer grandes mudanças",[17] declarou Simpson, mas ele não tinha muita escolha. O significado de Pluto relacionado à Disney mostrou-se mais estável do que seu sentido astronômico, que foi rebaixado a "pequeno corpo planetário". As consequências foram sentidas em todo o *OED*. *Plutão* foi tirado da lista como *planeta s.*3a. *Plutoniano* foi revisado (não confundir com *plúton*, *plúteo* nem *plutonil*).

Simpson era o sexto numa distinta linhagem, a dos editores do *Oxford English Dictionary*, cujos nomes ele citou fluentemente e de cor — "Murray, Bradley, Craigie, Onions, Burchfield, seja lá quantos dedos forem necessários para contá-los" — e viu-se como um guardião de suas tradições, bem como de tradições da lexicografia inglesa que remontavam a Cawdrey via Samuel Johnson. No século xix, James Murray definiu um método de trabalho com base em cartões indexados, pedaços de papel de quinze por dez centímetros. Uma visita aleatória ao escritório que hoje é de Simpson revelaria milhares de pedaços

como aqueles sobre a mesa, e milhões mais espalhados a uma curta distância dali, preenchendo arquivos metálicos e caixas de madeira com a tinta de dois séculos. Mas os cartões-verbetes tinham se tornado obsoletos. Eram agora *treeware*. O próprio termo *treeware* havia acabado de entrar para o *OED*, significando "gíria da informática, freq. humorística"; *blog* foi reconhecida em 2003, *dot-commer* (funcionário de empresa pontocom) em 2004, *cyberpet* (bicho de estimação cibernético) em 2005, e o verbo *to Google* ("googlear", pesquisar no Google) em 2006. O próprio Simpson costumava googlear. Além dos cartões-verbetes, havia na mesa dele conduítes que levavam ao sistema nervoso do idioma: uma conexão instantânea com uma rede mundial de lexicógrafos amadores auxiliares e o acesso a um vasto conjunto de bancos de dados sobrepostos que cresce assintoticamente, aproximando-se cada vez mais do ideal de Todos os Textos Anteriores. O dicionário encontrou o ciberespaço, e nenhum dos dois seria o mesmo depois disso. Por mais que Simpson amasse as raízes e o legado do *OED*, ele estava liderando uma revolução, involuntariamente — naquilo que o dicionário era, naquilo que sabia, naquilo que enxergava. Enquanto Cawdrey se vira isolado, Simpson estava conectado.

O idioma inglês, falado agora por mais de 1 bilhão de pessoas em todo o mundo, entrou num período de fermentação, e a perspectiva disponível a partir dos veneráveis escritórios de Oxford é ao mesmo tempo abrangente e de intimidade. A linguagem que os lexicógrafos investigam com uma audição inquiridora se tornou selvagem e amorfa: uma grande nuvem rodopiante e em expansão formada por mensagens e discursos; jornais, revistas, panfletos; cardápios e documentos empresariais; grupos de interesse na internet e conversas em salas de bate-papo; transmissões de rádio e tv e registros fonográficos. Em comparação, o próprio dicionário adquiriu o status de monumento, definitivo e imponente. Ele exerce influência na linguagem que tenta observar. Encarna com relutância a autoridade do próprio papel que desempenha. Os lexicógrafos talvez se lembrem da sardônica definição apresentada há um século por Ambrose Bierce: "dicionário: malévolo dispositivo literário usado para conter o crescimento da linguagem, e também para torná-la rígida e inelástica".[18] Atualmente eles deixam claro que não têm a presunção (nem a intenção) de reprovar nenhum uso ou forma de grafia em especial. Mas não podem negar uma

forte ambição: a meta de um trabalho completo. Eles querem cada palavra, cada gíria: expressões idiomáticas e eufemismos, sagrados ou profanos, mortos ou vivos, tanto do inglês da rainha como do inglês das ruas. Trata-se apenas de um ideal: as limitações de tempo e espaço estão sempre presentes e, nas margens, a questão de quais termos podem ser considerados palavras pode se tornar impossível de responder. Ainda assim, na medida do possível, o *OED* se propõe a ser um registro perfeito, um espelho perfeito da linguagem.

O dicionário ratifica a persistência da palavra. Declara que o significado das palavras vem de outras palavras. Implica que todas as palavras, reunidas, formam uma estrutura interligada: interligada porque todas as palavras são definidas em termos de outras palavras. Isso nunca poderia ter acontecido numa cultura oral, na qual a linguagem mal podia ser vista. Foi somente quando a prensa de tipos móveis — e o dicionário — colocou a linguagem numa distinção separada, como um objeto passível de análise, que se tornou possível desenvolver a ideia do significado das palavras como algo interdependente e até circular. As palavras tiveram de ser consideradas como palavras, separadas das coisas. No século xx, quando as tecnologias da lógica avançaram para altos patamares, o potencial da circularidade se tornou um problema. “Ao dar explicações, já tenho de usar todos os recursos da linguagem”,[19] comparou Ludwig Wittgenstein. Ele ecoou a frustração que Newton vivenciou três séculos antes, mas com uma reviravolta adicional, pois Newton queria palavras para as leis da natureza, ao passo que Wittgenstein queria palavras para as palavras: “Quando falo a respeito da linguagem (palavras, frases etc.) preciso falar na linguagem cotidiana. Seria essa linguagem demasiadamente rude e material para aquilo que queremos dizer?”. Sim. E a linguagem estava sempre em movimento.

James Murray estava falando a respeito da linguagem e também do livro quando disse, em 1900: “O dicionário do inglês, assim como a Constituição inglesa, é a criação não de um determinado homem nem de uma determinada época; trata-se de um crescimento que se desenvolveu lentamente ao longo das eras”.[20] A primeira edição daquilo que se tornou o *OED* foi um dos maiores livros já criados até então: *Um novo dicionário inglês de princípios históricos*, 414825 palavras em dez pesados volumes, entregues ao rei George v e ao

presidente Calvin Coolidge em 1928. O trabalho levou décadas para ficar pronto — o próprio Murray morreu no processo —, e o dicionário foi visto como desatualizado ainda enquanto os volumes eram encadernados. Vários suplementos se seguiram, mas foi somente em 1989 que a segunda edição surgiu: vinte volumes, somando 22 mil páginas. A obra pesava 62 quilos. A terceira edição é diferente. Ela não tem peso, pois assumiu sua forma no reino digital. É possível que nunca mais volte a envolver papel e tinta. A partir de 2000, uma revisão de todo o conteúdo começou a aparecer na rede em publicações trimestrais, cada qual relacionando vários milhares de verbetes revisados e centenas de novas palavras.

Cawdrey tinha iniciado seu trabalho naturalmente pela letra *A*, assim como fizera James Murray em 1879, mas Simpson escolheu começar pelo *M*. Ele desconfiava das palavras com *A*. Para os entendidos no assunto, havia muito estava claro que a versão impressa do *OED* não era uma obra-prima irretocável. As primeiras letras ainda traziam as cicatrizes da imaturidade do início da empreitada de Murray. “Basicamente, ele chegou aqui, instalou-se e começou a preparar textos”, contou Simpson.

> Foi necessário muito tempo até que definissem sua política de trabalho e coisas do tipo, de modo que, se começássemos pelo A, estaríamos simplesmente dificultando nosso próprio trabalho. Acho que eles enfim entenderam o que estavam fazendo ao chegar ao… bem, eu estava prestes a dizer D, mas Murray sempre disse que o E era a pior letra, porque foi o assistente dele, Henry Bradley, quem começou a preparar o E, e Murray sempre disse que isso foi feito sem o devido cuidado. Portanto, pensamos que talvez fosse mais seguro começar pelo G, ou H. Mas, ao chegar ao G e ao H, logo vêm I, J, K, e acabamos pensando que seria melhor começar depois disso.

Os primeiros mil verbetes de *M* a *mahurat* foram publicados na rede na primavera de 2000. Um ano mais tarde, os lexicógrafos chegaram às palavras que começavam com *me*: *me-ism* (crença dos tempos modernos, semelhante a egoísmo), *meds* (termo coloquial para drogas), *medspeak* (jargão da medicina), *meet-and-greet* (tipo de ocasião social norte-americana), e todo um conjunto de termos combinados sob o verbete *media* (barão da mídia, circo midiático, queridinho da mídia, campanha de mídia, entendido na mídia) e sob *mega-*

(megapixel, megadose, megassucesso, megatendência). Não se tratava mais de um idioma falado por 5 milhões de habitantes de uma pequena ilha, em sua maioria analfabetos. Conforme o *OED* revisava os verbetes letra por letra, sua equipe começou a acrescentar neologismos onde quer que surgissem — esperar pela sequência alfabética tornou-se impraticável. Assim, uma atualização de 2001 trouxe consigo a chegada de *acid jazz*, *Bollywood*, *channel surfing* (ficar trocando de canal na tv), *double-click*, *emoticon*, *feel-good* (sentir-se bem), *gangsta*, *hiperlink*, e muitos, muitos mais. *Kool-Aid* (um tipo de refrigerante) foi reorganizado e transformado numa nova palavra, não porque o *OED* se sinta obrigado a relacionar marcas registradas (o refresco original em pó Kool-Ade fora patenteado nos Estados Unidos em 1927), e sim porque um uso especial de tal termo não podia mais ser ignorado: “beber o Kool-Aid: demonstrar obediência ou lealdade inquestionável”. O crescimento dessa expressão em particular a partir do uso de uma bebida em pó num caso de envenenamento em massa ocorrido na Guiana em 1978 indicava certa densidade da comunicação global.

Mas os lexicógrafos de Oxford não eram escravos da moda. Por regra, um neologismo precisa de cinco anos de provas sólidas para ser admitido no cânone. Cada palavra proposta é submetida a intenso escrutínio. A aprovação de uma nova palavra é uma questão solene. É preciso que esteja em uso corrente, e dissociada de um determinado local de origem. O *OED* é global, reconhece palavras de todos os lugares onde o inglês é falado, mas não tem a intenção de capturar hábitos locais. Uma vez acrescentada, a palavra não pode ser removida. Uma palavra pode se tornar obsoleta ou rara, mas as mais antigas e esquecidas entre as palavras têm o hábito de ressurgir — redescobertas ou espontaneamente reinventadas —, e, além disso, fazem parte da história do idioma. Todas as 2500 palavras de Cawdrey estão, necessariamente, no *OED*. No caso de 31 delas, o livro de Cawdrey foi o primeiro uso conhecido. Em relação a algumas, Cawdrey está sozinho. Isso representa um problema. O compromisso do *OED* é irrevogável. Cawdrey relaciona, por exemplo, “onust: sobrecarregado por um fardo, exigido além da conta”; assim, o *OED* o associa às palavras “sobrecarregar, fardo, exigir”, mas trata-se de uma anomalia, um caso único. Teria Cawdrey inventado a palavra? “Tendo a crer na opinião segundo a qual ele

estava tentando reproduzir um vocabulário visto ou ouvido", disse Simpson. "Mas é impossível saber ao certo." Cawdrey relaciona "alucinar: enganar ou cegar"; o *OED* seguiu isso à risca e ofereceu "enganar" como primeiro significado da palavra, apesar de nunca ter encontrado alguém que empregasse a palavra dessa maneira. Em casos como esses, os editores podem acrescentar seu duplo alerta "*Obs. raro*". Mas a palavra está lá.

Para o *OED* do século xxi, uma única fonte nunca pode ser suficiente. Estranhamente, levando-se em consideração o amplo alcance da empreitada e seu público, homens e mulheres anseiam, de forma individual, por ver suas próprias palavras inventadas ratificadas pelo *OED*. O termo *palavra inventada* (*nonce-word*) foi na verdade criado pelo próprio James Murray. Ele conseguiu que fosse incluído no dicionário. Uma psicóloga americana, Sondra Smalley, cunhou a palavra *codependência* em 1979 e começou a defendê-la nos anos 1980; os editores finalmente prepararam o rascunho de um verbete nos anos 1990, quando consideraram que a palavra já tinha se consolidado. W. H. Auden declarou que desejava ser reconhecido pelo *OED* como um criador de termos — coisa que ele conseguiu, finalmente, com *motted*, *metalogue*, *spitzy* e outros.[21] O dicionário viu-se então envolvido num ciclo contínuo de retroalimentação. Ele inspirou nos usuários e criadores do idioma uma distorcida autoconsciência. Anthony Burgess queixou-se por escrito de sua incapacidade de ter o próprio trabalho aceito: "Há alguns anos inventei a palavra *amation*, para a arte ou o ato de fazer amor, e ainda considero o termo útil. Mas preciso convencer outros a usá-lo *por escrito* antes que este se torne passível de lexicografização (se é que existe tal palavra)"[22] — ele sabia que não existia. "A ampla autoridade de T. S. Eliot conseguiu que o vergonhoso (a meu ver) termo *juvescence* fosse incluído no volume anterior do Suplemento." Burgess tinha certeza de que Eliot teria simplesmente escrito *juvenescence* (juvenescer) de maneira errada. Se for verdade, o erro de grafia foi copiado ou repetido 28 anos mais tarde por Stephen Spender, de modo que *juvescence* consta em duas citações, e não apenas uma. O *OED* reconhece que a palavra é rara.

Por mais que o *OED* tente encarnar a fluidez do idioma, ele acaba sempre agindo como um agente de sua cristalização. O problema da grafia traz

dificuldades características. “*Todas* as formas nas quais uma palavra já tenha surgido ao longo da sua história”[23] devem ser incluídas. Assim, no verbete *mackerel* (carapau, “conhecido peixe marítimo, *Scomber scombrus*, muito usado na alimentação”), a segunda edição relacionou em 1989 dezenove formas alternativas de escrever tal nome. Mas a descoberta de novas fontes nunca termina, e a terceira edição, de 2002, relacionava nada menos do que trinta formas diferentes de grafar a mesma palavra: *macarrel*, *mackaral*, *mackarel*, *mackarell*, *mackerell*, *mackeril*, *mackreel*, *mackrel*, *mackrell*, *mackril*, *macquerel*, *macquerell*, *macrel*, *macrell*, *macrelle*, *macril*, *macrill*, *makarell*, *makcaral*, *makerel*, *makerell*, *makerelle*, *makral*, *makrall*, *makreill*, *makrel*, *makrell*, *makyrelle*, *maquerel* e *maycril*. Por serem lexicógrafos, os editores jamais declarariam que tais alternativas eram equívocos, erros de digitação. Eles hesitam em declarar sua opção de grafia para a palavra principal, *mackerel*, como sendo a “correta”. Enfatizam que examinam as provas e escolhem “a forma mais comum de grafia atualmente”. Ainda assim, considerações arbitrárias entram em jogo: “O estilo próprio de Oxford tem precedência ocasional, como no caso dos verbos que podem terminar em *-ize* ou *-ise*, nos quais a forma *-ize* é sempre preferida”. Eles sabem que, independentemente da firmeza e da frequência com que negam possuir uma autoridade prescritiva, o leitor vai recorrer ao dicionário para descobrir como uma palavra deve ser grafada. Eles sabem que é impossível escapar das inconsistências. Sentem-se obrigados a incluir palavras que fazem os puristas torcer o nariz. Um novo verbete acrescentado em dezembro de 2003 imortalizou *nucular*: “= nuclear *a.* (em vários sentidos)”. Ainda assim, eles se recusam a incluir determinadas variantes, mesmo que facilmente comprovadas por meio de buscas na internet. Eles não reconhecem *straight-laced*, por mais que evidências estatísticas mostrem que essa forma bastarda apareça com mais frequência que *strait-laced* (rigoroso, adequado). Para a cristalização da grafia, o *OED* oferece uma explicação convencional: “Desde a invenção da prensa de tipos móveis, a grafia se tornou muito menos variada, em parte porque os editores queriam a uniformidade e em parte por causa de um crescente interesse no estudo do idioma durante a Renascença”. Isso é verdadeiro. Mas omite o papel desempenhado pelo próprio dicionário, como exemplo e como árbitro.

Para Cawdrey, o dicionário era uma fotografia instantânea — ele não podia enxergar para além de sua própria época. Samuel Johnson era mais explicitamente consciente da dimensão histórica do dicionário. Ele justificou seu ambicioso programa em parte como uma maneira de domar e controlar algo selvagem — o idioma,

> o qual, apesar de ter sido empregado no cultivo de cada espécie da literatura, foi em si negligenciado até o momento; sofreu para espalhar-se, sob os ditames do acaso, até atingir uma selvagem exuberância; resignado à tirania do tempo e da moda; e exposto às corrupções da ignorância e aos caprichos da inovação.24

Mas foi somente com o *OED* que a lexicografia tentou revelar todos os formatos de um idioma no decorrer do tempo. O *OED* se tornou um panorama histórico. E o projeto ganha qualidades comoventes quando a era eletrônica é vista como uma nova era da oralidade, permitindo à palavra que se liberte das limitações da fria forma impressa. Nenhuma outra instituição impressa incorpora tão bem essas limitações, mas até o *OED* tenta se libertar delas. Os editores sentem que não podem mais esperar até que uma palavra apareça sob a forma impressa, que dirá num livro respeitavelmente encadernado, para então tomarem nota dela. Para *tighty-whities* (roupa de baixo masculina), termo novo em 2007, eles citam um registro manuscrito da gíria universitária da Carolina do Norte. Para *kitesurfer* (praticante do surfe no qual a prancha é presa a uma pipa), eles citam um texto postado na comunidade alt.kite da Usenet e posteriormente um jornal da Nova Zelândia encontrado por meio de um banco de dados on-line. Bits espalhados pelo ar.

Quando Murray começou a trabalhar no novo dicionário, a ideia era encontrar as palavras e, com elas, as placas que sinalizavam sua trajetória histórica. Ninguém tinha ideia de quantas palavras havia para ser encontradas. Na época, o melhor e mais completo dicionário do inglês era americano: o de Noah Webster, contendo 70 mil palavras. Era uma referência. Onde poderiam ser

descobertas as demais? Para os primeiros editores daquilo que se tornou o *OED*, nem era preciso dizer que a fonte, a nascente do idioma, deveria ser sua literatura — principalmente os livros de distinção e qualidade. Os primeiros leitores do dicionário analisaram atentamente Milton e Shakespeare (até hoje o autor mais citado, constando em mais de 30 mil referências), Fielding e Swift, histórias e sermões, filósofos e poetas. Murray anunciou num famoso apelo público feito em 1879:

> Precisamos de mil leitores. A literatura de fins do século xvi já foi bastante analisada; ainda assim, restam muitos livros a ser lidos. O século xvii, com um número tão maior de autores, nos apresenta naturalmente mais territórios inexplorados.

Ele pensava em tal território como algo vasto, porém circunscrito. Os fundadores do dicionário tinham o objetivo explícito de encontrar cada palavra, independentemente de quantas elas seriam ao final. Eles planejaram um inventário completo. Por que não? O número de livros publicados era desconhecido, mas não ilimitado, e o número de palavras nesses livros era contável. A tarefa parecia colossal, mas finita.

Hoje não parece mais ser finita. Os lexicógrafos estão aceitando a natureza ilimitada do idioma. Eles sabem de cor o famoso comentário de Murray: “O círculo da língua inglesa tem um centro bem definido, mas não uma circunferência discernível”. No centro estão as palavras que todos conhecem. Nas extremidades, onde Murray situou a gíria, os termos técnicos, o jargão científico e os termos trazidos das viagens ao exterior, a perspectiva de cada um em relação ao idioma é diferente, e nenhuma pode ser chamada de “padrão”.

Murray descreveu o centro como “bem definido”, mas nele podemos ver o infinito e a imprecisão. As palavras mais fáceis e comuns — as palavras que Cawdrey não tinha pensado em incluir — exigem, no *OED*, os verbetes mais extensos. O verbete de *make* (fazer) é suficiente para preencher um livro: ele propõe uma provocativa distinção entre 98 sentidos distintos para esse verbo, e alguns têm uma dúzia ou mais de subsentidos. Samuel Johnson enxergou o problema dessas palavras e impôs-se uma solução: desistiu de defini-las.

> Meu trabalho foi também muito aumentado por uma classe de verbos usados com demasiada frequência na língua inglesa, cujo significado é tão flutuante e genérico, cujo uso é tão vago e indeterminado, cujo sentido foi tão distorcido em relação à ideia original, que é difícil rastrear sua trajetória em meio a um labirinto de variações, apanhá-los no limiar do mais completo vazio, circunscrevê-los por limitações de qualquer tipo, ou interpretá-los de acordo com palavras de significado distinto e já estabelecido; tais verbos são *bear*, *break*, *come*, *cast*, *full*, *get*, *give*, *do*, *put*, *set*, *go*, *run*, *make*, *take*, *turn*, *throw*. Se desses verbos não for apresentado todo seu poder, deve-se lembrar que, por estar nosso idioma ainda vivo, e variar de acordo com os caprichos de cada um que se comunica por meio dele, essas palavras alteram suas relações de hora em hora, e podem ser definidas por um dicionário tanto quanto se pode discernir os limites de um bosque de seu reflexo na água em meio à agitação de uma tempestade.

Johnson tinha razão. Essas são palavras que todo falante do inglês sabe empregar nas mais variadas situações, a todo momento, sozinhas ou combinadas, de maneira criativa ou não, na esperança de ser entendido. A cada revisão, o verbete do *OED* para uma palavra como *make* se subdivide ainda mais, tornando-se maior e maior. A tarefa não tem limites na direção voltada para o centro.

O tipo mais óbvio de infinito aparece nas extremidades. Os neologismos nunca se esgotam. Palavras são criadas em comitês: como *transistor*, nos Laboratórios Bell, 1948. Ou por pessoas inspiradas: como *booboisie*, por H. L. Mencken, 1922. A maioria surge por meio da geração espontânea, organismos que aparecem numa placa de Petri, como *blog* (*c*. 1999). Um conjunto de novidades inclui *agroterrorism*, *bada-bing*, *bahookie* (uma parte do corpo), *beer pong* (um jogo envolvendo o consumo de álcool), *bippy* (usada em expressões como “pode apostar seu _____”), *chucklesome*, *cypherpunk*, *tuneage* e *wonky*. Nenhuma delas consiste naquilo que Cawdrey teria chamado de “palavras difíceis e comuns”, e nenhuma está remotamente próxima do bem definido centro de Murray, mas agora pertencem ao idioma comum. Até mesmo *bada-bing*: “Sugerindo algo que ocorre subitamente, enfaticamente, ou de maneira fácil e previsível; ‘Foi bem assim!’, ‘Presto!’”. As citações históricas começam com a gravação de uma apresentação de comédia de Pat Cooper em 1965 e continuam com recortes de jornais, a transcrição de uma reportagem de telejornalismo e um diálogo do primeiro filme da série *O poderoso chefão*:

“Você tem que chegar bem perto, assim, e bada-bing! estourar os miolos deles, sujando todo o seu belo terno”. Os lexicógrafos também oferecem uma etimologia, uma amostra única de intuição e adivinhação: “Origem desconhecida. Tvz. Imitação de um ritmo tocado na caixa e nos pratos da bateria. Tvz. cf. italiano *bada bene* lembre-se bem”.

A língua inglesa não conta mais com algo semelhante a um centro geográfico, se é que um dia teve algo do tipo. O universo do discurso humano sempre apresenta regiões inexploradas. O idioma falado num vale é diferente daquele falado no vale seguinte, e assim por diante. Hoje, o número de vales é maior do que jamais foi, por mais que os vales não sejam tão isolados uns dos outros. “Estamos dando ouvidos ao idioma”, disse Peter Gilliver, lexicógrafo do *OED* e historiador residente.

> Quando damos ouvidos ao idioma reunindo pedaços de papel, não há problemas, mas agora é como se pudéssemos ouvir tudo aquilo que é dito em toda parte. Pensemos numa comunidade expatriada vivendo numa parte do mundo que não fala inglês, expatriados que morem em Buenos Aires ou algo do tipo. O inglês deles, o inglês que falam uns com os outros todos os dias, é cheio de expressões emprestadas do espanhol local. Assim, essas palavras seriam consideradas por eles parte de seu idioma-dialeto, seu vocabulário pessoal.

Só que agora eles podem também falar em salas de bate-papo e em blogs. Quando criam uma palavra, qualquer um pode ouvir. Então ela pode ou não se tornar parte do idioma.

Se existe um limite à sensibilidade dos ouvidos dos lexicógrafos, ninguém o encontrou ainda. Criações espontâneas podem ter públicos de uma só pessoa. Podem ser tão efêmeras como partículas atômicas numa câmara de bolhas. Mas muitos neologismos exigem um nível de conhecimento cultural compartilhado. Talvez *bada-bing* não tivesse de fato se tornado parte do inglês do século xxi se não fosse pela vivência comum dos espectadores de determinado programa televisivo americano (apesar de este não ser citado pelo *OED*).

O acervo completo das palavras — a lexis — constitui um conjunto de símbolos do idioma. Trata-se, num certo sentido, do conjunto fundamental de símbolos: as palavras são a primeira unidade de sentido que determinado idioma reconhece. São universalmente reconhecidas. Mas, num outro sentido, estão longe de ser fundamentais. À medida que a comunicação evolui, as mensagens num idioma podem ser subdivididas e compostas e transmitidas em conjuntos muito menores de símbolos: o alfabeto; pontos e traços; batuques mais altos e mais baixos. Esses conjuntos de símbolos são distintos. A lexis não é. Trata-se de algo mais bagunçado. Algo que não para de crescer. A lexicografia revela-se uma ciência mal equipada para uma medição exata. Podemos dizer numa aproximação grosseira que o inglês, o mais falado e disseminado dos idiomas, possui um número de unidades de significado que se aproxima de 1 milhão. Os linguistas não têm ferramentas próprias de medição. Quando tentam quantificar o ritmo dos neologismos, tendem a olhar para o dicionário em busca de orientação, e até mesmo o melhor dos dicionários foge dessa responsabilidade. As fronteiras são sempre turvas. Um limite claro não pode ser traçado entre palavra e não palavra.

Assim, contamos como podemos. O pequeno livro de Robert Cawdrey, sem nenhuma pretensão de ser completo, continha um vocabulário de apenas 2500 palavras. Temos agora um dicionário do inglês mais completo do que aquele dos idos de 1600: o subconjunto do *OED* relacionando as palavras que eram atuais naquela época.[25] Esse vocabulário corresponde a 60 mil palavras e continua a crescer, pois a descoberta de fontes do século xvi nunca termina. Mesmo assim, trata-se de uma pequena fração das palavras usadas quatro séculos mais tarde. A explicação para esse crescimento explosivo, de 60 mil para 1 milhão, não é simples. Boa parte daquilo que precisa hoje ser nomeado não existia naquela época, é claro. E boa parte daquilo que existia não era reconhecida. Não havia necessidade de palavras como *transistor* em 1600, nem *nanobacterium*, nem *webcam*, nem *fen-phen*. Parte do crescimento decorre da mitose. A guitarra se divide em elétrica e acústica (violão); outras palavras são divididas para refletir delicadas nuances (em março de 2007, o *OED* designou um novo verbete para *prevert* como forma de *pervert*, assumindo o ponto de vista de que *prevert* não seria apenas um erro, mas um efeito deliberadamente humorístico). Outras

palavra novas aparecem sem nenhuma inovação correspondente no mundo das coisas reais. Elas se cristalizam no solvente da informação universal.

O que poderíamos dizer que corresponde à palavra *mondegreen*? Trata-se de um verso mal compreendido, como ocorre, por exemplo, quando o hino cristão "Lead on, O King Eternal" é ouvido como "Lead on, O kinky turle…". Ao analisar as evidências, o *OED* cita primeiro um ensaio publicado em 1954 na *Harper's Magazine* por Sylvia Wright: "Aquilo que passarei agora a chamar de *mondegreens*, já que ninguém mais pensou numa palavra para designar este fenômeno".[26] Ela explicou a ideia e a palavra da seguinte maneira:

> Quando eu era criança, minha mãe costumava ler para mim em voz alta os versos das Relíquias de Percy, e um dos meus poemas favoritos começava assim, pelo que me lembro:
>
> *Ye Highlands and ye Lowlands*
>
> *Oh, where hae ye been?*
>
> *They hae slain the Earl Amurray,*
>
> *And Lady Mondegreen.a*

Lá permaneceu a palavra, durante algum tempo. Um quarto de século mais tarde, William Safire comentou a palavra numa coluna a respeito do idioma publicada na *The New York Times Magazine*. Quinze anos depois, Steven Pinker, em seu livro *O instinto da linguagem*, ofereceu alguns exemplos, que iam de "A girl with colitis goes by" (Uma menina com colite passa caminhando) até "Gladly the cross-eyes bear"[b] (Felizmente o urso vesgo), e observou: "O aspecto interessante dos mondegreens é que aquilo que ouvimos por engano costuma ser *menos* plausível do que o verso original".[27] Mas não foram os livros nem as revistas que deram à palavra sua vida; foram os sites da internet, compilando os *mondegreens* aos milhares. O *OED* reconheceu a palavra em junho de 2004.

Um *mondegreen* não é um transistor, inerentemente moderno. Sua modernidade é mais difícil de explicar. Os ingredientes — canções, palavras e compreensão imperfeita — são todos mais antigos do que a própria civilização. Ainda assim, para que os *mondegreens* surgissem na cultura, e para que *mondegreen* existisse na lexis, algo novo era necessário: um nível moderno de

autoconsciência linguística e interconectividade. As pessoas tinham de ouvir errado os versos não apenas uma vez, não apenas várias vezes, mas com frequência bastante para se tornar conscientes da interpretação equivocada como algo merecedor de debate. Era preciso que houvesse outras pessoas parecidas com elas com as quais partilhar seu reconhecimento. Até os mais recentes anos do período moderno, os *mondegreens*, bem como tantos outros fenômenos culturais e psicológicos, simplesmente não precisavam ser nomeados. As próprias canções não eram tão difundidas — no mínimo, não eram ouvidas nos elevadores e celulares. A palavra *letra*, para nomear os versos de uma canção, não existia até o século xix. As condições para os *mondegreens* levaram muito tempo para amadurecer. Da mesma maneira, o verbo *to gaslight* significa hoje "manipular uma pessoa por meios psicológicos levando-a a questionar a própria sanidade"; ele só existe porque um número suficiente de pessoas assistiu ao filme *À meia-luz*, e supôs que seus interlocutores também o tivessem visto. Será que o idioma falado por Cawdrey — que era, afinal, a abundante e fértil língua de Shakespeare — teria encontrado uma utilidade para tal palavra? Não importa: a tecnologia da iluminação a gás (*gaslight*) não tinha sido inventada. Nem a tecnologia que possibilitou a existência dos filmes.

A lexis é uma medida da vivência partilhada, que deriva da interconectividade. O número de usuários do idioma forma apenas a primeira parte da equação: saltando de 5 milhões de falantes do inglês para 1 bilhão no intervalo de quatro séculos. O fator de impulsão é o número de conexões *entre* estes falantes e *em meio* a eles. Um matemático poderia dizer que a transmissão de mensagens não aumenta geometricamente, e sim de maneira combinatorial, o que é muito, muito mais rápido. "Penso nisso como uma frigideira sob a qual o fogo se tornou mais intenso", disse Gilliver. "Por causa da interconectividade do mundo anglófono, qualquer palavra pode surgir da vastidão inexplorada. E estas ainda são regiões inexploradas, mas contam com uma conexão instantânea com o discurso cotidiano." Como a prensa de tipos móveis, o telégrafo e o telefone, que a antecederam, a internet está transformando a linguagem simplesmente ao transmitir a informação de outra maneira. Aquilo que torna o ciberespaço diferente de todas as tecnologias anteriores da informação é sua mistura de escalas, da maior até a menor, sem prejuízo, transmitindo para milhões,

comunicando-se especificamente com grupos, enviando mensagens instantâneas de um indivíduo para o outro.

Isso se mostra uma consequência inesperada da invenção das máquinas de computar, uma invenção que a princípio parecia relacionada aos números.

---

a “Ó Planaltos e Baixios,/ Oh, por onde andaram?/ Eles mataram o Earl de Amurray,/ E Lady Mondegreen.” O último verso, na verdade, era: “And layd him on the green” [E deitá-lo sobre a relva]. (N. E.)

b No primeiro caso, referência ao verso “The girl with kaleidoscope eyes”, da canção “Lucy in the sky with diamonds”, dos Beatles. No segundo, referência ao verso “Gladly the cross I’d bear”, de um hino cristão. (N. E.)

# 4. Projetar o poder do pensamento numa engrenagem[1]

## (*Contemplem o aritmético em êxtase*)

> *Uma luz quase tão intensa quanto a solar foi produzida a partir dos restos de peixes; o fogo foi colhido pela lanterna de Davy; e as máquinas aprenderam aritmética em lugar de poesia.*
>
> Charles Babbage, 18322

Ninguém duvidava que Charles Babbage era brilhante. Da mesma forma, ninguém entendia de fato a natureza de sua genialidade, que permaneceu incompreendida por muito tempo. O que ele esperava realizar? Aliás, qual era sua vocação, afinal? Na ocasião de sua morte, em Londres, 1871, o obituarista do *Times* declarou que ele fora "um dos mais ativos e originais entre os pensadores originais",[3] mas pareceu achar que Babbage era mais conhecido por sua longa e mal-humorada cruzada contra os músicos de rua e artistas mambembes. Talvez ele não tivesse se importado com isso. O homem era versátil e se orgulhava disso. "Ele demonstrou um grande desejo de indagar a respeito das coisas que impressionam as consciências infantis",[4] disse o autor americano de uma elegia. "Eviscerava brinquedos para descobrir como funcionavam." Babbage não parecia ser exatamente um homem de sua própria época, que chamou a si mesma de Era do Vapor ou Era das Máquinas. Ele se deleitava com os empregos do vapor e do maquinário, e considerava a si mesmo um homem absolutamente moderno, mas também se dedicava a uma série de hobbies e obsessões — decifrar códigos, abrir trancas, faróis, o estudo dos anéis internos das árvores, o correio — cuja lógica se tornou mais clara um século depois. Ao examinar o funcionamento econômico do correio, ele investigou uma hipótese que contrariava a intuição: a de que o custo significativo não estava na tarefa de transportar fisicamente os pacotes de papel, e sim em sua "verificação" — o cálculo das distâncias e a cobrança de taxas correspondentes —, o que o levou a inventar a ideia moderna das taxas postais padronizadas. Babbage adorava passear de barco, coisa que para ele significava não "o trabalho manual

de remar, e sim a arte mais intelectual de velejar”.[5] Ele era um aficionado por trens. Projetou um dispositivo de registro ferroviário que usava pontas de tinta para traçar curvas em folhas de papel de trezentos metros de comprimento: uma mistura de sismógrafo e medidor de velocidade, inscrevendo o histórico da velocidade de um trem com todos os buracos e turbulências ao longo do percurso.

Quando jovem, ao parar numa estalagem no norte da Inglaterra, Babbage se divertiu ao saber que seus colegas de viagem estavam debatendo qual seria sua ocupação:

> “O senhor de alta estatura no canto”, disse meu informante, “supôs que você atuaria no ramo das ferramentas; ao passo que o senhor gordo que se sentou a seu lado no jantar se mostrou bastante seguro de que atuaria no ramo das bebidas. Outro membro do grupo declarou que ambos estavam enganados: disse que você estaria viajando a serviço de um grande proprietário de forjas metálicas.”
>
> “Bem”, disse eu, “imagino que você saiba mais a respeito da minha profissão do que seus amigos.”
>
> “Sim”, disse meu informante, “eu sabia perfeitamente que você atua na manufatura das rendas de Nottingham.”6

Babbage podia ser descrito como matemático profissional, mas estava visitando os ateliês e as manufaturas do país, tentando descobrir o que havia de mais avançado em termos de máquinas e ferramentas. Ele destacou:

> Aqueles que gostam de passatempos têm dificuldade em encontrar um tema mais interessante e instrutivo do que o exame dos ateliês de seu próprio país, que contêm dentro de si uma rica mina de conhecimento, frequentemente negligenciada pelas classes mais abastadas.7

Ele próprio não negligenciava nenhum filão de conhecimento. Tornou-se um especialista na manufatura das rendas de Nottingham; e também no uso da pólvora na extração do calcário; nos cortes precisos do vidro feitos com diamante; e em todos os usos do maquinário para produzir energia, poupar tempo e comunicar sinais. Analisou as prensas hidráulicas, as bombas de ar, os medidores de gás e os torneadores de parafusos. Ao concluir sua viagem, ele

sabia mais do que qualquer outra pessoa na Inglaterra a respeito da produção de alfinetes. Seu conhecimento era prático e metódico. Ele estimou que, para a produção de meio quilo de alfinetes, era necessário o trabalho de dez homens e mulheres por no mínimo sete horas e meia, puxando o arame, alisando-o, tornando-o pontudo, retorcendo e cortando as cabeças a partir das espirais de matéria-prima, folheando-os com zinco ou tinta branca, e por fim embalando-os. Ele calculou o custo de cada fase em termos de milionésimos de centavo de libra.[8] E destacou que esse processo, quando finalmente aperfeiçoado, havia chegado a seus últimos dias: um americano tinha inventado uma máquina automática capaz de realizar a mesma tarefa em menos tempo.

Babbage inventou sua própria máquina, um grande e reluzente motor de latão e estanho, composto de milhares de chaves e rotores, rodas dentadas e engrenagens, todos torneados com o máximo de precisão. Ele passou sua longa vida tentando aprimorá-la, primeiro numa versão e depois na outra, mas todas elas, em sua maior parte, dentro de sua própria cabeça. A ideia nunca tomou forma em nenhuma outra esfera. Ela ocupa assim um lugar extremo e peculiar nos anais da invenção: um fracasso, e também um dos maiores feitos intelectuais da humanidade. O fracasso se deu numa escala colossal, como projeto científico-industrial "às custas do país, pois se tornaria propriedade nacional",[9] financiado pelo Tesouro por quase vinte anos, começando em 1823 com uma concessão de 1500 libras feita pelo Parlamento e chegando ao fim em 1842, quando foi abortado pelo primeiro-ministro. Posteriormente, o motor de Babbage foi esquecido. Desapareceu da linhagem da invenção. Porém, mais tarde, ele foi redescoberto, e tornou-se retrospectivamente influente, reluzindo como um farol vindo do passado.

Como os teares, as forjas, as fábricas de pregos e as vidraçarias que ele estudou em suas viagens pelo norte da Inglaterra, a máquina de Babbage foi projetada para produzir vastas quantidades de uma determinada commodity. Essa commodity consistia em números. O motor abriu um canal do mundo corpóreo da matéria para um mundo de pura abstração. O motor não consumia nenhuma matéria-prima — não havendo peso nem naquilo que entrava nem naquilo que era produzido —, mas precisava de uma força considerável para ativar suas

engrenagens. O conjunto completo desses mecanismos seria suficiente para preencher uma sala, pesando várias toneladas. A produção de números, conforme concebida por Babbage, exigia um grau de complexidade mecânica que estava no limite da tecnologia disponível. Comparados aos números, os alfinetes eram fáceis.

Não era natural pensar nos números como uma commodity industrial. Eles existiam na consciência, ou numa abstração ideal, em seu perfeito infinito. Máquina nenhuma poderia acrescentar algo a seu suprimento mundial. Os números produzidos pelo motor de Babbage deveriam ser aqueles dotados de algum significado: números que tivessem um sentido. Por exemplo, 2,096910013 tem um significado, como logaritmo de 125. (Determinar se *todos* os números teriam algum significado seria um enigma para o século seguinte.) O significado de um número poderia ser expresso em termos de sua relação com outros números, ou como a resposta a uma certa questão de aritmética. O próprio Babbage não falava a respeito de significado — ele tentava explicar seu motor de maneira prática, em termos de inserir números na máquina e ver sair dela números diferentes, ou, numa linguagem mais elegante, em fazer uma pergunta à máquina e esperar uma resposta. Fosse como fosse, ele enfrentou dificuldades para se fazer entender. Babbage se queixou:

> Em duas ocasiões foi-me perguntado: “Diga-nos, sr. Babbage, se inserirmos na máquina os números errados, será que as respostas certas serão produzidas?”. Primeiro a pergunta foi feita por um membro da Câmara Alta, e depois por um membro da Câmara Baixa. Não sou plenamente capaz de entender o tipo de confusão de ideias que poderia levar a uma pergunta desse tipo.10

Seja como for, a máquina não fora criada para ser um tipo de oráculo, a ser consultado por indivíduos que viessem de longe em busca de respostas matemáticas. A principal missão do motor era imprimir números em quantidades maciças. Para aqueles que precisavam de portabilidade, os fatos da aritmética podiam ser expressos em tabelas e encadernados em livros.

Para Babbage o mundo parecia ser feito de fatos desse tipo. Eles eram as “constantes da Natureza e da Arte”. Ele as reunia sempre que podia. Compilou

uma Tabela de Constantes da Classe Mammalia: onde quer que estivesse, ele cronometrava a respiração e o ritmo cardíaco de porcos e vacas.[11] Inventou uma metodologia estatística com tabelas de expectativa de vida para o algo suspeito ramo dos seguros de vida. Ele preparou uma tabela do peso em grãos troianos por jarda quadrada de vários tecidos: cambraia, calicô, nanquim, musselina, gaze de seda, e "véus de lagarta". Outra tabela revelava a frequência relativa de todas as combinações de duas letras iguais consecutivas em inglês, francês, italiano, alemão e latim. Ele pesquisou, computou e publicou uma Tabela da Frequência Relativa das Causas da Quebra de Janelas de Vidro, distinguindo 464 causas diferentes, das quais nada menos do que catorze envolviam "meninos, mulheres ou homens bêbados". Mas as tabelas que ele guardava mais perto do coração eram as mais puras: tabelas de números, apenas números, marchando organizadamente pelas páginas em claras linhas e colunas, formando padrões para a contemplação abstrata.

Um livro de números: em meio a todas as espécies de tecnologia da informação, como esse objeto é peculiar e poderoso. "Contemplem o aritmético em êxtase!",[12] escreveu Élie de Joncourt em 1762. "Fácil de satisfazer, ele não pede rendas de Bruxelas nem carruagens a cavalo." A contribuição do próprio Joncourt fora um pequeno volume de aproximadamente trinta centímetros registrando os primeiros 19999 números triangulares. Tratava-se de um verdadeiro baú do tesouro em termos de exatidão, perfeição e cálculo aproximado. Esses números eram bastante simples, apenas a soma dos primeiros números inteiros do conjunto *n*: 1, 3 (1 + 2), 6 (1 + 2 + 3), 10 (1 + 2 + 3 + 4), 15, 21, 28, e assim por diante. Desde Pitágoras, eles atraíram o interesse dos teóricos dos números. Não ofereciam muita utilidade, mas Joncourt comentou o prazer que sentiu ao compilá-los, e Babbage o citou com sincera compaixão: "Os números têm muitos charmes, ocultos aos olhares vulgares, e descobertos somente para os bem-dispostos e respeitosos filhos da Arte. Uma doce alegria pode emanar de contemplações deste tipo".

As tabelas de números eram parte do ramo dos livros mesmo antes do início

da era do prelo. Trabalhando em Bagdá no século ix, Abu Abdullah Mohammad Ibn Musa al-Khwarizmi, cujo nome sobrevive na palavra *algoritmo*, criou tabelas de funções trigonométricas que avançaram para o oeste pela Europa e para o leste até a China, feitas à mão e copiadas à mão, por centenas de anos. A prensa de tipos móveis fez com que as tabelas de números amadurecessem: elas consistiram na primeira aplicação natural para a produção maciça de dados brutos. Para aqueles que precisavam de aritmética, as tabelas de multiplicação cobriam um território cada vez mais amplo: 10 × 1000, então 10 × 10000 e, posteriormente, até 1000 × 1000. Havia tabelas de números quadrados e cúbicos, raízes e inversos multiplicativos. Uma das primeiras formas de tabela foram as efemérides, ou almanaque, listando as posições do Sol, da Lua e dos planetas para os observadores do céu. Os comerciantes também encontraram usos para os livros de números. Em 1582, Simon Stevin produziu *Tafelen van Interest*, um compêndio de tabelas de juros para banqueiros e agiotas. Ele promoveu a nova aritmética decimal "para os astrólogos, medidores de terrenos, medidores de tapeçarias e barris de vinho e estereometristas, em geral, para os mestres da Casa da Moeda e mercadores de todo tipo".[13] E podia ter acrescentado os navegadores a essa lista. Quando Cristóvão Colombo partiu rumo às Índias, trouxe como auxílio à navegação um livro de tabelas de Regiomontanus impresso em Nuremberg duas décadas depois da invenção do tipo móvel na Europa.

O livro de números triangulares de Joncourt era mais puro do que tudo isso — o que também equivale a dizer que era inútil. Qualquer número triangular arbitrário pode ser encontrado (ou criado) por um algoritmo: multiplique *n* por *n* + 1 e divida por 2. Assim, como conjunto de informações a ser armazenado e transmitido, todo o compêndio de Joncourt desaba de uma vez, sublimado numa fórmula de uma única linha. A fórmula contém toda a informação. Com ela, toda pessoa capaz de realizar simples operações de multiplicação (poucos indivíduos, na época) conseguiria gerar qualquer número triangular desejado. Joncourt sabia disso. Ainda assim, ele e seu editor, M. Husson, de Haia, consideraram que valia a pena recriar as tabelas em tipos metálicos, dispondo três pares de colunas por página, cada par listando trinta números naturais junto com seus números triangulares correspondentes, de 1 (1) até 19 999 (199 990 000), cada numeral escolhido individualmente pelo diagramador a partir de suas caixas de tipos

metálicos e disposto numa estrutura rígida, preso a um chassi de ferro para ser instalado na prensa.

Por quê? Além da obsessão e do entusiasmo, os criadores das tabelas numéricas tinham certa noção de seu valor econômico. Conscientemente ou não, eles determinavam o preço dessas informações especiais com base na avaliação de sua dificuldade de computação, comparada à tarefa de pesquisá-las num livro. Computação prévia somada ao armazenamento de dados somado à transmissão dos dados costumava ser mais barato do que a computação caso a caso. “Computadores” e “calculadoras” existiam: tratava-se de pessoas dotadas de habilidades especiais e, considerados todos os seus aspectos, computar era caro.

A partir de 1767, o Conselho Britânico da Longitude ordenou que fossem publicadas edições anuais de um *Almanaque Náutico*, com tabelas de posicionamento para o Sol, a Lua, as estrelas, os planetas, e as luas de Júpiter. No decorrer do meio século seguinte, uma rede de computadores se ocupou do trabalho — 34 homens e uma mulher, Mary Edwards, de Ludlow, Shropshire, cada um trabalhando em seu próprio lar.[14] O árduo esforço deles era recompensado com setenta libras por ano. A computação era uma indústria de fundo de quintal. Era preciso certo nível de raciocínio matemático, mas nenhuma genialidade especial; as regras eram expostas passo a passo para cada tipo de cálculo. Fosse como fosse, por serem humanos, esses computadores cometiam erros, de modo que o mesmo trabalho com frequência era feito duas vezes em nome da redundância. (Infelizmente, por serem humanos, esses computadores eram às vezes flagrados se poupando de certos trabalhos ao copiar uns dos outros.) Para administrar o fluxo de informações, o projeto empregava um Comparador das Efemérides e Corretor das Provas. A comunicação entre os computadores e o comparador era feita pelo correio, valendo-se de homens a pé ou a cavalo, sendo necessários alguns dias para a transmissão de cada mensagem.

Uma invenção do século xvii tinha sido a catalisadora de todo esse empreendimento. A invenção foi ela própria um tipo de número, que recebeu o nome de *logaritmo*. Tratava-se de um número transformado em ferramenta. Henry Briggs explicou:

> Logaritmos são Números inventados para facilitar a solução de questões da Aritmética e da Geometria. Seu nome deriva de *Logos*, que significa *Razão*, e *Arithmos*, que significa *Números*. Por meio deles é possível evitar todas as Multiplicações e Divisões mais difíceis da Aritmética, sendo resolvidas puramente pela Adição em lugar da Multiplicação, e pela Subtração em lugar da Divisão.15

Em 1614, Briggs era professor de geometria — o primeiro professor de geometria — do Gresham College, de Londres, que posteriormente seria o berço da Royal Society. Sem os logaritmos ele já tinha criado dois livros de tabelas, *Uma tabela para descobrir a altura do Polo, sendo dada a declinação magnética* e *Tabelas para a melhoria da navegação*, quando de Edimburgo chegou um livro prometendo "acabar com toda a dificuldade que até hoje se verificou nos cálculos matemáticos".16

> Não há nada (tomem nota, queridos Estudantes da Matemática) que atrapalhe tanto a prática da Matemática, nem que moleste e atrase ainda mais os cálculos, do que as Multiplicações, Divisões, Extrações quadradas e cúbicas de grandes números, as quais, além do tedioso desperdício de tempo, se veem em geral sujeitas a muitos erros traiçoeiros.

Esse novo livro propunha um método que acabaria com a maior parte do desperdício e dos erros. Foi como uma lanterna elétrica enviada a um mundo sem luz. O autor foi um escocês rico, John Napier (ou Napper, Nepair, Naper, ou Neper), oitavo proprietário do Castelo de Merchiston, teólogo e astrólogo renomado que também tinha na matemática o seu hobby. Briggs ficou curiosíssimo. "Naper, lorde de Markinston, pôs minhas mãos e minha cabeça a trabalhar",17 escreveu ele. "Espero vê-lo neste verão, se for a vontade de Deus, pois nunca vi um livro que tenha me agradado mais nem me dado tanto no que pensar." Ele fez sua peregrinação à Escócia, e o primeiro encontro entre os dois, conforme foi relatado posteriormente, começou com quinze minutos de silêncio: "passados em contemplação mútua, beirando a admiração, antes que a primeira palavra fosse dita".18

Briggs rompeu o transe:

> Milorde, percorri esta longa jornada com o objetivo de vê-lo em pessoa e saber por meio de qual

> mecanismo do raciocínio e da engenhosidade conseguistes ser o primeiro a pensar nesta excelentíssima maneira de facilitar a astronomia, ou seja, os Logaritmos; mas, Milorde, tendo sido o senhor a descobri-los, imagino como é possível que ninguém os tenha descoberto antes, e agora que os conhecemos, estes parecem tão fáceis.

Ele ficou com o proprietário por várias semanas, estudando.

Nos tempos atuais o logaritmo é um expoente. Um estudante aprende que o logaritmo de 100, tomando-se como referência a base 10, é 2, porque $100 = 10^2$. O logaritmo de 1 000 000 é 6, porque 6 é o expoente na expressão $1\,000\,000 = 10^6$. Para multiplicar dois números, um calculador poderia simplesmente consultar seus logaritmos e somá-los. Por exemplo:

$$100 \times 1\,000\,000 = 10^2 \times 10^6 = 10^{(2+6)}$$

Consultar e somar são mais fáceis que multiplicar.

Mas Napier não expressou sua ideia dessa maneira, em termos de expoentes. Ele compreendeu tudo instintivamente: estava pensando nas relações entre diferenças e proporções. Uma série de números com uma diferença constante entre eles é uma progressão aritmética: 0, 1, 2, 3, 4, 5… Quando os números são separados por uma proporção constante, a progressão é geométrica: 1, 2, 4, 8, 16, 32… Dispondo tais progressões uma ao lado da outra,

0 1 2 3 4 5 … (logaritmos da base 2)

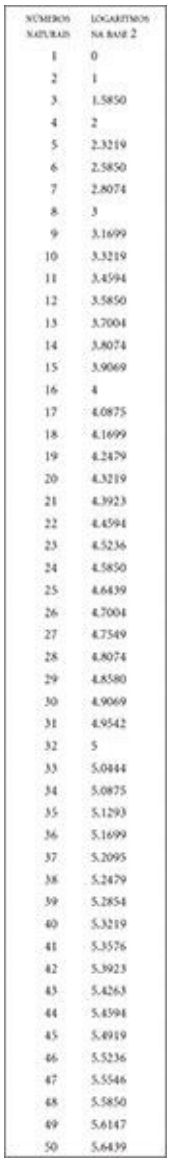
1 2 4 8 16 32 … (números naturais)

o resultado é uma tabela rudimentar dos logaritmos — rudimentar, pois os expoentes dos números inteiros são os mais fáceis. Uma tabela útil dos logaritmos tinha de preencher as lacunas, com várias casas decimais de precisão.

Na cabeça de Napier havia uma analogia: as diferenças estão para as proporções assim como a adição está para a multiplicação. O raciocínio dele

passou de um plano a outro, das relações espaciais aos números puros. Alinhando essas escalas lado a lado, ele proporcionou a um calculador os meios práticos para converter multiplicação em adição — na realidade, transformando uma tarefa difícil numa mais fácil. De certa maneira, o método é uma espécie de tradução, ou codificação. Os números naturais são codificados sob a forma de logaritmos. O calculador os consultava numa tabela, o livro contendo o código. Nesse novo idioma, o cálculo é fácil: adição em lugar de multiplicação, ou multiplicação em lugar de exponenciação. Quando o trabalho é concluído, o resultado é traduzido novamente para o idioma dos números naturais. Napier, é claro, não era capaz de pensar em termos de codificação.

Briggs revisou e ampliou as sequências de números necessárias e publicou seu próprio livro, *Aritmética logarítmica*, repleto de usos práticos. Além dos logaritmos, ele apresentou tabelas da latitude da declinação do Sol ano a ano; mostrou como descobrir a distância entre dois pontos quaisquer, dadas sua latitude e longitude; e definiu um guia estelar com declinações, distância em relação ao polo, e ascensão reta. Parte disso consistia num conhecimento nunca antes compilado, e parte era conhecimento oral em plena transição para o formato impresso, como se via nos nomes pouco formais das estrelas: *Estrela Polar*, *cinto de Andrômeda*, *Barriga da Baleia*, *a mais brilhante da harpa* e *a primeira no rabo da Ursa Maior ao lado de seu traseiro*.[19] Briggs também pensou em questões financeiras, oferecendo regras para a computação de juros, tanto para períodos passados como para futuros. A nova tecnologia foi um divisor de águas:



| NÚMEROS NATURAIS | LOGARITMOS NA BASE 2 |
|---|---|
| 1 | 0 |
| 2 | 1 |
| 3 | 1.5850 |
| 4 | 2 |
| 5 | 2.3219 |
| 6 | 2.5850 |
| 7 | 2.8074 |
| 8 | 3 |
| 9 | 3.1699 |
| 10 | 3.3219 |
| 11 | 3.4594 |
| 12 | 3.5850 |
| 13 | 3.7004 |
| 14 | 3.8074 |
| 15 | 3.9069 |
| 16 | 4 |
| 17 | 4.0875 |
| 18 | 4.1699 |
| 19 | 4.2479 |
| 20 | 4.3219 |
| 21 | 4.3923 |
| 22 | 4.4594 |
| 23 | 4.5236 |
| 24 | 4.5850 |
| 25 | 4.6439 |
| 26 | 4.7004 |
| 27 | 4.7549 |
| 28 | 4.8074 |
| 29 | 4.8580 |
| 30 | 4.9069 |
| 31 | 4.9542 |
| 32 | 5 |
| 33 | 5.0444 |
| 34 | 5.0875 |
| 35 | 5.1293 |
| 36 | 5.1699 |
| 37 | 5.2095 |
| 38 | 5.2479 |
| 39 | 5.2854 |
| 40 | 5.3219 |
| 41 | 5.3576 |
| 42 | 5.3923 |
| 43 | 5.4263 |
| 44 | 5.4594 |
| 45 | 5.4919 |
| 46 | 5.5236 |
| 47 | 5.5546 |
| 48 | 5.5850 |
| 49 | 5.6147 |
| 50 | 5.6439 |

> Que seja também registrado aqui que o uso de cem libras por um dia à proporção de 8, 9, 10 ou número semelhante por um ano era pouco conhecido, até ser descoberto por meio dos logaritmos: na ausência deles são necessários tantos cálculos trabalhosos de raízes que o conhecimento acaba exigindo muito mais esforço do que seu resultado parece justificar.20

O conhecimento tem um valor e um custo de descoberta, que devem ser contabilizados e pesados.

Até mesmo essa animadora descoberta levou anos para chegar a Johannes Kepler, que a empregou no aperfeiçoamento de suas tabelas celestiais em 1627, com base nos dados cuja reunião deu tanto trabalho a Tycho Brahe. “Entrou em cena um barão escocês (esqueci-me de seu nome) que fez algo excelente”, escreveu Kepler a um amigo, “transformando todas as operações de multiplicação e divisão em adição e subtração.”[21] As tabelas de Kepler eram muito mais precisas — talvez trinta vezes mais precisas — do que aquelas de seus antecessores medievais, e a precisão tornou possível algo absolutamente novo, seu harmonioso sistema heliocêntrico, com planetas orbitando o Sol em elipses. Daquela época até a chegada das máquinas eletrônicas, a maior parte da computação realizada pela humanidade se deu por meio dos logaritmos.[22] Um professor de Kepler menosprezou o feito: “Não é digno de um professor de matemática demonstrar tamanha alegria infantil simplesmente por ver os cálculos facilitados”.[23] Mas por que não? Ao longo dos séculos, eles sentiram essa mesma alegria ao computar: Napier e Briggs, Kepler e Babbage, preparando suas listas, erguendo suas torres de relações e proporções, aperfeiçoando seus mecanismos para transformar números em números. E então o comércio mundial validou aquilo que lhes dava prazer.

Charles Babbage nasceu no dia seguinte ao Natal de 1791, perto do fim do século que teve início com Newton. Seu lar ficava na margem sul do rio Tâmisa, em Walworth, Surrey, ainda um vilarejo rural, apesar de a London Bridge estar a menos de meia hora de caminhada, mesmo para um menino pequeno. Era filho de um banqueiro, que por sua vez fora filho e neto de ourives. Na Londres da infância de Babbage, a Era das Máquinas se fazia sentir por toda parte. Um novo tipo de empresário exibia máquinas em feiras. As apresentações que atraíam o maior público eram aquelas que mostravam autômatos — bonecas mecânicas, engenhosas e delicadas, com engrenagens e mecanismos que imitavam a própria vida. Charles Babbage foi com a mãe ao Museu Mecânico de John Merlin, em

Hanover Square, cheio de engrenagens de relógio, caixinhas de música e, mais interessante, simulacros de criaturas vivas. Um cisne de metal dobrava o pescoço para apanhar um peixe de metal, movido por motores e molas. No ateliê que o artista mantinha em seu sótão, Charles viu um par de dançarinas nuas, deslizando e se inclinando, esculpidas em prata com um quinto do que seria seu tamanho real. O próprio Merlin, o senhor que as criou, disse ter dedicado anos àquelas máquinas, suas favoritas, ainda inacabadas. Uma das dançarinas em particular impressionou Charles com sua graça e aparente vida. "Aquela dama demonstrava posturas absolutamente fascinantes",[24] lembrou-se ele. "Seus olhos eram cheios de imaginação, irresistíveis." De fato, aos quarenta anos, quando já era homem feito, ele encontrou a dançarina prateada de Merlin num leilão, comprou-a por 35 libras, instalou-a num pedestal em seu lar e vestiu suas formas nuas com adornos personalizados.[25]

O menino também amava a matemática — um interesse muito distante das artes mecânicas, ao que parecia. Ele aprendeu matemática sozinho a partir de pequenos trechos dos livros que encontrava. Em 1810 entrou para o Trinity College, em Cambridge — domínio de Isaac Newton e ainda o centro moral da matemática na Inglaterra. Imediatamente, Babbage ficou desapontado: descobriu que já sabia mais a respeito da matéria moderna do que seus professores, e que o conhecimento adicional que buscava não poderia ser encontrado ali, talvez nem mesmo em parte nenhuma da Inglaterra. Começou a comprar livros estrangeiros — especialmente da França de Napoleão, contra a qual a Inglaterra estava em guerra. De uma livraria especializada em Londres, obteve *Théorie des fonctions analytiques* e "a grande obra de Lacroix, a respeito do *Cálculo diferencial e integral*".[26]

Babbage tinha razão: em Cambridge a matemática estava estagnada. Um século antes Newton fora apenas o segundo professor de matemática que a universidade já tivera; todo o poder e prestígio da matéria vinha de seu legado. Agora sua grande sombra pairava sobre a matemática inglesa como uma maldição. Os estudantes mais avançados aprenderam seus brilhantes e esotéricos "fluxos" e as provas geométricas dos seus *Principia*. Nas mãos de qualquer um que não fosse Newton, os antigos métodos da geometria produziam pouco além

de frustração. Suas peculiares formulações do cálculo pouco ajudaram seus herdeiros. Eles se viram cada vez mais isolados. O professorado inglês "considerava qualquer tentativa de inovação como um pecado contra a memória de Newton",[27] disse um matemático do século xix. Para encontrar o rio onde fluíam as águas da matemática moderna, o estudante tinha de procurar em outra parte, no Continente, na "análise" e na linguagem da diferenciação inventada pelo rival e nêmesis de Newton, Gottfried Wilhelm Leibniz. Fundamentalmente, havia apenas um cálculo. Newton e Leibniz sabiam o quanto suas obras eram parecidas — a semelhança era tal que um acusou o outro de plágio. Mas eles tinham desenvolvido sistemas de notação incompatíveis — linguagens diferentes — e, na prática, essas diferenças superficiais foram mais importantes do que as semelhanças subjacentes. Símbolos e operadores eram a substância com a qual os matemáticos trabalhavam, afinal. Babbage, ao contrário da maioria dos alunos, tornou-se fluente em ambos — "os pontos de Newton, os *d*'s de Leibniz"[28] — e sentiu como se tivesse enxergado a luz. "É sempre difícil pensar e raciocinar numa nova linguagem."[29]

De fato, a própria linguagem pareceu a ele ser um objeto adequado ao estudo filosófico — um tema para o qual se via atraído de tempos em tempos. Pensar a respeito da linguagem, enquanto se pensa *com* a linguagem, leva a enigmas e paradoxos. Durante algum tempo, Babbage tentou inventar, ou construir, uma linguagem universal, um sistema simbólico que fosse livre das idiossincrasias locais e das imperfeições. Ele não foi o primeiro a tentar algo do tipo. O próprio Leibniz afirmou estar no limiar da descoberta de uma *characteristica universalis* que daria à humanidade "um novo tipo de instrumento capaz de aumentar os poderes do raciocínio muito mais do que qualquer instrumento óptico jamais foi capaz de auxiliar o poder da visão".[30] Conforme os filósofos se viam cara a cara com a multiplicidade dos dialetos do mundo, muitas vezes enxergavam a linguagem não como um recipiente perfeito para a verdade, mas como uma peneira de vazão excessiva. A confusão envolvendo os significados das palavras levou a contradições. Ambiguidades e falsas metáforas não eram certamente inerentes à natureza das coisas, e sim emergidas de uma infeliz escolha de signos. Se fosse ao menos possível encontrar uma tecnologia mental apropriada, uma verdadeira linguagem filosófica! Seus símbolos, devidamente escolhidos,

devem ser universais, transparentes e imutáveis, defendeu Babbage. Trabalhando de maneira sistemática, ele conseguiu criar uma gramática e começou a registrar por escrito um léxico, mas viu-se impossibilitado de prosseguir ao se deparar com um problema de armazenamento e consulta — detido "pela aparente impossibilidade de organizar os signos numa ordem consecutiva, de modo a permitir que encontremos o significado do signo desejado como faríamos no caso de um dicionário".[31] Apesar disso, parecia-lhe que a linguagem era algo que uma pessoa poderia inventar. Numa situação ideal, a linguagem deveria ser racionalizada, tornada previsível e mecânica. As engrenagens deviam se encaixar.

Ainda na graduação, seu objetivo era um renascimento da matemática inglesa — uma causa digna da fundação de um grupo em sua defesa e do início de uma cruzada. Ele se juntou a dois outros estudantes promissores, John Herschel e George Peacock, para formar aquilo que eles chamaram de Sociedade Analítica, "em nome da propagação dos *d*'s" e contra "a heresia dos pontos", ou, nas palavras de Babbage, "a Pontuação da Universidade".[32] (Ele ficou satisfeito com seu próprio "trocadilho maldoso".) Em sua campanha para libertar o cálculo da pontuação inglesa, Babbage lamentou "a nuvem de disputa e animosidade nacional que foi lançada sobre sua origem". Era indiferente que aquilo parecesse coisa de franceses. Ele declarou: "Precisamos agora reimportar o exótico, com quase um século de melhorias estrangeiras, e torná-lo mais uma vez algo comum entre nós".[33] Eram rebeldes contra Newton no coração da Newtonlândia. Reuniam-se no café da manhã todos os domingos depois de irem à capela.

"É claro que fomos muito ridicularizados pelos Mestres", lembrou-se Babbage. "Foi desagradavelmente sugerido que éramos jovens infiéis, e que nada de bom poderia vir de nós." Mas o evangelismo deles funcionou: os novos métodos foram disseminados de baixo para cima, e os estudantes os aprenderam mais depressa do que seus professores. "As sobrancelhas de muitos moderadores de Cambridge se ergueram, em parte por causa da ira e em parte por causa da admiração, diante das respostas incomuns que começaram a aparecer nas provas e nos exames",[34] escreveu Herschel. Os pontos de Newton perderam espaço, e seus fluxos foram substituídos pela notação e pela linguagem de Leibniz.

Enquanto isso a Babbage nunca faltaram companheiros com quem pudesse beber vinho ou jogar uíste apostando moedas. Com um grupo de amigos, ele formou um Clube Fantasma, dedicado a reunir as evidências que comprovassem ou desmentissem a existência dos espíritos ocultos. Com outra turma, fundou um clube chamado de Extratores, cujo objetivo era determinar questões de sanidade e insanidade de acordo com procedimentos específicos:

1. Cada membro deve comunicar seu endereço ao Secretário uma vez a cada seis meses.

2. Se esta comunicação for atrasada em mais de doze meses, será concluído que os parentes do membro em questão o terão trancafiado como vítima da insanidade.

3. Todos os esforços legais e ilegais deverão ser empreendidos no sentido de tirá-lo do hospício [daí o nome “Extratores”].

4. Cada candidato a membro deverá produzir seis certificados. Três comprovando sua sanidade e três comprovando sua insanidade.35

Mas a Sociedade Analítica era séria. Foi sem nenhuma ironia — e imbuídos de grande seriedade — que esses amigos matemáticos, Babbage, Herschel e Peacock, resolveram “se esforçar ao máximo para tornar o mundo um lugar mais sábio do que aquele que encontraram”. Eles alugavam cômodos, liam estudos uns para os outros e publicavam suas “Transições”. E, naqueles cômodos, enquanto Babbage dormitava sobre um livro de logaritmos, um deles o interrompeu: “Bem, Babbage, com o que está sonhando?”.

“Estou pensando que todas essas Tabelas poderiam ser calculadas por máquinas”,[36] respondeu ele.

Ao menos, foi assim que Babbage recontou a conversa cinquenta anos mais tarde. Todas as grandes invenções precisam de uma história na qual são descobertas com um eureca!, e Babbage tinha até um relato sobressalente. Ele e Herschel estavam trabalhando juntos para produzir um manuscrito sobre tabelas logarítmicas para a Sociedade Astronômica de Cambridge. Esses mesmos logaritmos já tinham sido computados antes — os logaritmos precisam ser

continuamente computados, recomputados, comparados e submetidos à desconfiança. Não surpreende que Babbage e Herschel, trabalhando duro em seus próprios manuscritos em Cambridge, considerassem o trabalho tedioso. “Como eu gostaria que esses cálculos pudessem ser feitos por motores a vapor”, queixou-se Babbage, e Herschel respondeu simplesmente: “Isso me parece bastante possível”.

O vapor era a força que impulsionava todos os motores, o elemento que viabilizava a indústria. Ainda que apenas naquelas décadas, a palavra significou poder e força e tudo o mais que fosse considerado moderno e vigoroso. Anteriormente, a água ou o vento moviam os moinhos, e a maior parte do trabalho mundial ainda dependia da força física das pessoas, dos cavalos e dos animais domesticados. Mas o vapor quente, gerado pela queima do carvão e controlado por engenhosos inventores, contava com a portabilidade e a versatilidade. Substituiu os músculos por toda a parte. Foi incorporado em expressões: as pessoas passaram a se excitar (*steam up*) ou ganhar força (*get more steam on*) ou desabafar (*blow off steam*) usando termos relacionados ao vapor. Benjamin Disraeli celebrou “seu vapor moral que faz o mundo funcionar”. O vapor passou a ser o mais poderoso elemento transmissor de energia conhecido pela humanidade.

Mesmo assim, era curioso que Babbage pensasse em exercer essa potente força num reino etéreo — aplicando o vapor ao pensamento e à aritmética. Os números eram os grãos moídos por esse moinho. Trilhos se moveriam, engrenagens girariam, e o trabalho da mente seria cumprido.

Isso deveria ser feito de maneira automática, declarou Babbage. Qual era o significado de chamar uma máquina de “automática”? Para ele não se tratava apenas de uma questão semântica, e sim de um princípio para avaliar a utilidade de uma máquina. Os dispositivos calculadores da época poderiam ser divididos em duas classes: a primeira exigia intervenção humana, a segunda funcionava de fato por conta própria. Para determinar se uma máquina poderia ser descrita como automática, era preciso fazer uma pergunta que teria sido mais simples se as palavras *input* e *output* já tivessem sido inventadas: “Se, quando os números que devem ser objeto da operação são inseridos no instrumento, este é capaz de

chegar ao resultado por meio do mero movimento de uma mola, de um peso descendente, ou de qualquer outra força constante".[37] Era um padrão visionário. Eliminava virtualmente todos os dispositivos jamais usados ou concebidos como ferramentas para a aritmética — e tinham sido muitos, desde o início da história registrada. Pedrinhas em sacos, fios com nós, pedaços de madeira ou osso com marcações já haviam servido como meios de ajudar a memória no curto prazo. Ábacos e réguas de cálculo aplicaram mecanismos mais complexos ao cálculo abstrato. Então, no século xvii, alguns matemáticos conceberam os primeiros dispositivos calculadores dignos do nome *máquina*, para somar e — por meio da repetição das somas — multiplicar. Blaise Pascal criou uma máquina de somar em 1642, com uma fileira de discos giratórios, um para cada dígito decimal. Três décadas mais tarde, Leibniz aprimorou a obra de Pascal ao usar um tambor com dentes salientes para "reagrupar" as unidades de um dígito ao seguinte.[a] Mas, fundamentalmente, os protótipos de Pascal e Leibniz continuaram mais próximos do ábaco — um registro passivo dos estados da memória — do que de uma máquina cinética. De acordo com Babbage, eles não eram automáticos.

Não ocorreu a ele a ideia de usar um dispositivo para um cálculo único, não obstante o quão difícil fosse. As máquinas eram excelentes quando se tratava da repetição — "esforço intolerável e monotonia fatigante".[38] Ele previu que a demanda pela computação cresceria com a definição dos diferentes usos do comércio, da indústria e da ciência.

> Ouso ainda prever que chegará uma época na qual o esforço acumulado que emana da aplicação aritmética de fórmulas matemáticas, atuando como constante força de retardamento, acabará enfim impedindo o progresso útil da ciência, a menos que isso ou algum método equivalente seja projetado para aliviá-lo do insuportável fardo dos detalhes numéricos.39

Num mundo pobre de informações, onde qualquer tabela de números era uma raridade, séculos se passaram antes que as pessoas começassem a reunir sistematicamente diferentes tabelas impressas de maneira a conferir seus resultados uns em relação aos outros. Quando isso foi feito, foram encontradas falhas inesperadas. Os *Logaritmos* de Taylor, publicados em formato quarto padronizado na Londres de 1792, continham (descobriu-se afinal) dezenove erros de um ou dois dígitos. Estes foram pormenorizados no *Almanaque*

*Náutico*, pois, como o almirantado bem sabia, cada erro representava um naufrágio em potencial.

Infelizmente, uma das dezenove correções se mostrou equivocada, o que fez com que a edição do *Almanaque Náutico* contasse com uma "errata da errata". Isso, por sua vez, introduziu um novo erro. "A confusão torna-se ainda mais confusa",[40] declarou a *Edinburgh Review*. O próximo almanaque teria de apresentar uma "Errata da Errata da Errata dos *Logaritmos* de Taylor".

Cada erro tinha sua própria história. Quando a Irlanda estabeleceu seu Ordnance Survey,[b] para que seu território inteiro fosse mapeado com uma riqueza de detalhes nunca antes conseguida por nenhum outro país, o primeiro objetivo a ser cumprido era garantir que os pesquisadores — equipes de sapadores e mineradores — tivessem 250 conjuntos de tabelas logarítmicas, relativamente portáteis e dotadas de sete dígitos de precisão.[41] O gabinete censitário comparou treze tabelas publicadas em Londres ao longo dos duzentos anos anteriores, bem como tabelas de Paris, Avignon, Berlim, Leipzig, Gouda, Florença e China. Seis erros foram descobertos em praticamente todos os volumes — e eram os *mesmos* seis erros. A conclusão era inevitável: essas tabelas tinham sido copiadas umas das outras, ao menos em parte.

Erros advinham de equívocos no reagrupamento das unidades. Erros surgiam da inversão de dígitos, às vezes cometida pelos próprios calculadores, outras pelos impressores. Os impressores eram obrigados a transpor os dígitos em linhas sucessivas de tipos. Que coisa misteriosa e falível a mente humana parecia ser! Um comentarista brincou dizendo que todos esses erros "consistiriam num curioso objeto de especulação metafísica com relação ao funcionamento da faculdade da memória".[42] Em sua opinião, os computadores humanos não tinham futuro: "É somente por meio da *fabricação mecânica das tabelas* que tais erros se tornarão impossíveis".

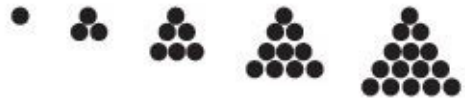
Babbage avançou na questão ao expor princípios mecânicos no âmbito dos números. Ele viu que parte da estrutura podia ser revelada com a computação das diferenças entre uma sequência e outra. O "cálculo das diferenças finitas" tinha sido explorado pelos matemáticos (principalmente os franceses) por cem anos. Seu poder estava na capacidade de reduzir cálculos de alto nível a simples

operações de adição, prontas para serem resolvidas em sequência. Para Babbage, o método era tão crucial que ele batizou sua máquina de Máquina Diferencial desde a concepção inicial.

A título de exemplo (pois sentiu a necessidade de divulgar e explicar sua ideia muitas vezes com o passar dos anos), Babbage apresentou a Tabela dos Números Triangulares. Como muitas das sequências consideradas importantes, era uma escada, começando no chão e subindo cada vez mais:

1, 3, 6, 10, 15, 21…

Ele ilustrou a ideia ao imaginar uma criança dispondo grupos de bolas de gude na areia:



Suponhamos que o menino queira saber “quantas bolas de gude haverá no trigésimo grupo, ou em qualquer outro grupo mais distante”. (Trata-se de uma criança conforme concebida por Babbage.) “Talvez ele procure o papai para obter essa informação; mas temo que o papai não lhe daria atenção, dizendo que aquilo era bobagem — que era inútil —, que ninguém sabia quantas seriam, e assim por diante.” É compreensível que o papai nada soubesse a respeito da Tabela de Números Triangulares publicada em Haia por É. de Joncourt, professor de filosofia. “Se o papai não for capaz de responder, deixemos que ele procure a mamãe, que não fracassará na busca por meios capazes de satisfazer a curiosidade do seu pequenino.”[43] Enquanto isso, Babbage responde à pergunta por meio de uma tabela de diferenças. A primeira coluna contém a sequência numérica em questão. As colunas seguintes são derivadas por repetidas subtrações, até que uma constante seja encontrada — uma coluna composta inteiramente por um mesmo número.

| *Número* | *Número de* | *1ª diferença*<br>*Diferença entre* | *2ª* |
|---|---|---|---|

| *do grupo* | *bolinhas em cada grupo* | *cada grupo e o seguinte* | *diferença* |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | 3 | 2 | 1 |
| 3 | 6 | 3 | 1 |
| 4 | 10 | 4 | 1 |
| 5 | 15 | 5 | 1 |
| 6 | 21 | 6 | 1 |
| 7 | 28 | 7 | 1 |

Toda função polinomial pode ser reduzida pelo método das diferenças, e todas as funções bem-comportadas, incluindo os logaritmos, podem ser de fato aproximadas dessa forma. Equações de nível mais elevado exigem diferenças de ordem superior. Babbage ofereceu outro exemplo geométrico concreto que exige uma tabela de terceiras diferenças: pilhas de balas de canhão dispostas na forma de pirâmides triangulares — os números triangulares traduzidos para três dimensões.

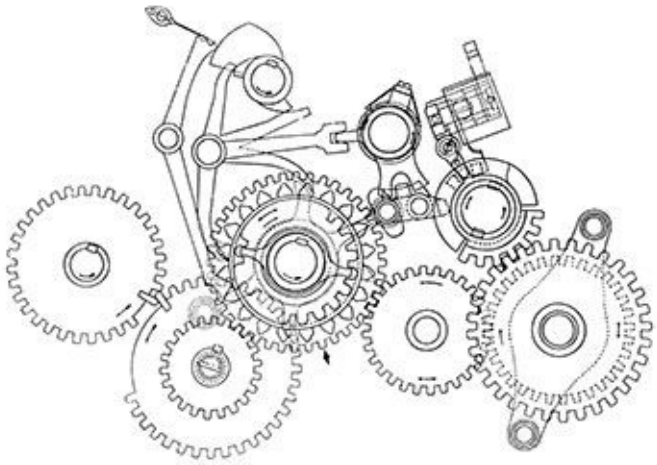
| *Número* | *Tabela* | *1ª diferença* | *2ª diferença* | *3ª diferença* |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 3 | 3 | 1 |
| 2 | 4 | 6 | 4 | 1 |
| 3 | 10 | 10 | 5 | 1 |
| 4 | 20 | 15 | 6 | 1 |
| 5 | 35 | 21 | 7 | 1 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 6 | 56 | 28 | 8 | 1 |

A Máquina Diferencial realizava esse procedimento ao contrário: em vez de repetidas subtrações para encontrar as diferenças, a máquina gerava sequências de números por meio de uma cascata de adições. Para tanto, Babbage concebeu um sistema de engrenagens numéricas, marcadas com os numerais de 0 a 9, dispostas ao longo de um eixo para representar as casas decimais de um número: as unidades, as dezenas, as centenas, e assim por diante. As engrenagens seriam dentadas. As rodas dentadas de cada eixo se ligariam à engrenagem seguinte, para acrescentar os dígitos sucessivos. Ao transmitir o movimento de engrenagem para engrenagem, a máquina transmitia também informações em pequenas parcelas incrementais, com os números somando-se de eixo para eixo. Obviamente surgiu uma complicação mecânica, envolvendo as somas que ultrapassassem 9. Era preciso que uma unidade fosse reagrupada na próxima casa decimal. Para conseguir isso, Babbage criou um dente protuberante em cada roda dentada, entre o 9 e o 0. O dente empurrava uma alavanca, a qual transmitia por sua vez o movimento à engrenagem acima.

É nesse ponto da história das máquinas de computar que um novo tema emerge: a obsessão com o tempo. Ocorreu a Babbage que sua máquina tinha de computar mais rápido do que a mente humana, tão rápido quanto fosse possível. Ele tinha uma ideia para permitir o processamento paralelo: as engrenagens numeradas dispostas num eixo poderiam acrescentar uma coluna de dígitos de uma só vez. “Se isso fosse feito”, destacou ele, “as adições e subtrações com números de dez, vinte, cinquenta ou qualquer número de algarismos se tornariam tão rápidas quanto as operações envolvendo algarismos simples.”[44] No entanto, havia um problema. Os dígitos de uma única adição não podiam ser gerenciados com completa independência por causa do reagrupamento. As unidades reagrupadas podiam transbordar e despencar por um conjunto inteiro de engrenagens. Se as unidades reagrupadas fossem conhecidas com antecedência, então as adições poderiam ocorrer em paralelo. Mas esse conhecimento não se

tornou disponível tão rapidamente quanto Babbage gostaria. “Infelizmente”, escreveu ele, “há múltiplos casos em que os reagrupamentos necessários só se tornam conhecidos em sucessivos períodos de tempo.” Ele calculou o tempo necessário, supondo um segundo para cada operação: a soma de dois números de cinquenta dígitos poderia exigir em si apenas nove segundos, mas o reagrupamento, na pior das hipóteses, poderia exigir outros cinquenta. Uma péssima notícia. “Diversos estratagemas foram elaborados, e uma quantidade quase incalculável de rascunhos foi feita, tudo com o objetivo de poupar tempo”, escreveu Babbage, pesaroso. Em 1820, ele já tinha definido o seu projeto. Comprou seu próprio torno e, operando-o ele mesmo junto com os metalúrgicos que contratou, conseguiu em 1822 apresentar à Royal Society um pequeno modelo funcional, reluzente e futurista de sua máquina.



*A engrenagem de Babbage.*

Na época ele morava em Londres, perto de Regent’s Park, como um tipo de respeitável filósofo, publicando estudos matemáticos e ocasionalmente oferecendo ao público aulas de astronomia. Casou-se com uma jovem rica de Shropshire, Georgiana Whitmore, a mais nova de oito irmãs. Além do dinheiro da mulher, ele era sustentado principalmente por uma mesada de trezentas libras oferecida pelo pai — de quem Babbage se ressentia, considerando-o tirânico, sovina e, acima de tudo, um velho de mente fechada. “Não seria exagero dizer que ele não *acredita* em nada do que *ouve*, e em apenas metade daquilo que vê”,[45] escreveu Babbage ao amigo Herschel. Quando seu pai morreu, em 1827,

Babbage herdou uma fortuna de 100 mil libras. Trabalhou por um breve período como matemático para a nova Companhia de Seguro Protetora da Vida, computando tabelas estatísticas que calculavam expectativas de vida. Tentou se tornar professor universitário, sem sucesso até então, mas tinha uma vida social cada vez mais ativa e, nos círculos dos estudiosos, seu nome começava a ser conhecido. Com a ajuda de Herschel, foi eleito membro da Royal Society.

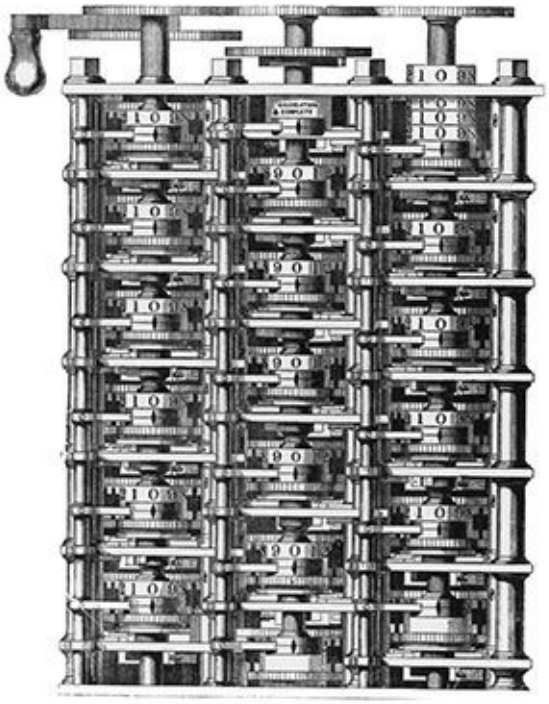
Até mesmo seus erros reforçavam sua reputação. Em nome do *Edinburgh Journal of Science*, Sir David Brewster enviou a ele um verdadeiro clássico dos anais das cartas de rejeição:

> É com relutância expressiva que recuso a oferta de publicar quaisquer estudos de sua autoria. Acredito que, ao reconsiderar, sua opinião do caso será a de que não me resta alternativa. Os temas que propôs para uma série de Ensaios Matemáticos e Metafísicos são de tamanha profundidade que talvez não haja entre os leitores de nossa publicação nem mesmo um que seja capaz de acompanhá-los.46

Em nome de sua invenção, Babbage deu início a uma campanha de demonstrações e cartas. Em 1823, o Tesouro e o Ministério da Fazenda tinham começado a se interessar. Ele lhes prometeu "tabelas logarítmicas tão baratas quanto as batatas"[47] — como poderiam resistir? Os logaritmos salvavam navios. Os Lordes do Tesouro autorizaram que fossem destinados inicialmente 1500 libras para o projeto.

Como conceito abstrato, a Máquina Diferencial gerou um ânimo que não precisou esperar por algo tão mundano quanto a construção do protótipo em si. A ideia estava sendo recebida num solo fértil. Dionysius Lardner, popular professor de temas técnicos, dedicou uma série de palestras públicas a Babbage, elogiando sua "proposta de reduzir a aritmética ao domínio do mecanicismo — de substituição de um compositor por um autômato —, de projetar o poder do pensamento numa engrenagem".[48] A máquina "deve, quando concluída", disse ele, "produzir efeitos importantes, não apenas no progresso da ciência, mas no da civilização". Ela seria a máquina *racional*. Seria um ponto de injunção para

duas estradas — o mecanicismo e o pensamento. Seus admiradores às vezes enfrentavam dificuldades com suas explicações dessa intersecção: “A pergunta é posta ao instrumento”, disse Henry Colebrooke à Sociedade Astronômica, “ou é o instrumento que é posto a respondê-la”.[49] Seja como for, disse ele, “por meio do simples movimento das engrenagens a solução é obtida”.



*Gravura em madeira (1853) de uma pequena parte da Máquina Diferencial.*

Porém, no domínio do latão e do ferro forjado, os avanços da máquina foram bem mais lentos. Babbage reformou os estábulos nos fundos de sua casa de Londres e os substituiu por uma forja, uma fundição e um ateliê à prova de fogo, e recrutou Joseph Clement, projetista e inventor, autodidata, filho de um aldeão tecelão que se tornou o mais importante engenheiro mecânico da Inglaterra. Babbage e Clement perceberam que teriam de criar novas ferramentas. Dentro de uma colossal moldura de metal, o projeto exigia peças intrincadas e precisas — eixos, engrenagens, molas e pinos e, principalmente, rodas dentadas numeradas às centenas e então aos milhares. Ferramentas manuais nunca poderiam produzir os componentes com a precisão necessária. Antes que Babbage pudesse dispor de uma manufatura de tabelas numéricas, ele teria de construir novas maneiras de fabricar peças. O restante da Revolução Industrial também precisava de padronização em suas peças: parafusos intercambiáveis de

giros e espessura uniformes — os parafusos eram unidades fundamentais. Os tornos de Clement e seus aprendizes começaram a produzi-las.

Conforme cresciam as dificuldades, o mesmo ocorria com as ambições de Babbage. Passados dez anos, a máquina tinha sessenta centímetros de altura, com seis eixos verticais e dúzias de engrenagens, capaz de computar resultados de seis algarismos. Dez anos depois, a escala — no papel — tinha chegado a 4,5 metros cúbicos, quinze toneladas e 25 mil peças, e o próprio papel também tinha aumentado, com os projetos cobrindo mais de 37 metros quadrados. O nível de complexidade era difícil de compreender. Babbage resolveu o problema de acrescentar muitos dígitos de uma só vez separando os "procedimentos de adição" dos "procedimentos de reagrupamento" e organizando-os então de maneira alternada. A adição começava com o movimento súbito de engrenagens, primeiro as colunas ímpares de mostradores, e depois as colunas pares. Então as unidades reagrupadas eram retransmitidas de uma coluna para a outra. Para manter os movimentos sincronizados, partes da máquina precisavam "saber" em momentos críticos que ainda faltava uma operação de reagrupamento para a conclusão de um processo. A informação era transmitida pela posição de uma tranca. Pela primeira vez, mas não pela última, um dispositivo recebeu o dom da memória. "Trata-se na verdade de um memorando registrado pela máquina", escreveu seu divulgador, Dionysius Lardner. O próprio Babbage era consciente do antropomorfismo, mas não pôde resistir a ele. "Os meios mecânicos que empreendi para possibilitar esse reagrupamento", sugeriu ele, "guardam uma distante analogia com o funcionamento da faculdade da memória."

Na linguagem comum, descrever até mesmo esse processo básico de adição exigia grande brilhantismo com as palavras, nomeando as partes metálicas, explicando a interação entre elas, e designando interdependências que se multiplicavam para formar uma longa cadeia de causalidade. A explicação do próprio Lardner para o "reagrupamento", por exemplo, foi épica.[50] Um único instante isolado do procedimento envolvia um mostrador, um indicador, um polegar, um eixo, um gatilho, uma reentrância, um gancho, uma garra, uma mola, um dente e uma roda dentada:

> Agora, no momento em que a divisão entre 9 e 0 no mostrador $B^2$ passa pelo indicador, um polegar instalado no eixo desse mostrador toca um gatilho que tira da reentrância o gancho que sustenta a garra já mencionada, permitindo que esta retorne com a força da mola e caindo no próximo dente da roda dentada.

Centenas de palavras mais tarde, resumindo, Lardner recorreu a uma metáfora sugerindo uma dinâmica fluida:

> Há dois sistemas de ondas de ação mecânica fluindo continuamente de baixo para cima; e dois fluxos de ação similar sendo constantemente transmitidos da direita para a esquerda. As cristas do primeiro sistema de ondas de adição cai sobre a última diferença, e sobre a última de cada par de diferenças num sentido ascendente. […] O primeiro fluxo de procedimentos de reagrupamento passa da direita para a esquerda pela coluna mais alta e pela última de cada par de colunas.

Essa era uma forma de abstração a partir do particular — sendo o particular algo tão intrincado. E então ele se rendeu. “Suas maravilhas, no entanto, são ainda mais grandiosas em seus detalhes”, escreveu. “É desesperador tentar fazer justiça a seu funcionamento.”

E tampouco eram suficientes os planos de um projetista comum para descrever uma máquina que era mais do que uma máquina. Tratava-se de um sistema dinâmico, com cada uma de suas partes capaz de vários modos ou estados, às vezes em repouso e às vezes em movimento, propagando sua influência por canais complicados. Seria possível especificar completamente tudo isso, no papel? Babbage, para seus próprios propósitos, projetou uma nova ferramenta formal, um sistema de “notação mecânica” (palavras dele). Era uma linguagem de signos que buscavam representar não apenas a forma física de uma máquina, mas também suas propriedades mais difíceis de descrever: seu ritmo e sua lógica. Tratava-se de uma ambição extraordinária, como o próprio Babbage reconhecia. Em 1826 ele fez à Royal Society o orgulhoso relato “De um método de expressar por signos a ação das máquinas”.[51] Em parte, foi um exercício de classificação. Ele analisou as diferentes maneiras por meio das quais algo — o movimento, ou a força — poderia ser “comunicado” por um sistema. Havia muitas formas de fazê-lo. Uma parte poderia receber sua influência

simplesmente por estar ligada a outra parte, “como um pino numa roda, ou uma roda e uma engrenagem num mesmo eixo”. Ou a transmissão poderia ocorrer “pelo atrito da fricção”. Uma parte poderia ser constantemente impulsionada por estar ligada a outra, “como ocorre quando uma roda é impulsionada por uma engrenagem” — ou de maneira *inconstante*, “como no caso de uma tacha que ergue uma tranca uma única vez no decorrer de uma revolução”. Nesse ponto, uma visão de desmembramento lógico entrou no esquema: o rumo da comunicação deveria variar de acordo com os estados alternativos de alguma parte da máquina. A notação mecânica de Babbage foi um produto natural de seu trabalho com a notação simbólica na análise matemática. As máquinas, como a matemática, precisavam de rigor e definição para progredir. “As formas da linguagem comum eram difusas demais”, escreveu ele. “Os signos, se forem devidamente escolhidos, e se forem adotados de maneira generalizada, vão formar uma espécie de linguagem universal.” A linguagem nunca foi uma questão secundária para Babbage.

Ele finalmente conquistou um cargo na universidade, em Cambridge: a prestigiada Cátedra Lucasiana em Matemática, antes ocupada por Newton. Como na época de Newton, o trabalho não era oneroso. Babbage não tinha que lecionar, nem fazer palestras, nem mesmo morar em Cambridge, o que era ótimo, pois ele estava começando a se tornar uma figura popular na vida social londrina. Em casa, no número 1 da Dorset Street, ele era o anfitrião de um *soirée* nas noites de sábado que atraía um público importante — políticos, artistas, duques e duquesas, e os maiores cientistas ingleses da época: Charles Darwin, Michael Faraday e Charles Lyell, entre outros.[c] Eles ficavam maravilhados com sua máquina calculadora e com o autômato dançarino de sua juventude, exibido no mesmo local. (Nos convites ele escrevia: “Espero que pretenda prestigiar a ‘Dama Prateada’. Ela aparecerá em novos trajes e adornos”.) Ele era um narrador matemático — algo que não era uma contradição naquela época e naquele lugar. Lyell relatou com aprovação que Babbage “graceja e raciocina em matemática avançada”. Ele publicou um tratado muito citado a respeito da aplicação da teoria das probabilidades à questão teológica dos milagres. Foi só por diversão que sugeriu ao lorde Alfred Tennyson que fizesse uma correção ao par de versos: “A cada minuto morre um homem, / A cada minuto nasce outro”.

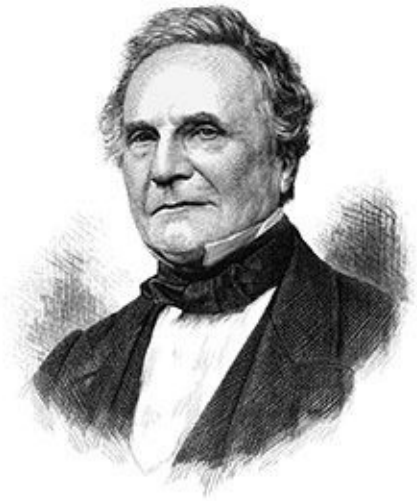
> Não creio que seja necessário indicar-lhe que este cálculo tenderia a manter a soma total dos habitantes do mundo num estado de equilíbrio perpétuo, pois é bem sabido que a soma acima citada está constantemente aumentando. Assim, tomo a liberdade de sugerir que, na próxima edição de seu excelente poema, o cálculo equivocado ao qual me refiro seja corrigido da seguinte maneira: “A cada minuto morre um homem, / A cada minuto nasce outro e mais uma décima sexta parte de homem”. Acrescento que o número exato é 1,167, mas é claro que certas concessões devem ser feitas às leis do metro.52

Fascinado com a própria celebridade, Babbage mantinha um álbum de recortes — “os prós e os contras em colunas paralelas, a partir das quais ele chegou a algum tipo de equilíbrio”,[53] na descrição de um visitante. “Disseram-me repetidas vezes que ele passava seus dias gabando-se e queixando-se daquilo que as pessoas diziam a seu respeito.”

Mas o progresso da máquina, principal fonte de sua fama, dava mostras de hesitação. Em 1832, ele e o engenheiro Clement produziram um protótipo funcional para demonstração. Babbage o exibia em suas festas para os convidados, que o consideravam miraculoso ou simplesmente fascinante. A Máquina Diferencial continua a ser — há uma réplica em funcionamento hoje no Museu da Ciência, em Londres — um marco daquilo que poderia ser alcançado com a engenharia de precisão. Na composição de suas ligas, na exatidão de suas dimensões, na qualidade intercambiável de suas peças, nada ultrapassava esse pedaço de uma máquina inacabada. Ainda assim, aquilo não passava de uma curiosidade. E era também o mais longe que Babbage poderia chegar.

Ele e o engenheiro se envolveram em disputas. Clement exigia mais e mais dinheiro de Babbage e do Tesouro, que começou a suspeitar de um eventual superfaturamento. Ocultou peças e projetos e disputou o controle das ferramentas especializadas dos ateliês da dupla. O governo, depois de mais de uma década e de um investimento de 17 mil libras, estava perdendo a fé em Babbage — que, por sua vez, estava perdendo a fé no governo. Ao lidar com lordes e ministros, Babbage podia ser imperioso. Estava desenvolvendo uma opinião amarga da atitude inglesa diante da inovação tecnológica:

> Se mencionarmos a um inglês a existência de uma máquina para descascar batatas, ele declarará que é impossível: se a usarmos para descascar uma batata bem diante de seus olhos, ele vai declarar que é inútil, pois não servirá para descascar um abacaxi.54



*Charles Babbage (1860).*

Os governantes tinham perdido de vista o objetivo daquele investimento.

"O que precisamos fazer para nos livrarmos do sr. Babbage e de sua máquina calculadora?", escreveu o primeiro-ministro Robert Peel a um de seus conselheiros em agosto de 1842. "É claro que, se concluída, ela será inútil do ponto de vista científico. […] Na minha opinião, será apenas um brinquedo caríssimo." Ele não teve dificuldade para encontrar críticos de Babbage entre os funcionários do governo. Talvez o mais incisivo deles fosse George Biddell Airy, o Astrônomo Real, figura metódica e rígida que disse inequivocamente a Peel tudo aquilo que este desejava ouvir: que a máquina era inútil. E acrescentou o seguinte comentário pessoal: "Considero provável que ele viva em uma espécie de sonho quanto à utilidade do seu invento".55 O governo de Peel encerrou o projeto. Quanto ao sonho de Babbage, este sobreviveu. Já havia ocorrido uma nova virada em sua trajetória. A máquina de sua imaginação já tinha avançado para uma nova dimensão. E ele tinha conhecido Ada Byron.

No Strand, no extremo norte da galeria de compras Lowther, os visitantes rumavam em peso para a Galeria Nacional de Ciência Prática, "Misturando instrução e diversão", uma combinação de loja de brinquedos e espetáculo tecnológico criado por um empreendedor norte-americano. Pelo preço de um xelim, cobrado pela entrada, um visitante poderia tocar na "enguia elétrica", escutar palestras a respeito das mais novas ciências, e assistir a um modelo de

barco a vapor cruzando uma distância de 21 metros e à arma a vapor Perkins disparando uma saraivada de balas. Por um guinéu, o visitante poderia ser retratado por um "daguerreótipo", ou por uma máquina "fotográfica", possibilitando reproduções fidedignas e agradáveis de um semblante em "menos de Um Segundo".[56] Ou poderia ver, como fez a jovem Augusta Ada Byron, um tecelão demonstrar o funcionamento do tear automatizado Jacquard, no qual os padrões a ser entrelaçados no tecido eram codificados como buracos feitos em cartões de papelão.

Ada era "a filha do amor", escrevera o pai, "apesar de nascida na amargura e amamentada na turbulência".[57] Seu pai era um poeta. Quando ela tinha acabado de completar o primeiro mês de vida, em 1816, o já famoso lorde Byron, então com 27 anos, e a brilhante, rica e conhecedora da matemática Anne Isabella Milbanke (Anabella), 23 anos, separaram-se depois de um ano de casamento. Byron deixou a Inglaterra e nunca mais viu a filha. A mãe se recusou a contar a ela quem era seu pai até que a menina tivesse oito anos, depois que ele morreu na Grécia como celebridade internacional. O poeta tinha implorado para receber alguma notícia da filha: "A Menina tem imaginação? — na idade que *ela* deve ter agora, tenho a impressão de ter tido muitos sentimentos & noções nos quais as pessoas não acreditariam se eu os relatasse *hoje*".[58] Sim, ela tinha imaginação.

Ela era um prodígio, astuta na matemática, encorajada pelos professores, talentosa no desenho e na música, dotada de uma criatividade fantástica e profundamente solitária. Quando tinha doze anos, dedicou-se à tentativa de descobrir um método de voar. "Começarei minhas asas de papel amanhã",[59] escreveu ela à mãe. Ada esperava "trazer a arte do voo à mais elevada perfeição. Penso em escrever um livro de *Voologia* ilustrado com diagramas". Durante algum tempo assinou suas cartas como "seu querido Pombo Correio". Ela pediu à mãe que encontrasse um livro ilustrando a anatomia das aves, porque relutava "em dissecar até mesmo um pássaro". Ela analisava sua situação diária com uma preocupação com a lógica.

> A sra. Stamp deseja que eu diga que no momento ela não está muito satisfeita comigo por conta de um comportamento muito tolo demonstrado por mim ontem em relação a algo simples, descrito por ela como não apenas tolo, mas exemplar de um espírito desatento e, apesar de hoje ela não ter tido motivo

de insatisfação para comigo, no geral ainda diz que não pode afastar completamente a recordação do passado.60

Ela estava crescendo num claustro bem mantido, escolhido pela mãe. Teve anos de pouca saúde e um caso grave de sarampo, além de episódios daquilo que era chamado de neurastenia ou histeria. (“Quando me sinto fraca”, escreveu ela, “fico tão completamente aterrorizada, sem que *ninguém saiba o motivo*, a ponto de não conseguir evitar uma aparência & um comportamento de grande agitação.”[61]) Um tecido verde emoldurava o retrato do pai que pendia da parede de um dos quartos. Na adolescência, ela desenvolveu um interesse romântico pelo tutor, o que levou a certos episódios de passeios secretos pela casa e pelos jardins, bem como a momentos de amor tão íntimos quanto possível, sem envolver, nas palavras dela, nenhuma “conexão” real. O tutor foi demitido. Então, na primavera, usando cetim branco e tule, a jovem de dezessete anos fez seu ritual de debutante na corte, onde conheceu o rei e a rainha, os duques mais importantes, e o diplomata francês Talleyrand, a quem ela descreveu como um “macaco velho”.[62]

Um mês depois, Ada conheceu Charles Babbage. Com a mãe, ela foi ver aquilo que Lady Byron chamou de sua “máquina pensante”, a parte da Máquina Diferencial que era exibida em seu salão. Babbage viu uma jovem efervescente e dona de si, com traços de boneca de porcelana e um sobrenome famoso, e que conseguiu revelar mais conhecimentos sobre matemática do que a maioria dos homens que se formavam na universidade. Ela viu um impressionante homem de 41 anos, cujas sobrancelhas de sábio ancoravam o rosto de ossos fortes, dono de um charme e uma graça que ficavam bem evidentes em seu comportamento. Ele parecia ser um tipo de visionário — exatamente aquilo que ela estava procurando. A jovem também ficou admirada com a máquina dele. Um observador relatou:

Enquanto outros visitantes admiravam o funcionamento deste maravilhoso instrumento com o tipo de expressão — e, ouso dizer, o tipo de sentimento — que se diz ter sido encontrada em alguns selvagens ao verem uma lente de aumento ou ao ouvirem o disparo de um canhão, a srta. Byron, apesar da juventude, compreendia o funcionamento daquilo, e enxergou a grande beleza da invenção.63

A sensibilidade dela para a beleza e a abstração da matemática, alimentada em pequenos bocados por seus sucessivos tutores, estava à flor da pele. Não havia válvula de escape para tudo aquilo. As mulheres não podiam frequentar a universidade na Inglaterra nem participar de sociedades científicas (exceção feita aos casos da botânica e da horticultura).



*Augusta Ada Byron King, condessa de Lovelace, pintada em 1836 por Margaret Carpenter. "Concluo que a artista pretende mostrar toda a amplitude de meu espaçoso maxilar, sobre o qual acho que a palavra Matemática deveria ser escrita."*

Ada se tornou tutora das jovens filhas de uma das amigas de sua mãe. Quando escrevia a elas, Ada assinava "sua querida & indefensável Instrutora". Estudou Euclides sozinha. As formas se avolumavam em sua consciência. "Não posso me considerar conhecedora de uma proposição", escreveu ela a outro tutor, "até ser capaz de imaginar uma figura no espaço, e passar por sua construção & demonstração sem recorrer a nenhum livro nem outra forma de assistência."[64] E ela não conseguia esquecer Babbage, nem sua "joia em forma

de mecanismo”.[65] A outra amiga ela relatou sua “grande ansiedade em relação à máquina”. Muitas vezes, o olhar dela se voltava para dentro. Gostava de pensar em si mesma pensando.

O próprio Babbage tinha avançado para muito além da máquina em exibição em sua sala de desenho; estava planejando um novo mecanismo, ainda um motor de computação, mas transmutado numa nova espécie. Ele chamou a nova criação de Máquina Analítica. Aquilo que o motivava era uma silenciosa consciência das limitações da Máquina Diferencial: pelo simples somatório das diferenças, esta não era capaz de computar todo tipo de número nem de resolver todos os problemas matemáticos. Outra inspiração para ele era o tear exibido no Strand, inventado por Joseph-Marie Jacquard, controlado por instruções codificadas e armazenadas sob a forma de perfurações num cartão.

A atenção de Babbage não era atraída pelo produto da tecelagem, e sim pela codificação de padrões de um suporte para o outro. Os padrões acabavam formando peças adamascadas, mas antes eram “enviados a um peculiar artista”. Esse especialista, nas palavras dele,

> faz furos num conjunto de cartões de papelão de modo que, quando tais cartões são postos num tear Jacquard, estes fazem com que o tecido seja bordado exatamente com o padrão projetado pelo artista.[66]

A ideia de abstrair a informação de seu substrato físico exigia uma ênfase cuidadosa. Babbage explicou, por exemplo, que o tecelão poderia escolher diferentes tipos de fio e diferentes cores — “mas, em todos esses casos, a *forma* do padrão será precisamente a mesma”. Na concepção que Babbage fazia de sua máquina, esse mesmo processo de abstração era elevado a níveis cada vez mais avançados. Ele queria que as engrenagens e rodas dentadas lidassem não apenas com os números, mas com as variáveis que substituíam os números. As variáveis deveriam ser preenchidas ou determinadas pelo resultado de cálculos anteriores, e, mais além, as próprias operações — como adição ou multiplicação — deveriam ser alteráveis, dependendo dos resultados anteriores. Ele imaginou essas quantidades abstratas de informação sendo armazenadas em cartões: cartões de variáveis e cartões de operação. Concebeu a máquina como uma

encarnação de leis, e os cartões como a forma de comunicar tais leis. Na falta de um vocabulário disponível, ele achou estranho expressar os conceitos fundamentais nos quais sua ideia se baseava; por exemplo,

> como a máquina poderia realizar o julgamento às vezes necessário durante uma pergunta analítica, quando dois ou mais rumos se apresentavam, especialmente se o rumo adequado não pudesse ser conhecido até que toda a porção anterior tivesse sido calculada.67

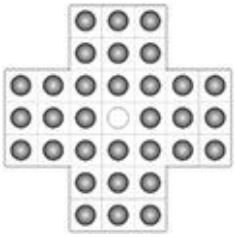
Mas ele deixou claro, no entanto, que a informação — representações de números e processos — tramitaria pela máquina. Ela passaria de certos locais físicos para outros locais físicos, batizados por Babbage de *store* (depósito), significando armazenamento, e de *mill* (mós), significando seu movimento.

Para tudo isso ele tinha agora a companhia intelectual de Ada, primeiro sua pupila e então sua musa. Ada se casou com um sensível e promissor aristocrata, William King, dez anos mais velho do que ela e pretendente favorito de sua mãe. No intervalo de poucos anos, ele foi elevado ao grau de nobre, tornando-se conde de Lovelace — o que fez de Ada uma condessa —, e ela, ainda com pouco mais de vinte anos, teve três filhos. Ada administrava os lares do casal em Surrey e Londres, praticava harpa durante horas por dia (“Sou no momento uma escrava condenada por *minha harpa*, uma tirana muito exigente”[68]), dançava nos bailes, conheceu a nova rainha, Victoria, e posou para um retrato, consciente de si (“Concluo que [a artista] pretende mostrar toda a amplitude de meu espaçoso maxilar, sobre o qual acho que a palavra Matemática deveria ser escrita”). Sofria de terríveis ataques de melancolia e tinha períodos de convalescença, incluindo um episódio de cólera. Seus interesses e seu comportamento ainda a tornavam uma mulher distinta das demais. Certa manhã, partiu sozinha de carruagem, vestida com roupas simples, para ver um modelo do “telégrafo elétrico” de Edward Davy no Exeter Hall

& a única outra pessoa presente era um senhor de meia-idade que decidiu se comportar como se o espetáculo fosse *eu* [ela escrevia à mãe], algo que obviamente considerei uma indecência imperdoável. — Estou certa de que ele me tomou por uma jovem (e algo bela, imagino que tenha pensado) governanta. […] Ele permaneceu lá por tanto tempo quanto eu, & então me seguiu quando saí. — Tomei o cuidado de parecer tão aristocrática & *semelhante a uma Condessa* quanto o possível. […] Preciso tentar parecer mais velha. […] Tenho vontade de sair & ver algo diferente a cada dia, & tenho certeza de que nunca esgotaria as curiosidades de Londres.69

Lady Lovelace adorava o marido, mas reservava boa parte de sua vida mental para Babbage. Ada tinha sonhos, sonhava acordada com algo que não poderia ser e algo que não poderia alcançar, a não ser de maneira indireta, por meio da genialidade dele. "Tenho uma *maneira* peculiar de *aprender*", escreveu Ada a ele, "& acho que é preciso um homem peculiar para me ensinar com sucesso."[70] Seu crescente desespero caminhava lado a lado com uma poderosa confiança em suas habilidades nunca testadas. "Espero que pense em mim", escreveu ela alguns meses depois, "quero dizer, em meus interesses matemáticos. O senhor sabe que esse é o maior favor que alguém pode me fazer. — Talvez nenhum de nós possa estimar *quão* maior. […]"

O senhor sabe que sou por natureza um pouco filósofa, & uma grande especuladora — de modo que olho para uma vista deveras imensurável, e apesar de nada ver além de vagas & enevoadas incertezas no primeiro plano de nosso ser, ainda assim creio discernir uma luz muito brilhante a uma distância maior, e isso faz com que me preocupe muito menos com a neblina & o opaco que estão próximos. — Serei imaginativa demais para o senhor? Creio que não.71



O matemático e lógico Augustus De Morgan, amigo de Babbage e de Lady Byron, tornou-se o professor de Ada por correspondência. Enviava exercícios para ela. Ada lhe devolvia perguntas, pensamentos e dúvidas ("gostaria de avançar mais rapidamente"; "sinto dizer que estou infelizmente obstinada pelo Termo no qual começa a Convergência"; "incluí minhas Demonstrações de *minha* opinião do caso"; "as Equações funcionais são uma coisa intangível para mim"; "Ainda assim tento manter em ordem minha

cabeça metafísica”). Apesar de sua ingenuidade, ou talvez por causa dela, ele reconheceu uma “capacidade de pensar […] absolutamente fora do comum para qualquer iniciante, homem ou mulher”. Ela havia dominado rapidamente a trigonometria e o cálculo integral e diferencial, e ele disse à mãe dela que, se tivesse encontrado “tamanha capacidade” num estudante de Cambridge, teria esperado “um pesquisador matemático original, talvez tão eminente quanto um matemático de primeira linha”.[72] Ela não tinha medo de se aprofundar até os princípios primordiais. Quando sentia dificuldades, era porque havia dificuldades reais em seu caminho.

Certo inverno ela se tornou obcecada por um enigma da moda conhecido como Resta Um, o Cubo Mágico de sua época. Trinta e dois pinos eram dispostos num tabuleiro com trinta e três buracos, e as regras eram simples: qualquer pino pode saltar sobre outro adjacente, e o pino saltado é removido, até que não seja mais possível nenhum salto. “Uma pessoa pode tentar milhares de soluções diferentes e ainda assim fracassar no jogo”, escreveu ela a Babbage, animada.

> *Encontrei* a saída por meio das tentativas & da observação & agora sou capaz de vencer quando quiser, mas quero saber se o problema admite adaptação a uma Fórmula matemática, & se pode ser resolvido dessa maneira. […] Deve haver um princípio definido, uma composição de propriedades numéricas & geométricas, imagino, da qual dependa a solução, & que possa ser escrita em linguagem simbólica.[73]

Uma solução formal para o jogo — a própria ideia de algo desse tipo era original. O desejo de criar uma linguagem de símbolos, na qual a solução pudesse ser codificada — essa maneira de pensar era a de Babbage, e ela sabia bem disso.

Ada considerou a crescente capacidade de sua mente, que, em sua própria opinião, não era estritamente matemática. Ela via a matemática apenas como parte de um mundo imaginativo mais amplo. As transformações matemáticas a lembravam

de certas ninfas & fadas sobre as quais lemos, que num minuto estão em nossos cotovelos numa determinada *forma*, & assumindo no minuto seguinte uma forma deveras dessemelhante; e às vezes podem ser surpreendentemente ilusórias, problemáticas & maravilhosas as fadas & ninfas matemáticas; como a descrição delas que encontrei no mundo da Ficção.74

*Imaginação* — a celebrada qualidade. Ela pensava em tudo isso; era a herança do pai nunca presente.

Falamos *muito* da imaginação. Falamos da Imaginação dos Poetas, da Imaginação dos Artistas & cia.; inclino-me a pensar que no geral não sabemos exatamente a respeito do *que* estamos falando. […]

É aquilo que penetra nos mundos invisíveis ao nosso redor, os mundos da Ciência. É aquilo que sente & descobre o que é, o *real* que não vemos, que não *existe* para nossos *sentidos*. Aqueles que aprenderam a caminhar no limiar dos mundos desconhecidos […] podem então com as leves asas brancas da Imaginação esperar voos cada vez mais altos rumo ao inexplorado em meio ao qual vivemos.75

Ela começou a acreditar que tinha uma missão divina a cumprir. Empregou essa mesma palavra, *missão*. "Tenho na consciência a forte impressão de que os Céus me designaram uma peculiar missão *intelectual-moral* a cumprir."[76] Ela possuía poderes. Confidenciou-se com a mãe:

Acredito possuir uma singularíssima combinação de qualidades perfeitamente adaptadas para fazer de mim *preeminentemente* uma descobridora das *realidades ocultas* da natureza. […] Essa crença chegou a mim pela *força*, & demorei muito até mesmo para admiti-la.

Ela listou suas qualidades:

Primeiro: Graças a certa peculiaridade de meu sistema nervoso, sou dotada da *percepção* de algumas coisas, algo que ninguém mais tem; ou pouquíssimas pessoas, se tanto. […] Alguns chamariam isso de percepção *intuitiva* das coisas ocultas; — ou seja, coisas escondidas dos olhos, dos ouvidos & dos sentidos comuns. […]

Segundo; — minhas imensas capacidades de raciocínio;

Terceiro; […] o poder não apenas de dedicar toda a minha energia & existência a qualquer coisa que escolher, mas também de tornar concreto qualquer tema ou ideia, um vasto aparato de todo tipo de fonte aparentemente irrelevante & externa. Posso lançar *raios* de cada canto do universo num *mesmo* foco amplo.

Ela reconheceu que isso soava a loucura, mas insistiu que estava sendo lógica e fria. Disse à mãe que agora conhecia o rumo que sua vida deveria seguir.

> *Que* montanha tenho de escalar! É suficiente para assustar qualquer um que não conte com uma energia insaciável & incansável, que desde minha primeiríssima infância representa uma praga na sua vida & também na minha. Entretanto, creio que esta finalmente encontrou alimento.77

Isso ela encontrou na Máquina Analítica.

Enquanto isso, Babbage, inquieto e onívoro, desviava suas energias para outra tecnologia em crescimento, a mais poderosa expressão do vapor, a estrada de ferro. A recém-formada Great Western Railway estava instalando os trilhos e preparando os testes dos motores de locomotivas de Bristol até Londres sob a supervisão de Isambard Kingdom Brunel, o brilhante engenheiro, que na época tinha apenas 27 anos. Brunel pediu ajuda a Babbage, que decidiu começar com um programa de coleta de informações — engenhoso e grandioso, como tudo o que fazia. Ele equipou um vagão de trem inteiro. Numa mesa suspensa especialmente construída, roldanas abriam folhas de papel de trezentos metros de comprimento, enquanto penas desenhavam linhas para “expressar” (palavra usada por Babbage) medidas da vibração e das forças sentidas pelo vagão em todas as direções. Um cronômetro marcava a passagem do tempo em metades de segundo. Ele cobriu dessa maneira três quilômetros de papel.

Enquanto percorria os trilhos, Babbage percebeu que um problema peculiar da locomoção a vapor estava no fato de ela ser mais rápida do que todos os meios anteriores de comunicação. Os trens perdiam de vista uns aos outros. Até que fosse imposta a mais regular e disciplinada organização a seus horários e trajetos, o risco acompanhava cada movimento. Certo domingo, Babbage e Brunel, operando locomotivas diferentes, só conseguiram evitar um choque entre ambos por muito pouco. Outras pessoas também se preocupavam com essa nova

lacuna entre a velocidade da viagem e a da transmissão da comunicação. Um importante banqueiro de Londres disse a Babbage que reprovava o invento: “Isso permitirá que nossos bancários peguem todo nosso dinheiro e fujam para Liverpool na tentativa de embarcar para a América à velocidade de trinta quilômetros por hora”.[78] Babbage pôde apenas expressar a esperança de que a ciência pudesse ainda inventar um remédio para o problema criado. (“Talvez disparemos raios para ultrapassar o culpado.”)

Quanto à sua nova máquina — aquela que não viajaria a parte nenhuma —, ele tinha descoberto uma excelente nova metáfora. Babbage disse que ela seria “uma locomotiva que instala os trilhos da própria estrada de ferro”.

Por maior que fosse sua amargura em relação ao minguante interesse da Inglaterra em seus planos visionários, Babbage encontrou admiradores no continente, principalmente na Itália — “o país de Arquimedes e Galileu”, como dizia aos novos amigos. No verão de 1840, ele reuniu suas pilhas de desenhos e viajou, passando por Paris e Lyon, onde viu o grande tear Jacquard na Manufacture d’Étoffes pour Ameublements et Ornements d’Église, até chegar a Turim, capital da Sardenha, para participar de uma reunião de matemáticos e engenheiros. Lá fez sua primeira (e última) apresentação pública da Máquina Analítica. “A descoberta da Máquina Analítica está muito à frente de meu país e, pelo que temo, à frente até de nossa época”,[79] disse ele. Babbage conheceu o rei da Sardenha, Carlos Alberto, e, o mais importante, um ambicioso jovem matemático chamado Luigi Menabrea. Posteriormente, Menabrea se tornaria general, diplomata e primeiro-ministro da Itália. Na época ele preparava um estudo científico, “Notions sur la machine analytique”,[80] para apresentar o plano de Babbage a uma comunidade mais ampla de filósofos europeus.

Assim que isso chegou a Ada Lovelace, ela começou a tradução para o inglês, corrigindo os erros com base em seu conhecimento. Ela o fez por conta própria, sem contar a Babbage nem a Menabrea.

Quando finalmente mostrou a Babbage o rascunho que havia preparado, ele respondeu com entusiasmo, insistindo para que ela expusesse as próprias ideias, e a extraordinária colaboração entre ambos teve início com força total. Trocavam cartas por mensageiros que chegavam e partiam de Londres num ritmo feroz —

“Meu Querido Babbage” e “Minha Querida Lady Lovelace” — e passaram a se encontrar sempre que podiam na casa dela em St. James’s Square. O ritmo era quase frenético. Apesar de ser ele a eminência, comparados seus 51 anos aos 27 dela, foi ela quem assumiu o comando, misturando ordens austeras com comentários brincalhões e provocativos. “Quero que me responda a seguinte pergunta a tempo de me enviá-la pelo mesmo carteiro”; “Tenha a bondade de redigir isto adequadamente para mim”; “Foste um pouco desleixado e impreciso”; “Gostaria que fosses tão preciso e tão confiável quanto eu”. Ada propôs assinar a própria obra com suas iniciais — evitando usar algo tão óbvio quanto seu nome — não para “*proclamar* a autoria do trabalho”, e sim apenas para “*individualizar* e *identificar* o trabalho com as demais produções de A. A. L.”.[81]

A exposição dela assumiu a forma de notas designadas por letras de A a G, estendendo-se por quase três vezes o número de páginas do ensaio de Menabrea. Nelas era oferecida uma visão do futuro mais geral e mais presciente do que qualquer uma das expressas pelo próprio Babbage. Qual era o alcance de sua generalidade? A máquina não se limitava a calcular; ela realizava *operações*, disse Ada, definindo como operação “qualquer processo que altere a relação mútua entre duas ou mais coisas”, e declarando: “Esta é a definição mais geral, e incluiria todos os objetos do universo”.[82] Na concepção dela, tal ciência das operações

> é uma ciência em si, tendo seus próprios valor e verdade abstratos; assim como a lógica tem seu valor e sua verdade peculiares, independentemente dos objetos aos quais possamos aplicar seus raciocínios e processos. […] Uma das principais razões pelas quais a natureza distinta da ciência das operações foi pouco sentida, e em geral pouco abordada, está no significado *mutável* de muitos dos símbolos usados.

*Símbolos* e *significado*: ela estava se referindo com todas as letras a algo além da matemática propriamente dita. A máquina “pode responder a outros elementos além do *número*”. Babbage tinha inscrito numerais naqueles milhares de mostradores, mas o funcionamento deles poderia representar símbolos de maneira mais abstrata. A máquina poderia processar quaisquer relações significativas. Poderia manipular a linguagem. Poderia criar música.

> Supondo, por exemplo, que as relações fundamentais dos sons tonais na ciência da harmonia e da composição musical fossem suscetíveis a esse tipo de expressão e adaptação, a máquina poderia compor peças musicais elaboradas e científicas de qualquer grau de complexidade ou duração.

O que fora concebido como uma máquina de números agora se tornava uma máquina de informação. A. A. L. compreendeu isso de maneira mais instintiva e imaginativa que o próprio Babbage. Ela explicou aquela criação possível, hipotética e virtual como se já existisse:

> A Máquina Analítica não se encontra no mesmo nível das meras "máquinas calculadoras". Ela guarda uma posição que é única. […] Uma nova linguagem, vasta e poderosa, é desenvolvida […] na qual se torna possível munir-se de suas verdades de modo que estas sejam de aplicação prática mais ágil e precisa para os intuitos da humanidade do que aquilo que os meios hoje à nossa disposição possibilitaram. Assim, não apenas o mental e o material, mas o teórico e o prático no mundo da matemática são trazidos a uma conexão mais íntima e efetiva uns com os outros.
>
> […] Podemos afirmar que a Máquina Analítica *tece padrões algébricos* assim como o tear Jacquard tece flores e folhas.83

Ela assumiu plena responsabilidade por esse voo da imaginação. "Se o inventor dessa máquina tinha visões como essas quando trabalhava em sua obra, ou se um dia pensou algo parecido em seu desenvolvimento, não sabemos; mas trata-se de algo que ocorreu forçosamente a nós."

Ela foi do poético ao prático. Ada deu início a uma notável excursão por um programa hipotético por meio do qual a máquina hipotética poderia computar uma famosa série infinita profundamente arraigada, os números Bernoulli. Tais números surgem da soma de números de 1 a $n$ elevados a potências integrais, e ocorrem sob várias formas por toda a teoria dos números. Nenhuma fórmula direta resulta neles, mas é possível chegar a esse grupo de maneira metódica, por meio da expansão de certas formas a graus cada vez mais avançados, buscando os coeficientes a cada passo sucessivo. Ela começou com exemplos: o mais simples, escreveu ela, seria a expansão de

$$\frac{x}{\in^{x} - 1} = \frac{1}{1 + \frac{x}{2} + \frac{x^2}{2 \cdot 3} + \frac{x^3}{2 \cdot 3 \cdot 4} + \&c.}$$

e outra abordagem seria por meio de

$$B_{2n-1} = \frac{\pm 2^{n}}{(2^{2n} - 1)2^{n-1}} \left\{ \begin{array}{l} \frac{1}{2} n^{2n-1} \\ - (n-1)^{2n-1} \left\{ 1 + \frac{1}{2} \cdot \frac{2n}{1} \right\} \\ + (n-2)^{2n-1} \left\{ 1 + \frac{1}{2} + \frac{1}{2} \cdot \frac{2n \cdot (2n-1)}{1 \cdot 2} \right\} \\ - (n-3)^{2n-1} \left\{ \begin{array}{l} 1 + \frac{2n}{1} + \frac{2n \cdot (2n-1)}{1 \cdot 2} + \\ + \frac{1}{2} \cdot \frac{2n \cdot (2n-1) \cdot (2n-2)}{1 \cdot 2 \cdot 3} \end{array} \right\} \\ + \ldots \quad \ldots \quad \ldots \quad \ldots \end{array} \right\}$$

mas ela preferia um rumo mais desafiador, porque “nosso objetivo não é a simplicidade […] e sim a ilustração dos poderes da máquina”.

Ada criou um processo, um conjunto de regras, uma sequência de operações. Num outro século isso seria chamado de algoritmo e, posteriormente, programa de computador, mas, por enquanto, o conceito exigia uma detalhada explicação. A parte mais difícil era o fato de o algoritmo de Ada ser recursivo. Ele funcionava num círculo contínuo. O resultado de uma repetição alimentava a seguinte. Babbage tinha feito uma alusão a esse processo dizendo que “a Máquina devora a própria cauda”.[84] A. A. L. explicou:

> Percebemos com facilidade que, como cada função sucessiva é disposta em série seguindo a mesma lei, haveria um ciclo de um ciclo de um ciclo, & cia. […] A questão é tão excessivamente complicada que talvez possamos esperar que seja acompanhada por poucas pessoas. […] Ainda assim trata-se de um caso muito importante relacionado à máquina, e sugere ideias peculiares a si mesmo, coisa que nos arrependeríamos de ignorar completamente sem fazer alusão a elas.[85]

Uma ideia central era a entidade que ela e Babbage chamaram de *variável*. As variáveis eram, em termos de hardware, as colunas de mostradores numéricos da máquina. Mas havia também “cartões de variáveis”. Em termos de software eles eram uma espécie de receptáculo ou envelope, capazes de representar, ou armazenar, um número de muitas casas decimais. (“O que há num nome?”,

escreveu Babbage. “Este não passa de um cesto vazio até que associamos algo a ele.”) As variáveis eram as unidades de informação da máquina. Tratava-se de algo bastante diferente da variável algébrica. Como explicou A. A. L.: “A origem da escolha desse termo está no fato de as colunas serem destinadas a sofrer alterações, ou seja, a variar, de todas as maneiras possíveis”. Os números *viajaram*, na prática, dos cartões de variáveis para as variáveis, das variáveis para as mós (para serem submetidos às operações), das mós ao depósito. Para solucionar o problema de gerar os números de Bernoulli, ela coreografou uma intrincada dança. Trabalhou dias, às vezes se prolongando noite adentro, mandando mensagens a Babbage do outro lado de Londres, lutando contra uma doença e suas terríveis dores, com a consciência funcionando em ritmo frenético:

> Este meu *Cérebro* é algo além do meramente *mortal*; como o tempo vai mostrar; (se ao menos minha *respiração* & outros et-ceteras não progredirem demasiadamente rápido no sentido de se *aproximarem* da mortalidade, em lugar de se *afastarem* dela).
>
> Antes de transcorridos dez anos, concluirei que é o Diabo que a habita se não tiver sugado parte da essência vital dos mistérios deste universo, de uma foma que lábios e cérebros puramente mortais não seriam capaz de fazer.
>
> Ninguém conhece a energia & o poder quase *terríveis* que jazem ainda subdesenvolvidos naquele *rijo* sistema que concebi. Digo *terríveis* porque podemos imaginar aquilo que tal força *poderia* ser sob certas circunstâncias. […]
>
> Teimo em atacar & decantar até o fundo todas as diferentes maneiras de dedução dos números de Bernoulli. […] Estou me debatendo com esse tema & *conectando-o* a outros.86

Ela estava programando a máquina. Programou-a em sua consciência, pois a máquina ainda não existia. As complexidades encontradas por ela pela primeira vez se tornariam familiares aos programadores do século seguinte:

> Como são múltiplas e mutuamente complicadas as considerações envolvidas no funcionamento de uma máquina como esta. Há com frequência numerosos conjuntos distintos de efeitos ocorrendo simultaneamente; todos de certa maneira independentes uns dos outros, e, num grau maior ou menor, exercendo uma influência mútua uns sobre os outros. Ajustar cada um deles a cada um dos outros, e até mesmo discerni-los e delimitá-los com perfeição e sucesso, é algo que acarreta dificuldades cuja natureza está até certo ponto relacionada àquelas envolvidas em cada questão na qual as condições são

muito numerosas e intercomplicadas.87

Ela relatou suas descobertas a Babbage: “Estou muito perplexa por ter me envolvido num atoleiro & incômodo tão fascinante”.88 E, nove dias mais tarde: “Vejo que meus planos & ideias seguem ganhando clareza, assumindo cada vez mais uma forma *cristalina* & deixando para trás seu estado *nebuloso*”.89 Ela sabia que tinha alcançado algo inteiramente novo. Dez dias mais tarde, debatendo as provas finais com a gráfica “Mr Taylors Printing Office”, em Fleet Street, ela declarou:

> Não acho que você possua metade de *minha* capacidade de previsão & nem de meu poder de enxergar todas as contingências *possíveis* (*prováveis* & *improváveis*, igualmente). — […] *Duvido* que meu pai tenha sido (ou que sequer pudesse ser) um *Poeta* de estatura comparável à minha como a *Analista* (& Metafísica) que *serei*; pois, para mim, as duas coisas caminham juntas, indissoluvelmente.90

Quem teria usado uma máquina como aquela? Não era para caixeiros nem lojistas, disse o filho de Babbage muitos anos depois. A aritmética básica nunca foi seu propósito — “Teria sido como usar uma prensa a vapor para esmagar uma amêndoa”.91 Ele parafraseou Leibniz: “Não foi feita para aqueles que vendem legumes ou pequenos peixes, e sim para os observatórios, ou para os domínios privados dos calculadores, ou para outros que possam arcar com a despesa sem dificuldades e que precisem de um considerável poder de cálculo”. A máquina de Babbage não fora bem compreendida, nem pelo governo de seu país nem pelos muitos amigos que passaram por seu salão, mas, com o tempo, sua influência chegou longe.

Nos Estados Unidos, um país que fervilhava de invenções e otimismo científico, Edgar Allan Poe escreveu: “O que pensaremos a respeito da máquina calculadora do sr. Babbage? O que pensaremos de uma máquina de madeira e metal capaz de […] produzir a exatidão em suas operações com precisão matemática por meio de seu poder de correção dos possíveis erros?”.92 Ralph Waldo Emerson tinha conhecido Babbage em Londres e declarado em 1870: “O

vapor é um sábio capaz e um sujeito dotado de imensa força física, mas ainda não desempenhou todo o seu trabalho”.[93]

> Ele já caminha pelo campo como um homem, e fará tudo aquilo que exigirmos dele. Irrigar a colheita, mover uma montanha. Ele precisa costurar nossas camisas, impulsionar nossas carruagens; ensinado pelo sr. Babbage, ele precisa calcular juros e logaritmos. […] E ainda vai nos proporcionar muitos serviços mais elevados do tipo mecânico-intelectual.

Suas maravilhas eram recebidas também com reprovação. Alguns críticos temiam uma rivalidade entre máquina e consciência. “Que sátira do pobre matemático é esta máquina!”,[94] disse Oliver Wendell Holmes Senior. “Um monstro de Frankenstein, uma coisa sem cérebro e sem coração, estúpida demais para cometer um comentário absurdo; que produz resultados como uma colheitadeira de milho, sem nunca se tornar mais sábia nem melhor, por mais que tenha moído mil pés deste cereal!” Todos eles falavam como se a máquina fosse real, mas ela nunca foi construída. Permaneceu prostrada diante de seu próprio futuro.

Num ponto intermediário entre a época dele e a nossa, o *Dictionary of National Biography* concedeu a Charles Babbage um breve verbete — quase completamente desprovido de relevância e consequência:

> matemático e cientista matemático; […] obteve recursos do governo para criar uma máquina calculadora […] mas a obra de construção cessou, em decorrência de brigas com o engenheiro; ofereceu ao governo um projeto aprimorado, que foi recusado por causa de seu custo; […] professor Lucasiano de matemática, em Cambridge, embora nunca tenha dado aulas.

Os interesses de Babbage, que tanto se afastavam da matemática, parecendo tão variados, possuíam afinal um fio comum que nem ele nem seus contemporâneos foram capazes de perceber. Suas obsessões não pertenciam a nenhuma categoria — quero dizer, a nenhuma das categorias já existentes. O

verdadeiro tema de seu trabalho era a informação: transmissão de mensagens, codificação, processamento.

Babbage assumiu duas tarefas complicadas e ao que tudo indicava pouco filosóficas, que ele mesmo destacou estarem profundamente ligadas uma à outra: abrir trancas sem as chaves e decifrar códigos. Nas palavras dele, decifrar era "uma das mais fascinantes dentre as artes, e temo ter desperdiçado com ela mais tempo do que seria merecido".[95] Para racionalizar o processo, ele se dedicou a fazer uma "análise completa" da língua inglesa. Criou conjuntos de dicionários especiais: listas das palavras de uma letra, duas letras, três letras e assim por diante; e listas de palavras ordenadas pela letra inicial, pela segunda letra, pela terceira e assim por diante. Com tudo isso à mão, desenvolveu metodologias para solucionar charadas com anagramas e quadrados de palavras.

Nos anéis concêntricos formados pelas cascas das árvores, ele viu a natureza codificando mensagens a respeito do passado. Uma lição profunda: uma árvore registra um conjunto complexo de informações em sua substância sólida.

> Cada tempestade que cai, cada mudança que ocorre na temperatura, e cada vento que sopra deixam no mundo vegetal os traços de sua passagem; muito discretos, e talvez imperceptíveis para nós, mas não menos permanentemente registrados nas profundezas daqueles tecidos lenhosos.[96]

Nos ateliês de Londres, ele tinha observado tubos falantes, feitos de latão, "por meio dos quais as instruções do superintendente são instantaneamente transmitidas às seções mais remotas". Ele classificou essa tecnologia como uma contribuição à "economia de tempo" e sugeriu que ninguém ainda havia descoberto um limite para a distância através da qual as mensagens faladas poderiam viajar. Babbage fez um rápido cálculo: "Admitindo que [a comunicação] seja possível entre Londres e Liverpool, cerca de dezessete minutos se passariam antes que as palavras ditas numa extremidade chegassem ao outro extremo do tubo".[97] Na década de 1820, ele teve uma ideia para a transmissão de mensagens escritas, "contidas em pequenos cilindros transportados por fios suspensos por postes, e por torres, ou pelos campanários das igrejas",[98] e construiu um modelo funcional em sua casa de Londres.

Acabou obcecado por outras variações do tema do envio de mensagens atravessando as maiores distâncias possíveis. O carregamento do correio que saía todas as noites de Bristol pesava menos de 45 quilos, destacou ele. Para que essas mensagens fossem enviadas a uma distância de 193 quilômetros, "uma carruagem de aparato completo, pesando uma tonelada e meia, é posta em movimento, sendo também transmitida pelo mesmo espaço".[99] Que desperdício! Ele sugeriu que, em vez disso, imaginássemos que as cidades atendidas pelo correio fossem ligadas por uma série de altos pilares erguidos a intervalos de aproximadamente trinta metros. Fios de aço se estenderiam de um pilar ao outro. Dentro das cidades, os campanários das igrejas poderiam servir como pilares. Caixas de latão com rodas percorreriam os fios carregando conjuntos de cartas. O custo seria "comparativamente trivial", disse ele, "e não seria impossível que o próprio fio esticado se tornasse o veículo de uma espécie de comunicação telegráfica, ainda mais ágil".

Durante a Grande Exposição de 1851, quando a Inglaterra mostrou seus feitos industriais num Palácio de Cristal, Babbage pôs uma lamparina a óleo com um obturador móvel numa janela do andar de cima em Dorset Street para criar um aparato da "luz oculta", que piscava para os transeuntes formando sinais codificados. Ele projetou um sistema padronizado para ser usado pelos faróis no envio de sinais numéricos e enviou doze cópias do material às "autoridades competentes nos grandes países marítimos", nas palavras dele. Nos Estados Unidos, o Congresso aprovou o investimento de 5 mil dólares para um programa de testes do sistema de Babbage. Ele estudou a possibilidade de sinais solares e "sinais luminosos de zênite" transmitidos por espelhos, e sinais cronológicos a partir do meridiano de Greenwich para ser transmitidos aos navegantes.[100] Para a comunicação entre navios encalhados e as equipes de resgate na praia, ele propôs que todos os países adotassem uma lista padronizada composta de uma centena de perguntas e respostas, designadas por números, "que seriam impressas em cartões, e afixadas em diferentes partes de cada embarcação". Ele sugeriu que sinais parecidos poderiam ajudar o Exército, a polícia, o transporte ferroviário e até vizinhos no interior, "para vários propósitos sociais".

Esses propósitos não eram nada óbvios. "Para quais propósitos o telégrafo

elétrico será útil?”, perguntou o rei da Sardenha, Carlos Alberto, a Babbage em 1840. Babbage procurou em sua consciência um exemplo ilustrativo, “e por fim destaquei a probabilidade de, por meio dos telégrafos elétricos, a frota de sua Majestade receber alertas de tempestades que se aproximam […]”.

> Isso levou a uma nova teoria das tempestades, que deixou o rei muito curioso. Gradualmente, tentei tornar a proposta mais clara. Citei, como exemplo, uma tempestade que ocorrera pouco tempo antes da minha partida da Inglaterra. O estrago provocado por ela em Liverpool foi grande e, em Glasgow, imenso. […] Acrescentei que, se houvesse comunicação telegráfica entre Gênova e alguns outros lugares, Glasgow poderia ter recebido informações de uma dessas tempestades 24 horas antes da sua chegada.101

Quanto à máquina, ela teve de ser esquecida antes de ser lembrada. Não teve descendentes óbvios. Voltou a materializar-se como um tesouro enterrado e inspirou um sentimento de estupefação maravilhada. Com a era dos computadores em plena força, a historiadora Jenny Uglow sentiu nas máquinas de Babbage “um tipo diferente de anacronismo”.[102] Ela escreveu que invenções fracassadas como aquelas continham “ideias que jazem como antigos projetos cujo papel amarela nos armários escuros, nos quais as gerações futuras acabam tropeçando”.

Criada originalmente para gerar tabelas de números, a máquina acabou, em sua encarnação moderna, tornando obsoletas as tabelas de números. Será que Babbage vislumbrou isso? Ele se perguntou qual seria o uso que o futuro encontraria para sua visão. Adivinhou que meio século transcorreria antes que alguém tentasse novamente criar uma máquina computadora para múltiplos propósitos. Na verdade, foi necessária a maior parte de um século para que o substrato tecnológico necessário fosse estabelecido. “Se, desavisado de meu exemplo”, escreveu ele em 1864,

> um homem decidir se dedicar e for capaz de obter sucesso na construção de uma máquina encarnando em si todo o departamento executivo de análise matemática por diferentes princípios ou por meios mecânicos mais simples, não temo deixar minha reputação a seu cargo, pois somente ele será plenamente capaz de reconhecer a natureza de meus esforços e o valor de seus resultados.103

Ao olhar para o futuro, ele enxergou um papel especial para uma verdade acima de todas as outras: “a máxima segundo a qual o conhecimento é poder”. Babbage compreendeu isso literalmente. O conhecimento “é em si uma fonte de força física”, declarou. A ciência deu ao mundo o vapor, e ele suspeitou que logo se voltaria para o poder menos tangível da eletricidade: “[A ciência] já quase conseguiu agrilhoar o fluido etéreo”. E ele viu ainda mais longe:

> É a ciência do *cálculo* — que se torna cada vez mais necessária a cada passo do progresso, e que deve finalmente governar a totalidade das aplicações da ciência às artes da vida.

Alguns anos antes de sua morte, ele disse a um amigo que trocaria com alegria o tempo que lhe restava pela oportunidade de viver por três dias num período cinco séculos distante no futuro.

Quanto à sua jovem amiga Ada, condessa de Lovelace, ela morreu muitos anos antes dele — uma morte lenta e torturante, decorrente de um câncer no útero, que provocou nela uma agonia que o láudano e a *cannabis* mal podiam aliviar. Durante muito tempo, sua família ocultou dela a verdade a respeito de sua doença. No fim ela soube que estava morrendo. “Dizem que ‘*eventos vindouros projetam suas sombras antecipadamente*’”,[104] escreveu ela à mãe. “Será que não poderiam também projetar suas *luzes* antecipadamente?” Ela foi enterrada ao lado do pai.

Ada também teve um último sonho do futuro: “tornar-me *com o tempo* uma *Autocrata*, à minha própria maneira”.[105] Ela pensava em regimentos desfilando diante dos seus olhos. Aqueles que governavam o mundo com mão de ferro teriam de ceder. E em que consistiriam os regimentos dela?

> Não pretendo revelar isso no momento. Mantenho, entretanto, a esperança de que serão soldados muito *harmoniosamente* disciplinados; — consistindo em vastos *números*, & marchando com uma força irresistível ao som da *Música*. Não acha isso muito misterioso? Certamente minhas tropas seriam formadas por *números*, caso contrário não poderão existir. […] Mas *o que* são esses *Números*, afinal? Eis aí uma charada…

a Leibniz tinha o grandioso sonho da mecanização da álgebra e até da própria razão. “Podemos nos ver fazendo à máquina o elogio final”, escreveu ele. “Será algo desejado por todos aqueles envolvidos na computação […] os administradores de questões financeiras, os gestores das propriedades alheias, mercadores, inspetores, geógrafos, navegadores, astrônomos. […] Pois é indigno dos melhores homens perder horas feito escravos no esforço do cálculo.” “Machina arithmetica in qua non additio tantum et subtractio sed et multipicatio nullo, divisio vero paene nullo animi labore peragantur”. Trad. de M. Kormes, 1685. Em D. E. Smith, *A Source Book in Mathematics*. Nova York: McGraw-Hill, 1929. p. 173.

b Equivalente ao Censo. (N. T.)

c Outro convidado, Charles Dickens, pôs algo de Babbage no personagem Daniel Doyce em *A pequena Dorrit*. Doyce é um inventor maltratado pelo governo ao qual busca servir: “Ele é muito conhecido por sua engenhosidade. […] É incumbido de aperfeiçoar um invento (envolvendo um curioso processo secreto) de grande importância para o país e seus semelhantes. Não sei o quanto isso lhe custou, nem quantos anos de sua vida foram dedicados à tarefa, mas ele conseguiu torná-lo perfeito”. Dickens acrescentou: “Uma autossustentação contida e discreta era visível em Daniel Doyce — uma serena consciência de que aquilo que era verdadeiro deveria necessariamente permanecer verdadeiro”.

# 5. Um sistema nervoso para a Terra

## (*O que se pode esperar de um desprezível punhado de fios?*)

> *Será um fato — ou um sonho que tive — que, por meio da eletricidade, o mundo da matéria se tornou um grande nervo, vibrando por milhares de quilômetros em frações de segundo? Dito de outra maneira, o globo terrestre é uma vasta cabeça, um cérebro, profundamente imbuído de inteligência! Ou, diríamos, é ele próprio um pensamento, nada além de um pensamento, e não mais a substância que considerávamos que fosse!*
>
> Nathaniel Hawthorne, 18511

Três funcionários num pequeno cômodo no andar de cima da estação ferroviária de Jersey City administravam todo o tráfego telegráfico da cidade de Nova York em 1846, e não precisavam trabalhar muito.[2] Cuidavam de uma das extremidades de um único par de fios que conduziam a Baltimore e Washington. As mensagens que chegavam eram escritas à mão, transmitidas por balsa até a outra margem do rio Hudson, até o píer de Liberty Street, e entregues ao primeiro escritório da Magnetic Telegraph Company, no número 16 de Wall Street.

Em Londres, onde a barreira representada pelo rio impunha menos dificuldades, investidores capitalistas formaram a Electric Telegraph Company e começaram a instalar os primeiros fios de cobre, retorcidos em cabos, cobertos com guta-percha, e passados por tubos de ferro, em geral acompanhando os novos trilhos da estrada de ferro. Para abrigar seu escritório central, a empresa alugou o Founder’s Hall, em Lothbury, em frente ao Banco da Inglaterra, e anunciou sua presença instalando um relógio elétrico — moderno e pertinente, pois o tempo nas estradas de ferro já era o tempo telegráfico. Em 1849, o escritório telegráfico já contava com oito instrumentos, operados dia e noite. A energia era proporcionada por quatrocentas baterias. “Vemos diante de nós uma parede de estuque, ornamentada com um relógio elétrico iluminado”, relatou Andrew Wynter, um jornalista, em 1854. “Quem imaginaria que por trás dessa fina testa jaz o grande cérebro — se é que podemos chamá-lo assim — do sistema nervoso da Grã-Bretanha?”[3] Ele não foi o primeiro nem seria o último a

comparar o telégrafo elétrico a uma fiação biológica: equiparando cabos a nervos; o país, ou o planeta todo, ao corpo humano.[4]

A analogia associou um fenômeno complexo a outro. A eletricidade era um enigma envolvido num mistério que beirava a magia, e tampouco havia alguém que compreendesse os nervos. Sabia-se ao menos que os nervos conduziam uma forma de energia e, assim sendo, talvez servissem como conduítes do controle exercido pelo cérebro sobre o corpo. Anatomistas que estudavam as fibras dos nervos imaginavam se eles seriam isolados por algum tipo de guta-percha produzida pelo próprio corpo. Talvez os nervos não fossem apenas *como* os fios — talvez *fossem* fios, transportando mensagens das regiões ocultas para o domínio do sensorial. Em seu *Elementos da Eletrobiologia*, de 1849, Alfred Smee comparou o cérebro a uma bateria e os nervos a "biotelégrafos".[5] Como toda metáfora usada com exagero, esta logo foi parar nos domínios da sátira. Em Menlo Park, o repórter de um jornal, ao encontrar Thomas A. Edison debilitado por uma forte gripe, escreveu: "O doutor chegou e o examinou, explicou a relação entre os nervos trigeminais e sua analogia com um telégrafo elétrico de três fios, e observou casualmente que, na neuralgia facial, cada dente poderia ser considerado uma estação telegráfica com um operador".[6] Quando chegou o telefone, a analogia foi reforçada. "Está chegando o momento", decretou a *Scientific American* em 1880, "em que os membros espalhados das comunidades civilizadas serão unidos com tanta proximidade, no que diz respeito à comunicação telefônica instantânea, como são unidos agora os vários membros do corpo pelo sistema nervoso."[7] Levando em consideração o quanto a analogia era especulativa, seu resultado surpreendeu. Os nervos de fato transmitem mensagens, e o telégrafo e o telefone de fato começaram a fazer com que, pela primeira vez, a sociedade humana se assemelhasse a um organismo coerente.

Em seus primeiros dias, esses inventos inspiraram uma empolgação sem precedentes nos anais da tecnologia. A excitação passou de um lugar para o outro por meio dos jornais diários e das revistas mensais e, como seria mais adequado, dos próprios fios. A sensação de um novo futuro emergiu: a noção de que o mundo estava em mudança, de que a vida de nossos filhos e netos seria muito diferente, e tudo por causa dessa força e seus empregos. "A eletricidade é

a poesia da ciência”,[8] declarou um historiador americano em 1852.

Não que as pessoas soubessem o que era a eletricidade. “Um agente invisível, intangível e imponderável”,[9] segundo um especialista. Todos concordavam que ela envolvia uma “condição peculiar”, fosse nas moléculas ou no éter (outro conceito nebuloso, fadado a desaparecer). No século xvii, Thomas Browne descreveu as emanações elétricas como “fios de xarope, que se alongam e se contraem”. No século xviii, o empinador de pipas Benjamin Franklin provou “a identidade entre raio e eletricidade” — vinculando aquelas temíveis cargas disparadas pelo céu às estranhas faíscas e correntes terrestres. Franklin seguiu o abade Jean-Antoine Nollet, filósofo natural e homem um tanto espetaculoso, que disse em 1748: “A eletricidade em nossas mãos é como o trovão nas mãos da natureza”, e, para prová-lo, organizou um experimento empregando uma garrafa de Leiden e um fio de ferro para fazer um choque percorrer os corpos de duzentos monges cartuxos dispostos num círculo de mais de um quilômetro e meio de circunferência. A partir dos saltos, tremeliques, espasmos e gritos quase simultâneos dos monges, os observadores julgaram que a mensagem — seu conteúdo informacional era pequeno, mas maior que zero — percorria o círculo a uma velocidade fantástica.

Posteriormente, foi Michael Faraday, na Inglaterra, quem fez mais do que qualquer um no sentido de transportar a eletricidade do campo da magia para o da ciência, mas, mesmo assim, em 1854, quando Faraday estava no auge de suas pesquisas, Dionysius Lardner, autor científico que tanto admirava Babbage, poderia declarar com justiça: “O Mundo da Ciência não chegou a um acordo quanto às características físicas da Eletricidade”.[10] Alguns acreditavam que esta seria um fluido “mais leve e mais sutil” do que qualquer gás; outros suspeitavam que se tratasse de um composto de dois fluidos “de propriedades antagônicas”; e outros ainda acreditavam que a eletricidade nada tinha de fluido, sendo na verdade algo análogo ao som: “uma série de ondulações ou vibrações”. A *Harper’s Magazine* alertou que “corrente” era apenas uma metáfora e acrescentou, misteriosamente: “Não devemos pensar na eletricidade como algo que carrega a mensagem que escrevemos, e sim como aquilo que permite ao operador no extremo oposto da linha escrever uma mensagem similar”.[11]

Fosse qual fosse sua natureza, a eletricidade era reconhecida como uma força natural posta sob o controle humano. O *Times*, um jovem jornal de Nova York, explicou-a por meio do contraste em relação ao vapor:

> Ambos são agentes poderosos — e até formidáveis — obtidos a partir da natureza pela habilidade e pelo poder do homem. Mas a eletricidade é de longe a energia mais sutil dentre as duas. Trata-se de um elemento original da natureza, enquanto o vapor é uma produção artificial. […] Combinada ao magnetismo, a eletricidade é um agente mais subjetivo e, quando evoluída para a transmissão, mostra-se pronta para avançar, uma mensageira segura e eficiente capaz de chegar aos confins do mundo habitável.12

Retrospectivamente, os rapsodos encontraram uma previsão da era moderna num versículo do livro de Jó: “Despachas os raios, e eles vêm e te dizem: ‘Aqui estamos’?”.[13]

Mas os raios não *disseram* nada — eles impressionavam, estalavam e queimavam, mas seria necessária certa ingenuidade para acreditar que transmitiam uma mensagem. Nas mãos do homem, a eletricidade não foi capaz de produzir muita coisa de início. Não era capaz de alimentar uma luz mais forte do que uma faísca. Era silenciosa. Mas podia ser transmitida por fios até grandes distâncias — isso foi descoberto logo — e parecia transformar os fios em ímãs não muito potentes. Tais fios podiam ser compridos: ninguém tinha descoberto um limite para o alcance da corrente elétrica. Não demorou nada para que fosse percebido o significado disso para o antigo sonho da comunicação de longas distâncias. Era a descoberta de agulhas sintonizadas.

Havia problemas práticos a ser resolvidos: fazer fios, providenciar isolamento para eles, armazenar correntes, medi-las. Todo um domínio da engenharia teve de ser inventado. E além da engenharia havia um problema a mais: a questão da mensagem em si. Era mais um enigma lógico do que uma charada técnica. Tratava-se de transcender níveis, do cinético para o do significado. Qual forma a mensagem assumiria? Como o telégrafo faria para converter esse fluido em palavras? Por virtude do magnetismo, a influência propagada por uma distância poderia afetar objetos físicos, como agulhas, ou limalha de ferro, ou até pequenas alavancas. As pessoas tinham ideias diferentes:

o eletroímã poderia soar um sinal de alarme; poderia governar o movimento de engrenagens; poderia virar uma maçaneta, que poderia movimentar um lápis (mas a engenharia do século xix não estava pronta para a escrita robótica). Ou a corrente poderia disparar um canhão. Imagine disparar um canhão por meio de um sinal enviado a quilômetros de distância! Os aspirantes a inventores se voltaram para as tecnologias de comunicação anteriores, mas os precedentes eram, em sua maioria, inadequados.

Antes do telégrafo elétrico havia o telégrafo simples: *les télégraphes*, inventados e batizados por Claude Chappe na França durante a Revolução.[a] Eles eram ópticos — um "telégrafo" era uma torre para o envio de sinais para outras torres localizadas dentro de seu alcance visual. A tarefa consistia em desenvolver um sistema de sinais mais eficiente e flexível do que as fogueiras, por exemplo. Trabalhando com Ignace, seu irmão e parceiro de mensagens, Claude experimentou uma série de sistemas diferentes, que evoluíram no decorrer dos anos.

O primeiro deles era peculiar e engenhoso. Os irmãos Chappe sincronizaram as batidas de um par de relógios, e o ponteiro de cada um deles fazia girar um mostrador a uma velocidade relativamente alta. Eles fizeram experimentos desse tipo na cidade em que moravam, Brûlon, a aproximadamente 150 quilômetros a oeste de Paris. Ignace, o emissor, esperaria até que o ponteiro chegasse a um número predeterminado e, naquele instante, emitiria um sinal por meio do soar de um sino ou do disparo de uma arma ou, com mais frequência, de pancadas numa *casserole*. Ao ouvir o som, Claude, localizado a uma distância de menos de meio quilômetro, leria o número apropriado exibido por seu próprio relógio. Era possível converter números em palavras ao consultá-las numa lista previamente preparada. Essa ideia da comunicação por meio de relógios sincronizados reapareceu no século xx, em experimentos médicos envolvendo o pensamento e em dispositivos eletrônicos, mas, em 1791, o conceito não conduziu a nada. Uma de suas desvantagens estava na necessidade de ambas as estações estarem ligadas pela visão e pelo som — e, se assim estavam, os

relógios tinham pouco a acrescentar. Outra desvantagem estava no problema da sincronização dos relógios e da manutenção dessa sincronia. No fim, foram as rápidas mensagens de longa distância que possibilitaram a sincronia — e não o contrário. O esquema desabou sob o peso de sua própria engenhosidade.

Enquanto isso, os Chappe conseguiram atrair mais dois de seus irmãos, Pierre e René, para o projeto, testemunhado por um corpo de funcionários municipais e notários reais.[14] A tentativa seguinte dispensou o uso de relógios e do som. Os Chappe construíram uma grande estrutura de madeira com cinco persianas deslizantes, que eram erguidas e abaixadas com roldanas. Ao usar cada uma das combinações possíveis, esse "telégrafo" era capaz de transmitir um alfabeto de 32 símbolos — $2^5$, mais um código binário, embora os detalhes não sobrevivam. Claude estava pedindo dinheiro à recém-formada Assembleia Legislativa, e por isso enviou de Brûlon uma mensagem esperançosa: "*L'Assembleé nationale récompensera les experiences utiles au public*" ("A Assembleia Nacional vai recompensar experimentos que forem úteis ao público"). As oito palavras precisaram de seis minutos e vinte segundos para serem enviadas, e não se tornaram realidade.

A França revolucionária era ao mesmo tempo um ótimo e um péssimo lugar para a experimentação modernista. Quando Claude ergueu o protótipo de um telégrafo no Parc Saint-Fargeau, no nordeste de Paris, uma turba desconfiada ateou fogo ao aparato, temendo o envio de mensagens secretas. O cidadão Chappe continuou sua busca por uma tecnologia tão ágil e confiável quanto aquele outro novo dispositivo, a guilhotina. Ele projetou um aparato com uma grande viga cruzada sustentando dois braços gigantes, manipulados por cordas. Como tantas das primeiras máquinas, esta tinha um formato um pouco antropomórfico. Os braços podiam ser posicionados de sete maneiras diferentes, separadas por intervalos de 45 graus (não eram oito intervalos, pois um deles deixaria o braço escondido atrás da viga), e a viga também podia sofrer rotação, dependendo do controle de um operador logo abaixo, que manipulava um sistema de manivelas e roldanas. Para aperfeiçoar esse complexo mecanismo, Chappe recrutou Abraham-Louis Breguet, o conhecido relojoeiro.

Por mais complicado que fosse o problema do controle, a questão do

desenvolvimento de um código adequado se mostrou ainda mais difícil. De um ponto de vista estritamente mecânico, os braços e a viga podiam ser posicionados em qualquer ângulo — as possibilidades eram infinitas —, mas, para garantir a eficiência na transmissão dos sinais, Chappe teve de limitá-las. Quanto menor fosse o número de posições passíveis da atribuição de um significado, menor a probabilidade de confusão. Ele escolheu apenas duas para a viga cruzada, além das sete posições para cada braço, constituindo um espaço simbólico de 98 arranjos possíveis (7 × 7 × 2). Em vez de usar tais arranjos para letras e números, Chappe se propôs a criar um código mais elaborado. Certos sinais eram reservados à correção de erros e ao controle: começo e fim, confirmação de recebimento, atraso, conflito (uma torre não poderia enviar mensagens em ambas as direções ao mesmo tempo) e falha. Outros eram usados aos pares, indicando para o operador determinadas páginas e números de linhas em livros especiais de códigos com mais de 8 mil verbetes potenciais: palavras e sílabas, bem como nomes próprios de pessoas e lugares. Tudo isso foi mantido como um segredo muito bem guardado. Afinal, as mensagens seriam transmitidas pelo céu, à vista de todos. Chappe deu por certo que a rede telegráfica com a qual ele sonhava seria um departamento de Estado, propriedade do governo operada por funcionários públicos. Ele não a via como um instrumento de disseminação de conhecimento ou de geração de riqueza, e sim como um instrumento de poder. “Chegará o dia”, escreveu ele, “em que o Governo poderá alcançar a concepção mais grandiosa que podemos ter do poder, por meio do uso do sistema telegráfico para disseminar sua influência diretamente, todos os dias, a cada hora, simultaneamente, alcançando toda a república.”[15]

Com o país em guerra e a autoridade residindo então na Convenção Nacional, Chappe conseguiu atrair a atenção de alguns legisladores influentes. “O cidadão Chappe oferece um engenhoso método de escrita no ar, usando um pequeno número de símbolos, formados simplesmente por segmentos de linhas retas”,[16] relatou um deles, Gilbert Romme, em 1793. Ele persuadiu a Convenção a destinar 6 mil francos à construção de três torres telegráficas numa linha ao norte de Paris, separadas por uma distância de onze a quinze quilômetros. Àquela altura, os irmãos Chappe estavam avançando

depressa e, em meados desse ano, prepararam uma triunfal demonstração para uma plateia de representantes, que gostaram daquilo que viram: um meio de receber notícias da fronteira militar e de transmitir suas ordens e seus decretos. Eles deram um salário a Chappe, concederam-lhe o uso de uma casa do governo e o nomearam oficialmente para o posto de *ingénieur télégraphe*. Ele começou a trabalhar numa linha de estações que abrangia uma distância de 190 quilômetros, do Louvre, em Paris, até Lille, na fronteira norte. Em menos de um ano havia dezoito estações em funcionamento, e as primeiras mensagens chegaram de Lille: por sorte, a notícia das vitórias sobre prussianos e austríacos. A Convenção ficou em êxtase. Um representante nomeou um panteão formado por quatro grandes invenções humanas: o prelo, a pólvora, a bússola e "a linguagem dos sinais telegráficos".[17] Ele estava certo ao se concentrar na linguagem. Em termos de hardware — cordas, alavancas e vigas de madeira —, os Chappe não tinham inventado nada de novo.



*Um telégrafo de Chappe.*

Teve início a construção de estações em braços, que se estendiam para Estrasburgo, a leste, para Brest, a oeste, e para Lyon, ao sul. Quando Napoleão Bonaparte tomou o poder, em 1799, ordenou que uma mensagem fosse enviada em todas as direções — "*Paris est tranquille et les bons citoyens sont contents*" ("Paris está tranquila e os bons cidadãos estão contentes") — e logo encomendou a construção de uma nova linha de estações que chegasse até Milão. O sistema telegráfico estava definindo um novo padrão para a velocidade da comunicação, já que a única concorrência real era o mensageiro a cavalo. Mas a velocidade podia ser medida de duas maneiras: em termos de distância ou de símbolos e palavras. Chappe certa vez afirmou que um sinal poderia ir de Toulon a Paris — uma linha formada por 120 estações distribuídas ao longo de 765 quilômetros — em apenas dez ou doze minutos.[18] Mas ele não poderia afirmar isso no caso de uma mensagem completa, mesmo que fosse relativamente curta. Três signos por minuto era o máximo que poderia ser esperado até mesmo do mais rápido dos operadores telegráficos. O operador seguinte na cadeia, observando por meio de um telescópio, tinha de registrar

cada signo manualmente num caderno, reproduzindo-os com o manuseio de suas próprias manivelas e roldanas, e observar para se certificar de que a mensagem fosse recebida corretamente pela estação seguinte. A cadeia de sinais era vulnerável e delicada: chuva, neblina ou um operador desatento eram fatores capazes de arruinar qualquer mensagem. Quando a taxa de sucesso foi medida, na década de 1840, somente duas em cada três mensagens chegavam em questão de um dia durante os meses quentes e, no inverno, tal proporção caía para uma mensagem a cada três. A codificação e a decodificação também exigiam tempo, mas apenas nos extremos inicial e final da linha. Os operadores das estações intermediárias deviam transmitir os sinais sem compreendê-los. De fato, muitos *stationaires* eram analfabetos.




*A rede telegráfica francesa no seu auge.*

Quando as mensagens de fato chegavam, nem sempre era possível confiar nelas. O grande número de estações de transmissão representava muitas chances de erro. Esse princípio é conhecido pelas crianças do mundo inteiro graças à brincadeira conhecida na Grã-Bretanha como Sussurro Chinês, na China como 以讹传讹, na Turquia como De Orelha a Orelha, e nos Estados Unidos

simplesmente como Telefone. Quando seus colegas minimizaram o problema da correção dos erros, Ignace Chappe se queixou: “Eles provavelmente nunca realizaram experimentos envolvendo mais de duas ou três estações”.[19]

Hoje, os antigos telégrafos foram esquecidos, mas foram uma sensação na época de seu surgimento. Em Londres, um animador e compositor da Drury Lane chamado Charles Dibdin incluiu o invento num espetáculo musical de 1794 e previu um futuro maravilhoso:

> Se fizerem a cortesia de não gargalhar
> O funcionamento do telégrafo francês vou explicar
> Máquina dotada de tão maravilhosos poderes
> Escreve, lê e envia com rapidez diferentes dizeres
> […]
> Nas loterias, feito judeus os apostadores vão enriquecer:
> em vez de pombos-correios, para até eles as notícias trazer,
> um telégrafo em Old Ormond Quay vão instalar
> embarcando outro num navio, pelo oceano a navegar
> […]
> Adieu, cartas baratas! Diligências e carteiros, adieu;
> Sua função se acabou, seu emprego se perdeu:
> Telégrafos em nossas casas teremos no seu lugar
> servindo como relógios, para-raios, varais e para notícias enviar.20 b

As torres telegráficas se espalharam pela Europa e chegaram além, e suas ruínas salpicam atualmente as paisagens do interior. Telegraph Hill, Telegrafberget, Telegraphen-Berg são ao mesmo tempo nomes de lugares e vestígios dessa época. Suécia, Dinamarca e Bélgica foram rápidas em desenvolver seus sistemas com base no modelo francês. A Alemanha logo as seguiu. Uma linha que ia de Calcutá a Chunar entrou em operação em 1823; a linha do Cairo a Alexandria, em 1824; e, na Rússia, Nicolau i organizou 220 estações de Varsóvia a São Petersburgo e Moscou. Elas dominavam a comunicação do mundo e então, ainda mais rapidamente do que haviam surgido, tornaram-se obsoletas. O coronel Taliaferro Shaffner, inventor e historiador do

Kentucky, viajou à Rússia em 1859 e ficou impressionado com a altura e a beleza das torres, o cuidado que era dedicado à sua decoração e ao florido paisagismo a seu redor, e com sua súbita morte universal.

> Tais estações estão agora caladas. Nenhum movimento dos indicadores pode ser visto. Elas permanecem imóveis em suas altas posições, logo cedendo ao desgaste pela mão do tempo. O fio elétrico, apesar de sua aparência menos grandiosa, cruza todo o império, e inscreve com chamas ardentes na distância a vontade do imperador de 66 milhões de seres humanos espalhados por seu vasto domínio.21

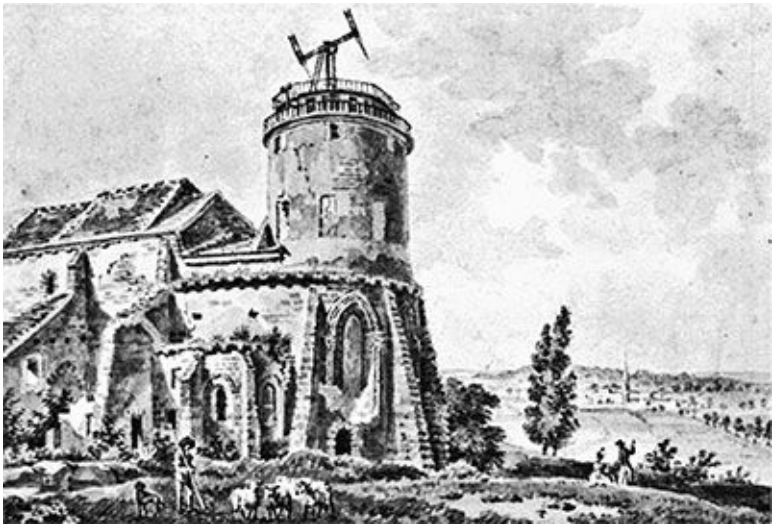
Para Shaffner, aquela era uma conversa de mão única. Os 66 milhões não estavam respondendo ao imperador, nem conversando uns com os outros.

Ao escrever no ar, o que deveria ser dito? Claude Chappe propusera: “Qualquer coisa que possa ser o tema de uma correspondência”.[22] Mas o exemplo dele — “Lukner partiu para Mons para sitiar aquela cidade, Bender avança para defendê-la” — deixava claro a que ele estava se referindo: despachos de importância militar e estatal. Posteriormente, Chappe propôs o envio de outros tipos de informação: notícias relacionadas à navegação, e cotações financeiras das bolsas de valores. Napoleão não permitiu isso, apesar de ter usado o telégrafo para anunciar o nascimento do filho, Napoleão ii, em 1811. Uma infraestrutura de comunicações construída graças a um enorme investimento do governo e capaz de transmitir um total de centenas de palavras diárias estava longe de poder ser usada para mensagens particulares. Isso era inimaginável — e, no século seguinte, quando se tornou imaginável, alguns governos consideraram a ideia indesejável. Tão logo os empreendedores começaram a organizar a telegrafia privada na França, o governo agiu para proibi-la: uma lei de 1837 previa a pena de prisão e a aplicação de multas a “todo aquele que esteja envolvido na transmissão não autorizada de sinais de um lugar a outro, seja por meio de máquinas telegráficas, seja por quaisquer outros”.[23] A ideia de um sistema nervoso global teria de surgir em outro lugar. No ano seguinte, 1838, as autoridades francesas receberam a visita de um norte-americano que propunha um “telégrafo” que se valeria de fios elétricos: Samuel F. B. Morse. Eles recusaram a ideia imediatamente. Comparada ao majestoso

semáforo, a eletricidade parecia ser pouco segura e inviável. Ninguém podia interferir nos sinais telegráficos no céu, mas um fio poderia ser cortado por sabotadores. Jules Guyot, médico e cientista designado para avaliar tal tecnologia, disse com desprezo: “O que se pode esperar de um desprezível punhado de fios?”.[24] De fato, o que se poderia esperar deles?

O fornecimento do delicado impulso galvânico e o cuidado necessário para mantê-lo apresentavam um árduo conjunto de desafios técnicos, e um outro ainda surgiu no momento em que a eletricidade encontrou a linguagem: as palavras tinham de ser transmutadas em oscilações no fio. O ponto de cruzamento entre eletricidade e linguagem — também a interface entre dispositivo e ser humano — exigiu uma nova engenhosidade. Muitos esquemas diferentes foram pensados pelos inventores. De uma forma ou de outra, virtualmente todos eles tinham como base o alfabeto escrito, empregando as letras como uma camada intermediária. Isso parecia ser natural a ponto de não merecer comentário. *Telégrafo* significava “escrita distante”, afinal. Assim, em 1774 Georges-Louis Le Sage, de Genebra, dispôs 24 fios separados e designou a eles 24 letras, com cada fio transmitindo uma corrente suficiente para agitar um pedaço de folha de ouro, ou uma esfera de metal suspensa num jarro de vidro, ou “outros corpos que possam ser atraídos com a mesma facilidade, e que sejam, ao mesmo tempo, facilmente visíveis”.[25] Esse modelo tinha fios demais para ser considerado prático. Em 1787, um francês chamado Lomond passou um fio por todo o seu apartamento e disse ser capaz de sinalizar com letras distintas ao fazer uma esfera de metal dançar em diferentes direções. “Parece que ele formou um alfabeto dos movimentos”, relatou uma testemunha, mas, ao que parecia, apenas a mulher de Lomond era capaz de compreender o código. Em 1809, um alemão, Samuel Thomas von Sömmerring, criou um telégrafo de bolhas. Uma corrente percorrendo fios num recipiente com água produzia bolhas de hidrogênio; cada fio, e portanto cada jato de bolhas, indicava uma única letra. Enquanto trabalhava nisso, Von Sömmerring conseguiu fazer com que a eletricidade soasse uma campainha: equilibrou uma colher na água, de ponta-cabeça, de modo que

uma quantidade suficiente de bolhas fizesse com que ela se inclinasse, liberando um peso que ativava uma alavanca e soava uma campainha. “Esse segundo objeto, o alarme”, escreveu ele em seu diário, “me custou muita reflexão e diversas tentativas inúteis usando engrenagens.”[26] Do outro lado do Atlântico, um norte-americano chamado Harrison Gray Dyer tentou enviar sinais por meio de faíscas criadas a partir do ácido nítrico que descoloria o papel de tornassol.[27] Ele pendurou um fio nas árvores e distribuiu estacas ao redor da pista do hipódromo de Long Island. O papel de tornassol tinha de ser movido manualmente.



*O telégrafo em Montmartre.*

Então surgiram as agulhas. O médico André-Marie Ampère, responsável por desenvolver o galvanômetro, propôs que ele fosse usado como dispositivo sinalizador: tratava-se de uma agulha repelida pelo eletromagnetismo — uma bússola apontando para um norte artificial e momentâneo. Ele também pensou em termos de uma agulha para cada letra. Na Rússia, o barão Pavel Schilling demonstrou um sistema que empregava cinco agulhas, posteriormente reduzidas a uma só: ele designou às letras e aos números diferentes combinações de sinais indicando esquerda e direita. Em Göttingen, no ano de 1833, o matemático Carl Friedrich Gauss, trabalhando com o médico Wilhelm Weber, organizou um sistema parecido utilizando uma única agulha. O primeiro movimento da agulha produzia dois sinais diferentes, esquerda e direita. A combinação de dois movimentos proporcionava quatro outras possibilidades (direita + direita, direita + esquerda, esquerda + direita, e esquerda + esquerda). Três movimentos

produziam oito combinações, e quatro rendiam dezesseis, totalizando trinta sinais distintos. O operador usaria pausas para separar os sinais. Gauss e Weber organizaram seu alfabeto de movimentos de maneira lógica, começando com as vogais e, a partir desse ponto, atribuindo letras e números pela ordem alfabética:

Direita = *a*

Esquerda = *e*

Direita, direita = *i*

Direita, esquerda = *o*

Esquerda, direita = *u*

Esquerda, esquerda = *b*

Direita, direita, direita = *c* (e também *k*)

Direita, direita, esquerda = *d*

Etc.

De certa maneira, esse sistema de codificação das letras era binário. Cada unidade mínima, cada pequeno segmento de sinal, correspondia a uma escolha entre duas possibilidades, esquerda ou direita. Cada letra exigia determinado número de escolhas desse tipo, e tal número não era predefinido. Poderia ser uma escolha, como no caso de direita para *a* e esquerda para *e*. Poderia ser um número maior, o que mantinha o sistema aberto, permitindo que fosse usado para um alfabeto de tantas letras quanto fossem necessárias. Gauss e Weber estenderam um fio duplo por um quilômetro e meio de casas e campanários entre o observatório de Göttingen e o instituto de física. Aquilo que eles conseguiram dizer um para o outro não foi preservado.

Longe dos laboratórios desses inventores, o *telégrafo* ainda significava torres, semáforos, persianas e bandeiras, mas o entusiasmo diante das novas possibilidades estava aumentando. Em uma palestra à Sociedade Marinha de Boston, o advogado e filólogo John Pickering declarou:

> Deve ser evidente ao mais casual dos observadores que nenhum meio de transmissão da inteligência poderá ser projetado com a capacidade de superar ou mesmo acompanhar a velocidade do Telégrafo, pois, exceção feita ao pouco perceptível relé de cada estação, sua velocidade pode ser comparada à da própria luz.28

Ele estava pensando principalmente no Telégrafo de Central Wharf, uma torre semelhante às de Chappe, que comunicava notícias relativas à navegação a três outras estações, numa linha de quase vinte quilômetros que cruzava o Porto de Boston. Enquanto isso, dezenas de jornais recém-criados em todo o país adotavam para si o moderno nome de "*Telégrafo*". Estes também estavam envolvidos no ramo da escrita distante.

"A telegrafia é um elemento de poder e ordem",[29] dissera Abraham Chappe, mas as classes financeira e mercantil em ascensão foram as mais ágeis em compreender o valor da informação que saltava grandes distâncias. Apenas 320 quilômetros separavam a Bolsa de Valores de Londres, em Threadneedle Street, da Bourse no Palais Brongniart, mas esses 320 quilômetros significavam dias. Fortunas podiam ser acumuladas com a superação daquela distância. Para os especuladores, um telégrafo particular poderia ser tão útil quanto uma máquina do tempo. A família de banqueiros Rothschild estava usando pombos como forma de transporte da correspondência e, numa aposta mais confiável, uma pequena frota de barcos para transportar as mensagens de um lado do canal até o outro. Depois de descoberto, o fenômeno da informação remota transmitida em alta velocidade produziu uma grande onda de empolgação. Em Boston, Pickering fez as contas:

> Se há agora vantagens essenciais para os negócios na obtenção de informações vindas de Nova York em dois dias ou menos, enviadas a um ritmo de doze ou dezesseis quilômetros por hora, qualquer um pode perceber a existência de um benefício proporcional na possibilidade de transmitir a mesma informação ao longo da mesma distância via telégrafo à velocidade de seis quilômetros por minuto, o equivalente a uma viagem de Nova York a Boston em apenas uma hora.30

O interesse dos governos em receber boletins militares e projetar sua autoridade foi superado pelos desejos dos capitalistas e dos jornais, das empresas ferroviárias e das transportadoras marítimas. Ainda assim, nos imensos Estados Unidos, nem mesmo a pressão do comércio foi suficiente para transformar em realidade a telegrafia óptica. O sucesso na interligação de duas cidades só foi

obtido por um único protótipo, unindo Nova York à Filadélfia em 1840. A linha transmitia o preço das ações e em seguida os números sorteados na loteria, e então se tornou obsoleta.

Todos os aspirantes a inventores do telégrafo elétrico — e não eram poucos — trabalhavam com base no mesmo conjunto de ferramentas. Eles tinham fios e agulhas magnéticas. E possuíam baterias: células galvânicas, ligadas umas às outras, produzindo eletricidade a partir da reação de fitas metálicas imersas em banhos de ácido. Eles não tinham luzes. Não contavam com motores. Dispunham apenas dos mecanismos que eram capazes de construir com a madeira e o latão: pinos, parafusos, rodas, molas e alavancas. E, em última análise, tinham um alvo em comum: as letras do alfabeto. (Em 1836, Edward Davy achou necessário explicar como e por que as letras seriam suficientes: "Uma única letra poderá ser indicada por vez, e cada letra será anotada pelo operador conforme chegar, formando assim as palavras e frases; mas será fácil ver que, das infinitas alterações possíveis dentro de certo número de letras, um grande número de comunicados ordinários poderá ser transmitido".[31]) Além da lista de materiais em comum, em Viena, Paris, Londres, Göttingen, São Petersburgo e nos Estados Unidos, esses pioneiros partilhavam uma noção desse animado e competitivo panorama, mas ninguém sabia ao certo o que os demais estavam fazendo. Eles não conseguiam acompanhar o desenvolvimento das ciências; avanços cruciais na ciência da eletricidade permaneceram desconhecidos para as pessoas que mais precisavam ter conhecimento deles. Cada inventor ansiava por entender aquilo que ocorria com a corrente que percorria fios de diferentes comprimento e espessura, e eles continuaram nessa luta por mais de uma década depois de Georg Ohm, na Alemanha, ter chegado a uma teoria matemática precisa para a corrente, a voltagem e a resistência. As notícias desse tipo viajavam lentamente.

Foi nesse contexto que Samuel Morse e Alfred Vail, nos Estados Unidos, e William Cooke e Charles Wheatstone, na Inglaterra, fizeram do telégrafo elétrico uma realidade e um negócio. De uma forma ou de outra, todos afirmaram

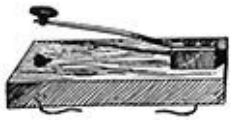
posteriormente ter “inventado” o telégrafo, apesar de nenhum deles tê-lo feito — Morse, certamente, não o fez. Suas parcerias estavam destinadas a chegar ao fim com brutais, turbulentas e amargas disputas por patentes envolvendo a maioria dos principais cientistas da eletricidade de dois continentes. A trajetória da invenção, ao passar por tantos países, tinha sido insuficientemente registrada e comunicada de maneira ainda mais precária.

Na Inglaterra, Cooke era um jovem empreendedor — viu um protótipo de telégrafo de agulhas durante uma viagem a Heidelberg — e Wheatstone era um físico do King’s College, de Londres, com quem Cooke formou uma parceria em 1837. Wheatstone tinha feito experimentos envolvendo a velocidade do som e da eletricidade, e uma vez mais o problema jazia na maneira de ligar a física à linguagem. Eles consultaram a maior autoridade em eletricidade de toda a Inglaterra, Michael Faraday, e também Peter Roget, autor de um *Tratado do eletromagnetismo*, bem como de um sistema de classificação verbal batizado por ele de *Thesaurus*. O telégrafo de Cooke-Wheatstone foi testado em uma série de protótipos. Um deles usava seis fios para formar três circuitos, cada um deles controlando uma agulha magnética. “Descobri cada permutação e cada combinação prática dos sinais proporcionados pelas três agulhas, e obtive assim um alfabeto de 26 sinais”,[32] destacou Cooke, sem fornecer muitos detalhes. Havia também um alarme, para o caso de o operador ter sua atenção distraída do aparelho. Cooke disse ter se inspirado no único dispositivo mecânico que ele conhecia bem: a caixinha de música. Na versão seguinte, um par sincronizado de rodas dentadas exibia as letras do alfabeto através de uma pequena abertura. Ainda mais engenhoso, além de mais estranho, era um projeto com cinco agulhas: vinte letras eram distribuídas numa tabela em formato de diamante, e um operador, encarregado de pressionar botões, fazia com que duas das cinco agulhas apontassem exclusivamente para a letra desejada. Esse telégrafo de Cooke-Wheatstone deixou de fora as letras *C*, *J*, *Q*, *U*, *X* e *Z*. Posteriormente, Vail, o concorrente americano, descreveu a operação da seguinte maneira:

> Suponhamos que a mensagem a ser enviada da estação de Paddington à estação de Slough seja: “Encontramos o inimigo e ele está em nosso poder”. O operador em Paddington aperta os botões 11 e 18, indicando na estação de Slough a letra E. O operador de lá, que deve estar constantemente de

prontidão, observa as duas agulhas apontando para o E. Ele anota a letra, ou a indica em voz alta para outro operador, que toma nota dela num processo que, de acordo com um cálculo recente, exigiria pelo menos dois segundos para cada sinal.33

Vail considerou isso pouco eficiente. Ele tinha motivos para ser presunçoso.

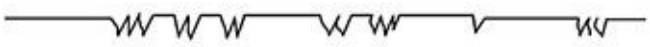


*A "chave" do telégrafo de Alfred Vail.*

Quanto a Samuel Finley Breese Morse, suas memórias posteriores viram-se inseridas no contexto da controvérsia — aquilo que seu filho descreveu como "as batalhas verbais travadas no mundo científico envolvendo questões de prioridade, descoberta exclusiva ou invenção, dívida para com os demais, e plágios conscientes e inconscientes".34 Tudo isso era decorrência dos fracassos na comunicação e no registro dos resultados. Formado na Universidade Yale, Morse, filho de um pregador de Massachusetts, era um artista, e não um cientista. Nas décadas de 1820 e 1830, passou boa parte do seu tempo viajando pela Inglaterra, França, Suíça e Itália para estudar pintura. Foi numa dessas viagens que tomou conhecimento da telegrafia elétrica ou, nos termos de suas memórias, teve uma ideia súbita: "como um raio do sutil fluido que posteriormente tornou-se seu servo", como contou seu filho. Morse disse a um amigo com quem dividia um quarto em Paris: "O correio em nosso país é lento demais; esse telégrafo francês é melhor, e funcionaria melhor ainda na atmosfera límpida que temos, e não aqui, onde a neblina obscurece o céu durante metade do tempo. Mas esse modelo não será rápido o bastante — o raio nos serviria melhor".35 Na descrição feita por ele de sua epifania, a grande ideia não estava relacionada aos raios, e sim aos sinais: "Não seria difícil construir um sistema de sinais por meio do qual a inteligência pudesse ser instantaneamente transmitida".36

Morse teve a grande ideia a partir da qual todo o restante fluiu. Sem saber nada a respeito de esferas metálicas, bolhas e papel de tornassol, ele viu que um sinal poderia ser formado por algo mais simples, mais fundamental e menos tangível — o mais mínimo dos eventos, o fechamento e a abertura de um circuito. Não eram necessárias agulhas. A corrente elétrica fluía e era interrompida, e as interrupções poderiam ser organizadas para criar significado. A ideia era simples, mas os primeiros dispositivos de Morse eram complexos, envolvendo engrenagens, pêndulos de madeira, lápis, fitas de papel, rolamentos

e manivelas. Vail, maquinista experiente, reduziu tudo isso. Para a extremidade emissora, Vail projetou aquilo que se tornaria uma icônica interface com o usuário: uma simples alavanca presa a uma mola, com a qual o operador era capaz de controlar o circuito com o toque de um dedo. A princípio, ele chamou essa alavanca de “correspondente”; mais tarde, passou a se referir a ela simplesmente como “chave”. Sua simplicidade fez dela uma ordem de magnitude mais rápida do que os botões e as manivelas empregados por Wheatstone e Cooke. Com a chave de telégrafo, um operador era capaz de enviar sinais — que consistiam, afinal, em interrupções da corrente — a uma velocidade de centenas por minuto.



*Escrita telegráfica do primeiro instrumento de Morse.*

Assim, numa extremidade havia uma alavanca, para fechar e abrir o circuito, e na outra extremidade a corrente controlava um eletroímã. Um deles, provavelmente Vail, pensou em reunir ambas as coisas. O ímã poderia ativar a alavanca. Essa combinação (inventada de modo mais ou menos simultâneo por Joseph Henry, em Princeton, e por Edward Davy, na Inglaterra) foi chamada de “relê”, a partir da ideia do cavalo descansado que substitui outro, já exausto. Foi o que removeu o maior obstáculo à telegrafia elétrica de longa distância: o enfraquecimento da corrente conforme esta percorria fios de diferentes comprimentos. Uma corrente enfraquecida ainda podia fazer funcionar um relê, ativando um novo circuito, alimentado por uma nova bateria. O relê tinha um potencial superior àquele vislumbrado por seus inventores. Além de permitir a propagação de um sinal, poderia invertê-lo. E os relês poderiam combinar sinais vindos de mais de uma fonte. Mas isso estava reservado para mais tarde.

O ponto de virada ocorreu em 1844, tanto na Inglaterra como nos Estados Unidos. Cooke e Wheatstone tinham sua primeira linha funcionando, saída da estação Paddington e seguindo atrás dos trilhos. Morse e Vail tinham a sua, que ia de Washington à estação de Pratt Street, em Baltimore, composta de fios

envolvidos em tecido banhado em alcatrão, suspensos por postes de madeira de seis metros de altura. O tráfego das comunicações foi inicialmente pouco intenso, mas Morse pôde informar orgulhosamente ao Congresso que um instrumento era capaz de transmitir trinta caracteres por minuto e que as linhas haviam "permanecido a salvo do instinto destrutivo e das disposições mais maléficas dos passantes". Desde o início, o conteúdo da comunicação divergiu muito — a ponto da comicidade — dos despachos marciais e oficiais conhecidos pelos telegrafistas franceses. Na Inglaterra, as primeiras mensagens registradas no livro telegráfico em Paddington envolviam bagagens perdidas e transações do varejo. "Mande um mensageiro ao sr. Harris, em Duke-street, na Manchester-square, e peça-lhe que envie 3 kg de isca branca e 2 kg de linguiça no trem das 5h30 ao sr. Finch, de Windsor, e, se não for possível, que não envie coisa nenhuma."[37] No raiar do novo ano, o superintendente de Paddington enviou cumprimentos a seu correspondente em Slough e recebeu uma resposta dizendo que os votos tinham chegado meio minuto antes da virada do ano; a meia-noite ainda não tinha chegado lá.[38] Naquela manhã, um farmacêutico de Slough envenenou a amante, Sarah Hart, e correu para apanhar o trem rumo a Paddington. Uma mensagem telegráfica o ultrapassou, contendo a descrição dele ("usando as roupas de um *kuaker*, e vestindo um grande sobretudo marrom"[39] — não havia *Q* no sistema britânico); o farmacêutico foi capturado em Londres e enforcado em março. O drama preencheu as páginas dos jornais durante meses. Posteriormente, foi dito dos fios do telégrafo: "Foram essas as cordas que enforcaram John Tawell". Em abril, um certo capitão Kennedy, no Terminal Ferroviário Sudoeste, disputou uma partida de xadrez com um certo sr. Staunton, de Gosport; foi relatado que "na transmissão das jogadas, a eletricidade viajou de um lado para o outro por uma distância de mais de 16 mil quilômetros no decorrer da partida".[40] Os jornais também adoraram essa história — e, cada vez mais, passaram a destacar qualquer notícia que mencionasse as maravilhas do telégrafo elétrico.

Quando os empreendimentos norte-americano e inglês abriram suas portas para o público em geral, ninguém sabia ao certo quem, além da polícia e dos ocasionais jogadores de xadrez, teria interesse em formar fila e pagar a tarifa pedida. Em Washington, onde em 1845 o preço da mensagem começava em um

quarto de centavo por letra, a renda total dos primeiros três meses correspondeu a menos de duzentos dólares. No ano seguinte, quando uma linha de Morse foi aberta ligando Nova York à Filadélfia, o movimento cresceu um pouco mais. “Quando levamos em consideração que os negócios são extremamente monótonos [e] que ainda não conquistamos a confiança do público”, escreveu um funcionário da companhia, “vemos que estamos bastante satisfeitos com os resultados obtidos até o momento.”[41] Ele previu que a renda logo aumentaria para cinquenta dólares diários. Os repórteres dos jornais se interessaram pela novidade. No outono de 1846, Alexander Jones enviou sua primeira matéria via telégrafo de Nova York para Washington: um relato do lançamento do USS *Albany* no Estaleiro da Marinha no Brooklyn.[42] Na Inglaterra, um redator do *The Morning Chronicle* descreveu a emoção de receber sua primeira reportagem transmitida pela linha telegráfica de Cooke-Wheatstone:

> a primeira manifestação de inteligência vista no súbito agito da agulha estática, e no agudo som do alarme. Olhamos maravilhados para o rosto taciturno de nosso amigo, o místico mostrador, e anotamos rapidamente em nosso caderno aquilo que ele proferia de uma distância de aproximadamente 140 quilômetros.43

Era uma sensação contagiante. Alguns temeram que o telégrafo representasse a morte dos jornais, consistindo a partir de então num “rápido e indispensável transmissor de informações comerciais, políticas e de outra natureza”,[44] nas palavras de um jornalista americano.

> Para esse fim os jornais se tornarão enfaticamente inúteis. Antecipados em cada ponto pelas asas lampejantes do Telégrafo, eles só poderão tratar de “itens” locais ou de especulações abstratas. Seu poder de criar sensações, mesmo nas campanhas eleitorais, será muito reduzido — pois o infalível Telégrafo vai contradizer suas falsidades tão rapidamente quanto estes conseguem publicá-las.

Ousados, os jornais não esperaram para empregar a tecnologia. Os editores descobriram que qualquer notícia parecia mais urgente e emocionante com o rótulo “Comunicada por Telégrafo Elétrico”. Apesar das altas despesas — no início, o valor médio era de cinquenta centavos por dez palavras —, os jornais se

tornaram os fregueses mais entusiasmados dos serviços telegráficos. Em questão de poucos anos, 120 jornais provincianos estavam recebendo reportagens do Parlamento todas as noites. Os boletins de notícias da Guerra da Crimeia emanavam de Londres para Liverpool, York, Manchester, Leeds, Bristol, Birmingham e Hull. “Mais rapidamente que um foguete poderia percorrer aquela distância, como um foguete ela dispara e é de novo transportada pelos fios divergentes a uma dúzia de cidades vizinhas”,[45] destacou um jornalista. Mas ele também reparou nos perigos: “As informações, assim reunidas e transmitidas com tamanha pressa, têm também suas desvantagens, não sendo tão dignas de confiança quanto as notícias que se consolidam mais tarde e viajam mais devagar”. A relação entre o telégrafo e o jornal era simbiótica. As reações positivas amplificaram o efeito. O telégrafo, por ser uma tecnologia da informação, serviu como agente de seu próprio domínio.

A expansão global do telégrafo continuou a surpreender até mesmo seus defensores. Quando a primeira agência telegráfica foi aberta em Wall Street, em Nova York, o maior problema enfrentado era o rio Hudson. O sistema Morse tinha uma linha que corria por quase cem quilômetros acompanhando a margem leste até chegar a um ponto estreito o bastante para ser transposto por um fio. Mas, em questão de poucos anos, um cabo isolado foi passado por sob o porto. Em todo o Canal da Mancha, um cabo submarino de quarenta quilômetros de comprimento fez a ligação de Dover com Calais em 1851. Pouco depois, um especialista no assunto alertou: “Qualquer ideia prevendo a ligação da Europa com a América, por meio de cabos estendidos sob o Atlântico, seria totalmente impraticável e absurda”.[46] Isso foi em 1852; o impossível foi conseguido em 1858, quando a rainha Victoria e o presidente Buchanan trocaram gentilezas e o *New York Times* anunciou “um resultado tão prático, e tão inconcebível […] tão cheio de prognósticos esperançosos para o futuro da humanidade […] um dos grandes marcos no rumo ascendente percorrido pelo intelecto humano”.[47] Qual era a essência daquele feito? “A transmissão do pensamento, o impulso vital da matéria.” A excitação era global, mas os efeitos eram locais. Corpos de bombeiros e delegacias de polícia interligaram seus sistemas de comunicação. Lojistas orgulhosos anunciavam a possibilidade de receber encomendas pelo telégrafo.

Informações que dois anos antes precisavam de dias para chegar a seu destino podiam agora estar lá — onde quer que fosse — em questão de segundos. Não se tratava de dobrar ou triplicar a velocidade de transmissão — o salto foi de muitas ordens de magnitude. Foi como o rompimento de uma represa cuja presença ainda era desconhecida. As consequências sociais não poderiam ser previstas, mas algumas foram observadas e identificadas quase imediatamente. A ideia que as pessoas faziam do clima começou a mudar — entendendo-se o clima como generalização, abstração. Simples informes meteorológicos começaram a circular pela fiação por interesse dos especuladores do milho: *Derby, muito nublado; York, bom; Leeds, bom; Nottingham, frio e nublado mas sem chuva*.[48] A própria ideia de um boletim meteorológico era nova. Isso exigia certa aproximação de um conhecimento instantâneo de um lugar distante. O telégrafo permitiu que as pessoas pensassem no clima como algo que afeta grandes espaços e sofre a influência de muitos fatores interconectados, e não como um conjunto aleatório de surpresas locais. "Os fenômenos da atmosfera, os mistérios dos meteoros, as causas e os efeitos das combinações no céu não são mais questões de superstição e pânico para o marido, o marinheiro e o pastor",[49] observou um entusiasmado comentarista em 1848:

> Para seus usos e costumes cotidianos, o telégrafo chega para lhe dizer não apenas que "há tempo bom vindo do norte", pois o fio elétrico pode lhe dizer num instante as características do clima nos quatro cantos da nossa ilha simultaneamente. […] Dessa maneira, o telégrafo pode ser usado como um grande barômetro nacional, fazendo da eletricidade serva do mercúrio.

Aquela era uma ideia transformadora. Em 1854, o governo fundou um Gabinete Meteorológico na Câmara do Comércio. O chefe do departamento, almirante Robert Fitzroy, que fora capitão do hms *Beagle*, mudou-se para um escritório em King Street, equipou-o com altímetros, barômetros de mercúrio e os chamados barômetros de Fitzroy, e enviou observadores equipados com os mesmos instrumentos para portos espalhados por toda a costa. Eles mandavam por telégrafo dois relatórios diários das condições das nuvens e do vento. Fitzroy começou a traçar um quadro das condições climáticas futuras, batizando-o de

“previsão”, e em 1860 o *Times* passou a publicá-las diariamente. Os meteorologistas começaram a compreender que todos os grandes ventos, quando vistos de maneira mais ampla, eram circulares, ou ao menos “altamente curvilíneos”.

Os conceitos mais elementares estavam agora atuando como consequência da comunicação instantânea entre pontos separados por grandes distâncias. Observadores culturais começaram a dizer que o telégrafo estava “aniquilando” o tempo e o espaço. Ele “permite que nos comuniquemos, por meio do fluido misterioso, com a rapidez do pensamento, possibilitando a aniquilação do tempo e do espaço”,[50] anunciou um funcionário do telégrafo americano em 1860. Foi o tipo de exagero que logo se transformou em clichê. O telégrafo de fato parecia corromper ou encurtar o tempo num sentido específico: o tempo como obstáculo ou fardo para as relações humanas. “Para todos os fins práticos”, anunciou um jornal, “o tempo, em termos de trânsito, pode ser considerado completamente eliminado.”[51] O mesmo ocorria com o espaço. “Distância e tempo foram tão alterados em nossa imaginação”, disse Josiah Latimer Clark, engenheiro telegráfico britânico, “que o globo foi quase reduzido em magnitude, e não restam dúvidas de que nossa concepção de suas dimensões é totalmente diferente daquela de nossos antepassados.”[52]

Antes, todos os horários eram locais: quando o sol estava em seu ponto mais alto, tínhamos o meio-dia. Somente um visionário (ou um astrônomo) saberia que pessoas num lugar diferente viviam de acordo com um relógio diferente. Agora o tempo podia ser local ou padrão, e essa distinção deixou perplexa a maioria das pessoas. As estradas de ferro precisavam de um horário-padrão, e o telégrafo tornou isso possível. Foram necessárias décadas para que o horário-padrão prevalecesse. O processo só pôde começar na década de 1840, quando o Astrônomo Real estendeu fios do Observatório, em Greenwich, até a Electric Telegraph Company, em Lothbury, com o objetivo de sincronizar os relógios da nação. Anteriormente, o mais avançado em termos de tecnologia indicadora do tempo era uma bola derrubada de um mastro sobre o domo do observatório. Quando lugares distantes foram coordenados no tempo, eles puderam enfim medir com precisão a própria longitude. A chave para medir a longitude estava

em saber o horário certo de determinado lugar e a distância necessária para chegar até ele. Assim, os navios ganharam relógios, preservando o tempo em cápsulas metálicas imperfeitas. O tenente Charles Wilkes, da Expedição Americana de Exploração, usou a primeira linha Morse em 1844 para localizar o Battle Monument a 1 minuto e 34,868 segundos a leste do Capitólio, em Washington.[53]

Longe de aniquilar o tempo, a sincronia ampliou seu domínio. A própria noção de sincronia e a consciência de que se tratava de uma ideia nova fizeram cabeças entrar em parafuso. O *New York Herald* declarou:

> O telégrafo do professor Morse não apenas representa uma nova era na transmissão das informações como também deu origem a toda uma nova classe de ideias, uma nova espécie de consciência. Nunca antes uma pessoa teve a consciência de saber com certeza aquilo que estava ocorrendo num determinado momento numa cidade longínqua — a sessenta, 160 ou oitocentos quilômetros de distância.[54]

Imagine, prosseguiu o autor, maravilhado, que *agora* são onze horas. O telégrafo transmite aquilo que um legislador está dizendo *agora* em Washington.

> É grande o esforço intelectual necessário para perceber que esse é um fato de *agora*, e não um fato *passado*.

Esse é um fato de *agora*.

A história (e o fazer história) também mudou. O telégrafo levou à preservação de inúmeras minúcias relativas à vida cotidiana. Durante algum tempo, até se tornar impraticável, as empresas telegráficas tentaram manter um registro de todas as mensagens. Tratava-se de um armazenamento de informações sem precedentes. “Imagine um futuro Macaulay inspecionando a esmo os conteúdos de um tal armazém, e pintando, a partir daquilo que encontrasse, um panorama das características mais notáveis da vida social e comercial da Inglaterra do século xix”, imaginou um ensaísta. “Que quadro não poderia ser traçado um dia no século xx e um a partir do registro da correspondência de todo um povo?”[55] Em 1845, depois de um ano de

experiência com a linha que ligava Washington a Baltimore, Alfred Vail tentou elaborar um catálogo de tudo aquilo que o telégrafo já tinha transmitido até então. “Muitas informações importantes”, escreveu ele,

> consistindo em mensagens enviadas por ou destinadas a comerciantes, membros do Congresso, funcionários do governo, bancos, corretores, oficiais de polícia; partes que de comum acordo decidiram se encontrar nas duas estações, ou que tinham sido procuradas por uma das partes; itens noticiosos, resultados de eleições, anúncios de mortes, inquéritos pertinentes à saúde de famílias e indivíduos, a produção diária do Senado e da Câmara dos Representantes, encomendas de artigos, perguntas relacionadas à partida e à chegada de navios, as deliberações dos casos julgados nos numerosos tribunais, a convocação de testemunhas, mensagens relacionadas a trens especiais e expressos, convites, recibos de quantias enviadas em dinheiro a partir de outro ponto, para pessoas que requisitassem a transmissão de fundos dos devedores, consultas a médicos […]56

Esses itens diversos nunca antes tinham sido agregados sob o mesmo título. O telégrafo lhes conferiu algo em comum. No registro das patentes e também nos acordos legais, os inventores tinham motivos para pensar em seu tema nos termos mais amplos possíveis: ou seja, a emissão, a impressão, o carimbo, ou outra forma de transmissão de sinais, ou o soar de alarmes, ou a comunicação de informações.[57]

Nessa época de mudança conceitual, alguns ajustes mentais foram necessários para a compreensão do telégrafo em si. A confusão inspirou anedotas, que muitas vezes produziam novos e estranhos significados para termos familiares: palavras inocentes como *enviar*, e palavras plenas de sentido, como *mensagem*. Houve uma mulher que levou um prato de *sauerkraut* à estação telegráfica de Karlsruhe com o objetivo de “enviá-lo” ao filho em Rastatt. Ela ouvira falar de soldados que eram “enviados” ao front por telégrafo. Houve um homem que levou uma “mensagem” ao escritório telegráfico de Bangor, no Maine. O operador manipulou a chave telegráfica e então pôs o papel no gancho. O cliente se queixou de que a mensagem não tinha sido enviada, pois ele ainda podia vê-la no gancho. Para a *Harper’s New Monthly Magazine*, que recontou essa história em 1873, a questão era que até os “inteligentes e bem informados” continuavam a considerar inescrutáveis tais questões:

> A dificuldade de formar uma ideia clara a respeito desse tema é aumentada pelo fato de que, além de termos que lidar com fatos novos e estranhos, temos também que usar palavras antigas em sentidos novos e inconsistentes.[58]

Uma mensagem parecia ser um objeto físico. Isso sempre foi uma ilusão — agora as pessoas precisavam dissociar conscientemente sua concepção de mensagem do papel no qual ela fora escrita. Os cientistas, explicou a *Harper's*, dirão que a corrente elétrica "*carrega* uma mensagem", mas não devemos imaginar que alguma coisa — uma *coisa* — seja transportada. Há apenas "a ação e reação de uma força imponderável, e a criação de sinais inteligíveis por meio dessa técnica a certa distância". Não surpreende que as pessoas ficassem confusas com aquele linguajar. "Esse tipo de linguagem deve continuar a ser empregado pelo mundo, talvez por muito tempo ainda."

A paisagem física também mudou. Fios espalhados por toda parte consistiam numa estranha decoração, ornamentando as ruas das cidades e também as estradas. "As empresas telegráficas estão participando de uma corrida para se apossar do ar sobre nossas cabeças",[59] escreveu um jornalista inglês, Andrew Wynter. "Onde quer que olhemos para os céus, não podemos evitar a visão de cabos espessos suspensos por fios de gaze, ou de linhas paralelas formadas por um grande número de fios que vão de poste em poste, fixados no telhado das casas e estendidos por grandes distâncias." Demorou algum tempo até que eles se perdessem na paisagem. As pessoas olhavam para os fios e pensavam em sua grandiosa carga invisível. "Eles dispõem os fios de um instrumento contra o céu",[60] segundo Robert Frost, "Nos quais palavras, sejam faladas ou transmitidas por toques/ Correm no mesmo silêncio que observavam quando eram apenas pensamento."

Os fios não se pareciam com nada na arquitetura e com poucas coisas da natureza. Os escritores em busca de similitudes pensaram em aranhas e suas teias. Pensaram em labirintos. E havia outra palavra que pareceu apropriada: a terra estava sendo coberta, diziam as pessoas, por uma *rede* de fios de ferro. "Uma rede de nervos feitos de fios de ferro, ativada pelo raio, vai se ramificar a

partir do cérebro, Nova York, para os distantes membros e órgãos”,[61] decretou o *New York Tribune*. “Toda uma rede de fios”, escreveu a *Harper’s*, “tremendo de um extremo ao outro com os sinais da inteligência humana.”[62]

Wynter fez uma previsão: “Não está distante”, escreveu ele, “o dia em que todos poderão conversar com os demais sem ter de sair de casa”.[63] Ele quis dizer “conversar” metaforicamente.

Sob mais de um aspecto, usar o telégrafo significava escrever em código.

O sistema Morse de pontos e traços não foi chamado inicialmente de código. Era chamado apenas de alfabeto: “o Alfabeto Telegráfico Morse”, na maioria das vezes. Mas não se tratava de um alfabeto. Ele não representava os sons por meio de signos. O esquema de Morse tomou o alfabeto como ponto de partida e o incrementou, por substituição, trocando signos por novos signos. Tratava-se de um meta-alfabeto, um alfabeto de segundo grau. Esse processo — a transferência de significado de um nível simbólico a outro — já tinha um lugar na matemática. De certa forma, era a própria essência da matemática. Agora, passava a ser uma presença constante na caixa de ferramentas do ser humano. Inteiramente por causa do telégrafo, no fim do século xix as pessoas se acostumaram, ou ao menos se familiarizaram, com a ideia dos códigos: signos usados para outros signos, palavras usadas em lugar de outras palavras. O movimento de um nível simbólico para outro podia ser chamado de *codificação*.

Duas motivações caminhavam juntas: sigilo e brevidade. As mensagens curtas poupavam dinheiro — isso era simples. Esse impulso foi tão poderoso que o estilo da prosa da língua inglesa logo pareceu estar sentindo seus efeitos. *Telegráfico* e *telegrafês* descreviam a nova maneira de se escrever. Os floreios da retórica eram caros demais, e alguns lamentaram isso. “O estilo telegráfico elimina todas as formas de polidez”,[64] escreveu Andrew Wynter:

> “Posso lhe pedir que me faça um favor” custa 6d. para ser transmitida a uma distância de oitenta quilômetros. Quantos desses agradáveis termos de cortesia deve o nosso pobre remetente cortar sem escrúpulos para reduzir o preço a um custo razoável?

Quase imediatamente, os repórteres dos jornais começaram a bolar métodos para transmitir mais informação usando um número menor de palavras passíveis de cobrança. “Logo inventamos um sistema de abreviações, ou cifra”,[65] gabou-se um deles,

> tão bem organizado que os recibos dos produtos, as vendas e os preços de todos os principais artigos da panificação, das provisões &c., poderiam ser enviados de Buffalo e Albany diariamente, em vinte palavras, para ambas as cidades, que, quando escritas por extenso, comporiam uma centena de palavras ou mais.

As empresas telegráficas tentaram reagir, com base na ideia de que códigos particulares seriam uma maneira de tapear o sistema, mas as cifras prosperaram. Um sistema típico atribuía palavras do dicionário a frases inteiras, organizando-as de acordo com critérios semânticos e alfabéticos. Por exemplo, todas as palavras que começavam com B se referiam ao mercado de farinha: *baal* = “O volume de negociações é inferior ao de ontem”; *babble* = “Os negócios vão bem”; *baby* = “A Western está firme, com demanda moderada por negociações domésticas e exportações”; *button* = “mercado calmo e preços fáceis”. Era necessário, claro, que remetente e destinatário trabalhassem com listas de palavras idênticas. Para os próprios operadores telegráficos, as mensagens codificadas pareciam frases desconexas e sem sentido, e isto, em si, conferiu-lhes uma virtude adicional.

Tão logo as pessoas conceberam a ideia de enviar mensagens pelo telégrafo, elas se preocuparam com a possibilidade de sua comunicação ser exposta ao restante do mundo — no mínimo, aos operadores telegráficos, desconhecidos em quem não se podia confiar e que inevitavelmente leriam as palavras que transmitiam por meio de seus dispositivos. Comparadas às cartas escritas, dobradas e seladas com cera, as mensagens telegráficas pareciam demasiadamente públicas e inseguras — mensagens que passavam por misteriosos conduítes, os fios elétricos. O próprio Vail escreveu em 1847: “A grande vantagem que este telégrafo possui na transmissão de mensagens com a

rapidez do raio, aniquilando tempo e espaço, poderia talvez ser muito diminuída em sua utilidade se não pudesse se beneficiar do emprego de um alfabeto secreto”.[66] Ele disse que havia “sistemas”…

> por meio dos quais uma mensagem pode passar entre dois correspondentes, através do suporte do telégrafo, e ainda assim ter seu conteúdo mantido num profundo sigilo para todos os demais, incluindo os operadores das estações telegráficas, por cujas mãos ela tem de passar.

Tudo isso era muito difícil. O telégrafo servia não apenas como um dispositivo, mas como um suporte — um meio, um estado intermediário. A mensagem passa por esse suporte. Além da mensagem, é preciso considerar também seu conteúdo. Mesmo quando a mensagem tem de ser exposta, seu conteúdo pode ser ocultado. Vail explicou o que queria dizer com *alfabeto secreto*: um alfabeto cujos caracteres tivessem sido “transpostos ou trocados entre si”.

> Então, a representante de *a*, no alfabeto *permanente*, pode ser representada por *y*, ou *c*, ou *x*, no alfabeto *secreto*; e o mesmo se aplica a todas as demais letras.

Assim, “A firma de G. Barlow & Co. foi à bancarrota” se torna “H stwzh rn & Qhwkyf p Iy syt h qhcihwwyeh”. Para ocasiões menos delicadas, Vail propôs o uso de versões abreviadas das frases mais comuns. Em vez de “transmita meu amor a”, ele sugeriu o envio de “tmaa”. E propôs também algumas outras sugestões:

> msem Minha saúde está melhorando
>
> pdac Preço das ações caiu
>
> smfr Sua mensagem foi recebida
>
> qdseam Quando deve ser entregue a mercadoria?
>
> atopdo Aceita trocar ouro por dinheiro oriental?

Todos esses sistemas exigiam a definição de um arranjo prévio entre emissor e receptor: a mensagem teria de ser suplementada, ou alterada, por um

conhecimento preexistente partilhado por ambas as partes. Um repositório conveniente para esse conhecimento era um livro de códigos, e, quando a primeira linha Morse foi aberta para os negócios, um de seus principais investidores e promotores, o congressista Francis O. J. Smith, também conhecido como Fog, do Maine, produziu um livro desse tipo: *O vocabulário secreto correspondente; Adaptado para o uso no telégrafo eletromagnético de Morse: e também para a troca de correspondência escrita, transmitida pelo correio ou por outro meio*.[67] Não era nada além de uma lista alfabética e numerada de 56 mil palavras da língua inglesa, de *Aaronic* a *zygodactylous*, além das instruções. "Suponhamos que a pessoa que escreve e a pessoa a quem se endereça a mensagem tenham em mãos um exemplar desta obra", explicou Smith. "Em vez de se comunicarem por meio de palavras, elas enviam apenas números, ou uma parte em números e uma parte em palavras." Para garantir uma segurança ainda maior, eles podiam concordar antecipadamente em acrescentar ou subtrair um número particular de sua escolha, ou números diferentes para palavras alternativas. "Alguns substitutos convencionais desse tipo", prometeu ele, "tornarão a linguagem ininteligível para todos aqueles que não estiverem a par do combinado."

Os criptógrafos tinham uma história misteriosa, e seus segredos eram transmitidos por meio de manuscritos clandestinos, como ocorria no caso dos alquimistas. Agora a criação de códigos emergia para a luz, exposta nos meandros do comércio, inspirando a imaginação popular. Nas décadas seguintes, muitos outros esquemas foram inventados e publicados. Iam de panfletos baratos a volumes de centenas de páginas impressos em letras pequenas e apertadas. De Londres veio o *Código de três letras para a troca de mensagens e correspondências telegráficas condensadas, secretas e inescrutáveis*, de E. Erskine Scott. Ele era contador e estatístico do ramo dos seguros e, como tantas outras pessoas envolvidas no ramo dos códigos, um homem evidentemente movido por uma obsessão por dados. Os telégrafos abriram um mundo de possibilidades para pessoas com esse perfil — catalogadores e taxonomistas, escritores profissionais e numerólogos, colecionadores de todo tipo. Os capítulos de Scott incluíam não apenas um vocabulário de palavras comuns e combinações entre duas palavras como também nomes geográficos, nomes cristãos, nomes de

todas as ações cotadas na Bolsa de Valores de Londres, todos os dias do ano, todos os regimentos pertencentes ao Exército britânico, os nomes dos navios e os nomes de todos os nobres do reino. A organização e a numeração de todos esses dados tornaram possível também uma forma de compressão. Encurtar mensagens significava poupar dinheiro. Os fregueses perceberam que a mera substituição de palavras por números ajudava pouco, quando ajudava: o custo de envio de “3747” era o mesmo de “azotita”. Assim, os livros de códigos se tornaram livros de frases. Seu objetivo era uma espécie de empacotamento de mensagens em cápsulas, impenetráveis para os olhares bisbilhoteiros e adaptadas para uma transmissão eficiente. E, claro, seu desempacotamento na extremidade do receptor.

Um volume que se mostrou particularmente bem-sucedido nas décadas de 1870 e 1880 foi o *Código Telegráfico Elétrico Comercial Universal A B C*, projetado por William Clauson-Thue.[68] Ele anunciou seu código a “financistas, mercadores, donos de navios, corretores, agentes, &c.”. Seu lema: “Simplicidade e Economia Palpáveis, Sigilo Absoluto”. Clauson-Thue, outro obcecado por informações, tentou organizar o idioma inteiro — ou ao menos os termos empregados no comércio — em frases, que seriam então organizadas por palavra-chave. O resultado é um peculiar feito lexicográfico, uma janela para a vida econômica de uma nação, e um tesouro de estranhas nuances e lirismo desavisado. Para a palavra-chave *pânico* (atribuída aos números 10054-10065), o inventário inclui:

Um grande pânico prevalece em _____

O pânico está diminuindo

O pânico continua

O pior do pânico já passou

O pânico pode ser considerado encerrado

Para *chuva* (11310-11330):

Não posso trabalhar por causa da chuva

A chuva trouxe resultados muito positivos

A chuva provocou grande estrago

A chuva está agora caindo com força

Tudo indica que a chuva vai continuar

Chuva tem sido muito necessária

Chuva ocasional

Chuva por toda parte

Para *destroço* (15388-15403):

Soltou-se da âncora e transformou-se em destroços

Acho melhor vender os destroços no estado em que se encontram

Todos os cuidados serão tomados para salvar os destroços

Deve se tornar um destroço completo

Autoridades alfandegárias venderam os destroços

Cônsul envolveu homens para recuperar destroços

Sendo o mundo cheio de coisas e também de palavras, ele pretendeu também designar números para tantos nomes próprios quanto pudesse listar: nomes de estradas de ferro, bancos, minas, mercadorias, embarcações, portos e ações (britânicos, coloniais e estrangeiros).

Enquanto as redes telegráficas transpunham os oceanos e se espalhavam pelo globo, e as tarifas internacionais chegavam a muitos dólares por palavra, os livros de códigos prosperaram. Os fatores econômicos eram ainda mais preponderantes do que o sigilo. A tarifa transatlântica original era de aproximadamente cem dólares por mensagem — um telegrama, como se dizia — de dez palavras. Por pouco menos, as mensagens podiam viajar da Inglaterra à Índia, passando pela Turquia ou Pérsia e então pela Rússia. Para poupar nas tarifas, intermediários inteligentes bolaram uma prática conhecida como “empacotamento”. Um empacotador reuniria, por exemplo, quatro mensagens, cada qual contendo cinco palavras, e as enviaria por meio de um telegrama de preço fixo contendo vinte palavras. Os livros de códigos se tornaram maiores, e

os códigos, menores. Em 1885, a W. H. Beer & Company, de Covent Garden, publicou um popular *Código telegráfico de bolso*, ao preço de um pêni, contendo "mais de trezentos telegramas de uma só palavra", devidamente organizados por tema. Os temas considerados essenciais eram Apostas ("Qual é a quantia que devo apostar nas condições atuais?"), Sapataria ("As botas não servem, mande buscá-las imediatamente"), Lavadeiras ("Peça que a lavagem seja feita hoje") e Clima — Relacionado às Viagens ("Está chovendo demais para fazer a travessia hoje"). E uma página em branco era destinada a "Códigos Secretos. (Preencha de acordo com o combinado com amigos.)". Havia códigos especializados para as estradas de ferro, para os barcos e para ramos profissionais que iam da farmácia à tapeçaria. Os maiores e mais caros livros de códigos tomavam emprestado livremente o conteúdo uns dos outros. "Foi trazido à atenção do autor que algumas pessoas compraram um único exemplar do 'Código Telegráfico A B C' para usá-lo na elaboração de seus próprios códigos",[69] queixou-se Clauson-Thue. "O autor gostaria de lembrar que uma operação desse tipo consiste numa infração da Lei de Copyright, passível de se tornar alvo de um procedimento legal desagradável." Isso não passava de ameaça vazia. Na virada do século, os telegrafistas do mundo, por meio das Conferências Telegráficas Internacionais realizadas em Berna e Londres, tinham sistematizado códigos com palavras em inglês, holandês, francês, alemão, italiano, latim, português e espanhol. Os livros de códigos prosperaram e se expandiram durante as primeiras décadas do século xx, e então caíram no esquecimento.

Aos poucos, aqueles que usavam os códigos telegráficos foram descobrindo um imprevisto efeito colateral de sua eficiência e brevidade. Eles eram perigosamente vulneráveis ao menor dos erros. Como faltava a eles a redundância natural da prosa inglesa — mesmo a prosa previamente encurtada do telegrafês —, as mensagens codificadas com tanta astúcia podiam ser desorganizadas por um erro num único caractere. Por um único ponto, aliás. Em 16 de junho de 1887, por exemplo, um negociante de lã da Filadélfia chamado Frank Primrose telegrafou a seu agente no Kansas para dizer que tinha *comprado* — algo que era abreviado como *BAY* no código combinado entre eles — 500 mil libras de lã. Quando a mensagem chegou, a palavra-chave tinha se transformado em *BUY* (*comprar*). O agente começou a comprar lã e, em pouco tempo, o erro

custou a Primrose 20 mil dólares, de acordo com o processo movido por ele contra a Western Union Telegraph Company. A batalha legal se arrastou por seis anos, até que enfim a Suprema Corte deu fé às letras miúdas no verso do papel onde eram registradas as mensagens telegráficas, que especificavam um procedimento de proteção contra erros:

> Para se proteger de erros e atrasos, o remetente de uma mensagem deve ordenar que esta seja repetida; que seja enviada de volta à estação da qual se originou para fins de comparação. […] A empresa não se responsabiliza por erros cometidos em […] mensagens que não sejam repetidas […] nem por nenhum caso envolvendo mensagens cifradas ou confusas.70

A empresa telegráfica tinha de tolerar as cifras, mas não precisava gostar delas. O tribunal decidiu em favor de Primrose, concedendo-lhe uma indenização de 1,15 dólar — o preço do envio do telegrama.

A escrita secreta é tão antiga quanto a própria escrita. Quando a escrita teve início, ela era em si mesma secreta para todos, com exceção de poucos. Conforme o mistério se dissolveu, as pessoas encontraram novas maneiras de manter suas palavras sigilosas e inacessíveis. As palavras foram rearranjadas em anagramas. Invertidas no espelho. Convertidas em cifras.

Em 1641, justamente quando a Guerra Civil Inglesa teve início, um pequeno livro anônimo catalogou os muitos métodos conhecidos daquilo que chamou de “criptografia”. Incluíam até papéis e tintas especiais:[71] o suco de limões ou cebolas, ovo cru, ou “o sumo destilado da larva do vagalume”, que podem ou não ser visíveis no escuro. Como alternativa, a escrita poderia ser ocultada por meio da substituição das letras por outras letras, ou pela invenção de novos símbolos, ou pela escrita da direita para a esquerda, ou pela “transposição de cada letra, de acordo com alguma ordem incomum, como supondo que a primeira letra seja a que estiver no final da linha, e a segunda no começo, ou algo semelhante”. Ou a mensagem poderia ser escrita disposta em duas linhas:

> Oslaoetoussmlmnoadspietsueeoqeeur

soddssãqaeeaietmneurmnootrmsurca

*Os soldados estão quase sem alimento, mande suprimentos ou teremos que recuar.*

Por meio da transposição e da substituição das letras, os romanos e os judeus tinham bolado outros métodos, mais intrincados, e portanto mais obscuros.

Esse pequeno livro era intitulado *Mercúrio: ou o Mensageiro Ágil e Secreto. Mostrando como se deve fazer para comunicar seus pensamentos de maneira rápida e privada a um amigo, independentemente da distância*. O autor acabou se identificando como John Wilkins, vigário e matemático, que mais tarde se tornaria mestre do Trinity College, Cambridge, e um dos fundadores da Royal Society. “Era um homem demasiadamente engenhoso, dono de uma cabeça muito mecânica”,[72] revelou um de seus contemporâneos. “Alguém dado a pensamentos frequentes e profundos, […] luxurioso, de porte forte, corpulento, ombros largos.” Era também uma pessoa meticulosa. Por mais que fosse impossível mencionar cada cifra experimentada desde a Antiguidade, ainda assim ele incluiu tudo aquilo que um estudioso poderia saber a respeito do tema na Inglaterra do século xvii. Pesquisou as formas secretas da escrita como manual e como compêndio.

Para Wilkins, as questões da criptografia estavam próximas do problema fundamental da comunicação. Ele considerava a escrita e a escrita secreta essencialmente a mesma coisa. Deixando de lado o sigilo, expressou o problema da seguinte maneira: “Como pode um homem, com a maior agilidade e a maior rapidez possíveis, revelar suas intenções a outra pessoa que esteja distante dele”.[73] Por *agilidade* e *rapidez* ele se referia, em 1641, a algo filosófico — o nascimento de Isaac Newton só ocorreria um ano mais tarde. “Não há nada (dizemos) tão ágil quanto o pensamento”, destacou ele. Depois do pensamento, a ação mais ágil parecia ser a do olhar. Como membro do clero, ele observou que os mais rápidos dos gestos deveriam pertencer aos anjos e espíritos. Se um homem pudesse enviar um anjo numa missão, seria capaz de conduzir seus negócios independentemente da distância. O restante de nós, presos a Corpos Orgânicos, “não encontra maneira de comunicar os pensamentos de forma tão

simples e imediata”. Não surpreende, escreveu Wilkins, que os anjos sejam chamados de mensageiros.

Como matemático, ele avaliou o problema sob outro ângulo. Propôs-se a determinar como um conjunto restrito de símbolos — talvez apenas dois, três ou cinco — podia ser usado como substituto para todo um alfabeto. Eles teriam de ser usados em combinação. Um conjunto de cinco símbolos, por exemplo — a, b, c, d, e —, usados aos pares, poderia substituir um alfabeto de 25 letras:

| *A* | *B* | *C* | *D* | *E* | *F* | *G* | *H* | *I* | *K* | *L* | *M* | *N* | *O* | *P* | *Q* | *R* | *S* | *T* | *V* | *W* | *X* | *Y* | *Z* | *&* |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *aa* | *ab* | *ac* | *ad* | *ae* | *ba* | *bb* | *bc* | *bd* | *be* | *ca* | *cb* | *cc* | *cd* | *ce* | *da* | *db* | *dc* | *dd* | *de* | *ea* | *eb* | *ec* | *ed* | *ee* |

“De tal forma que”, escreveu Wilkins, “as palavras *Ser traído* podem ser escritas da seguinte forma: *Dcaedb dddbaabdadcd*”. Assim, até um conjunto pequeno de símbolos poderia ser disposto de modo a expressar qualquer mensagem. Entretanto, com um conjunto pequeno de símbolos, uma dada mensagem exige uma sequência mais longa de caracteres — “mais trabalho e tempo”, escreveu ele. Wilkins não explicou que $25 = 5^2$, nem que três símbolos tomados aos trios (aaa, aab, aac, …) produzem 27 possibilidades porque $3^3 = 27$. Mas ele compreendia claramente os princípios matemáticos envolvidos. Seu último exemplo foi o código binário, por mais estranho que fosse expressá-lo em palavras:

> Duas letras do alfabeto sendo transpostas por cinco posições resultarão em 32 diferenças e, portanto, atenderá com folga às 24 letras; às quais elas poderão ser aplicadas da seguinte maneira.

| *A* | *B* | *C* | *D* | *E* | *F* | *G* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *aaaaa* | *aaaab* | *aaaba* | *aaabb* | *aabaa* | *aabab* | *aabba* |
| *H* | *I* | *K* | *L* | *M* | *N* | *O* |
| *aabbb* | *abaaa* | *abaab* | *ababa* | *ababb* | *abbaa* | *abbab* |
| *P* | *Q* | *R* | *S* | *T* | *V* | *W* |
| *abbba* | *abbbb* | *baaaa* | *baaab* | *baaba* | *baabb* | *babaa* |
| *X* | *Y* | *Z* | | | | |
| *babab* | *babba* | *babbb* | | | | |

Dois símbolos. Em grupos de cinco. “Resultarão em 32 diferenças.”

Aquela palavra, *diferenças*, deve ter parecido aos leitores de Wilkins (por mais raros que fossem) uma escolha incomum. Mas era algo deliberado e prenhe de significado. Wilkins estava buscando uma concepção de informação em sua forma mais pura e abrangente. A escrita era apenas um caso específico: “Pois, em geral, é preciso notar que *tudo aquilo que é capaz de uma diferença competente, perceptível a qualquer um dos sentidos, pode ser um meio suficiente para a expressão de cogitações*”.[74] Uma diferença poderia ser “dois sinos de notas diferentes”; ou “qualquer objeto visual, seja chama, fumaça & cia.”; ou trompetes, canhões e tambores. Toda diferença implicava um código binário. Todo código binário dava origem à expressão de cogitações. Nesse arcano e anônimo tratado de 1641, a ideia essencial da teoria da informação brotou na superfície do pensamento humano, viu a própria sombra e desapareceu novamente por trezentos anos.

As contribuições dos diletantes são o que o historiador da criptografia David Kahn chama de era de excitação detonada pelo advento do telégrafo.[75] Um renovado interesse público pelas cifras emergiu justamente num momento em que o tema florescia em determinados círculos intelectuais. Métodos antigos de escrita sigilosa atraíam um estranho conjunto de pessoas, criadores de charadas e jogadores, de inclinações poéticas ou matemáticas. Eles analisaram os antigos métodos de escrita secreta e inventaram alguns novos. Os teóricos debatiam na tentativa de determinar quem deveria prevalecer: o maior dos criadores de códigos ou o maior dos decifradores de códigos? O grande responsável pela popularização da criptografia na América foi Edgar Allan Poe. Em seus contos fantásticos e ensaios de revista, ele trouxe ao público aquela antiga arte e se gabou da própria habilidade de praticante. “É difícil imaginar uma época em que não tenha existido a necessidade, ou ao menos o desejo”, escreveu ele na *Graham’s Magazine* em 1841, “de transmitir informações de um indivíduo ao outro de maneira a iludir a compreensão do público em geral.”[76] Para Poe, a criação de códigos era mais do que um simples entusiasmo histórico ou técnico

— era uma obsessão. Aquilo refletia a ideia que ele fazia de como nos comunicamos com o mundo. Os criadores de códigos e os escritores traficam a mesma mercadoria. “A alma é uma cifra, no sentido criptográfico; e, quanto mais curto for um código criptográfico, maior a dificuldade de sua compreensão”,[77] escreveu ele. O segredo estava na natureza de Poe — ele preferia o mistério à transparência.

“A intercomunicação secreta deve ser quase contemporânea à criação das cartas”, declarou ele. Para Poe, isso era uma ponte entre a ciência e o oculto, entre a mente racional e a erudição.[78] A análise da criptografia — “algo sério, sendo o meio de transmitir informações” — exigia uma forma especial de poder mental, uma mente penetrante, e poderia muito bem ser ensinada nas academias. Ele repetiu de novo e de novo que “uma ação mental peculiar é exigida”. Publicou uma série de cifras de substituição como desafio a seus leitores.

Além de Poe, Júlio Verne e Honoré de Balzac também introduziram as cifras em sua ficção. Em 1868, Lewis Carroll tinha um cartão impresso nos dois lados com aquilo que ele chamava de “Cifra Telegráfica”, que empregava um “alfabeto-chave” e um “alfabeto-mensagem”,[79] que deveria ser transposto de acordo com uma palavra secreta combinada entre os correspondentes e transportada na memória de cada um deles. Porém, o mais avançado analista de criptografia na Inglaterra vitoriana era Charles Babbage. O processo de substituição por meio de símbolos, atravessando diferentes níveis de significado, jazia próximo ao cerne de muitos outros temas. E ele gostava do desafio. “Uma das características mais singulares da arte de decifrar”, asseverou ele,

> é a forte convicção presente em todas as pessoas — até mesmo naquelas apenas moderadamente familiarizadas com essa ciência — da certeza de sermos capazes de criar um código que ninguém mais saberá decifrar. Observei também que, quanto maior é a inteligência de uma pessoa, mais íntima é sua convicção.[80]

Ele próprio acreditava naquilo, a princípio, mas depois se converteu para o lado dos decifradores de códigos. Planejava escrever uma obra volumosa que seria conhecida como *A filosofia do decifrar*, mas nunca chegou a concluí-la. Por

outro lado resolveu, entre outros problemas, uma cifra polialfabética conhecida como Vigenère, *le chiffre indéchiffrable*, considerada a mais segura da Europa.[81] Assim como em suas outras obras, aplicou métodos algébricos, expressando a análise criptográfica sob a forma de equações. Ainda assim, permaneceu um diletante, e tinha consciência disso.

Quando Babbage atacou a criptografia com um cálculo, ele estava empregando as mesmas ferramentas que tinha explorado de maneira mais convencional no domínio das cifras, a matemática, e menos convencional no reino das máquinas, no qual criou um simbolismo para as partes móveis de engrenagens, alavancas e botões. Dionysius Lardner havia afirmado a respeito da notação mecânica:

> Com as várias partes do mecanismo expressas a um só tempo no papel por meio dos símbolos adequados, o investigador dispensa completamente o mecanismo de seus pensamentos, atendo-se somente aos símbolos […] um sistema quase metafísico de símbolos abstratos, por meio do qual o movimento da mão desempenha o ofício da mente.[82]

Dois ingleses mais jovens, Augustus De Morgan e George Boole, aplicaram a mesma metodologia a uma matéria ainda mais abstrata: as proposições da lógica. De Morgan era amigo de Babbage e tutor e professor de Ada Byron no University College, em Londres. Boole era filho de um sapateiro de Lincolnshire e consorte de uma lady, e na década de 1840 tornou-se professor do Queen's College, em Cork. Em 1847, eles publicaram em separado, mas simultaneamente, livros que representavam o maior marco no desenvolvimento da lógica desde Aristóteles: a *Análise matemática da lógica, sendo um ensaio no sentido de um cálculo do raciocínio dedutivo*, de Boole, e *Lógica formal: Ou, os cálculos da inferência, necessários e prováveis*, de De Morgan. O tema, esotérico como era, permanecera estagnado por séculos.

De Morgan conhecia melhor as tradições escolásticas do assunto, mas Boole era um matemático mais original, de pensamento livre. Pelo correio, durante anos, eles trocaram ideias a respeito de como converter a linguagem, ou a verdade, em símbolos algébricos. *X* poderia significar "vaca" e *Y*, "cavalo". Isso

poderia significar uma vaca, ou um membro do conjunto de todas as vacas. (Seriam a mesma coisa?) Seguindo a tradição da álgebra, os símbolos teriam de ser manipulados. *XY* poderia ser "nome de tudo que é *ao mesmo tempo X* e *Y*", enquanto *X, Y* significaria "nome de tudo que é *X* ou *Y*".[83] Parece simples — mas a linguagem não é simples, e as complicações surgiram. "Ora, alguns *Z*'s não são *X*'s, os *ZY*'s",[84] escreveu De Morgan em certo ponto. "Mas eles são *inexistentes*. Poderíamos dizer que os *inexistentes* não são *X*'s. Um cavalo inexistente não é sequer um cavalo; e (*a fortiori*?) não é uma vaca."

Ele acrescentou com certa melancolia: "Não me desespero ao vê-lo conferir significado a esse novo tipo de quantidade negativa". Ele não enviou essa mensagem pelo correio nem a jogou fora.

Boole enxergava seu sistema como uma matemática sem números. "Trata-se simplesmente de um fato", escreveu ele, "que as leis definitivas da lógica — aquelas que são suficientes para a construção de uma ciência da lógica — são matemáticas em sua forma e expressão, apesar de não pertencerem à matemática das quantidades."[85] Ele propôs que os únicos números permitidos fossem 0 e 1. Era tudo ou nada: "A respectiva interpretação dos símbolos 0 e 1 no sistema da lógica é *Nada* e *Universo*".[86] Até então, a lógica pertencera ao domínio da filosofia. Boole estava reivindicando sua posse em nome da matemática. Ao fazê-lo, projetou uma nova forma de codificação. Seu livro de códigos reunia dois tipos de simbolismo, cada qual uma distante abstração do mundo das coisas. De um lado havia um conjunto de caracteres derivados do formalismo da matemática: *p*'s e *q*'s, +'s e –'s, colchetes e parênteses. Do outro havia as operações, proposições, relações habitualmente expressas na ruidosa e mutável fala da vida cotidiana: palavras a respeito da verdade e da falsidade, do pertencimento a classes, de premissas e conclusões. Havia "partículas": *se*, *ou*, *e*. Esses eram os elementos do credo de Boole:

> A linguagem é um instrumento da razão humana, e não apenas um meio para a expressão do pensamento.
>
> Os elementos a partir dos quais toda a linguagem se constitui são os signos e os símbolos.
>
> As palavras são signos. Às vezes dizemos que elas representam coisas; outras vezes, as operações por meio das quais a mente reúne as simples ideias de coisas e as transforma em concepções complexas.

> As palavras […] não são as únicas coisas que somos capazes de empregar. Marcações arbitrárias, que falam somente ao olhar, e sons arbitrários ou ações […] pertencem igualmente à natureza dos signos.[87]

A codificação, a conversão de uma modalidade em outra, servia a um propósito. No caso do código Morse, o propósito era converter a linguagem do dia a dia em uma forma adequada à transmissão quase instantânea ao longo de quilômetros de fios de cobre. No caso da lógica simbólica, a nova forma se prestava à manipulação por meio de um cálculo. Os símbolos eram como pequenas cápsulas, protegendo sua delicada carga do vento e da neblina da comunicação do dia a dia. Era muito mais seguro escrever:

$$1 - x = y(1 - z) + z(1 - y) + (1 - y)(1 - z)$$

do que a proposição em linguagem real, que, num típico exemplo booleano, essa expressão representava:

> *Animais sujos são todos aqueles que têm o casco fendido e não ruminam, todos os que ruminam sem ter o casco fendido, e todos aqueles que não têm o casco fendido nem ruminam.*[88]

A segurança vinha em grande parte do processo de esvaziar as palavras de significado. Os signos e símbolos não serviam apenas para marcar determinados lugares — eles funcionavam como operadores, como as engrenagens e alavancas de uma máquina. A linguagem, afinal, é um instrumento.

Ela era agora vista como um instrumento distinto, dotado de duas funções separadas: expressão e pensamento. O pensamento vinha primeiro, ou ao menos foi o que as pessoas supuseram. Para Boole, a lógica *era* pensamento — refinado e purificado. Ele escolheu *As leis do pensamento* como título para sua obra-prima de 1854. Não por coincidência, os telegrafistas também tinham a sensação de estar gerando novos entendimentos da arte de transmitir mensagens dentro do cérebro. “Uma palavra é uma ferramenta para o pensamento”,[89] afirmava um

ensaísta na *Harper's New Montlhy Magazine* em 1873.

> Talvez a influência mais importante e estendida que o telégrafo está destinado a exercer na consciência humana seja aquela que finalmente se fará sentir em sua influência sobre a linguagem […] seguindo o princípio que Darwin descreve como seleção natural, as palavras curtas estão obtendo uma vantagem em relação às mais longas, formas diretas de expressão estão obtendo vantagem em relação às indiretas, palavras de significado preciso estão consolidando sua vantagem em relação às ambíguas, e as expressões locais se veem em desvantagem por toda parte.

A influência de Boole foi lenta e sutil. Ele se correspondeu com Babbage apenas por um breve período — os dois nunca se encontraram. Um de seus defensores era Lewis Carroll, que, quase no fim da vida, 25 anos depois de *Alice no País das Maravilhas*, escreveu dois volumes de instruções, charadas, diagramas e exercícios de lógica simbólica. Apesar de seu simbolismo impecável, seu silogismo era um pouco caprichoso:

> (1) Bebês são ilógicos.
>
> (2) Não se despreza ninguém que saiba cuidar de um crocodilo.
>
> (3) Pessoas ilógicas são desprezadas.
>
> (Concl.) Bebês não sabem cuidar de crocodilos.90

A versão simbólica — $b_1 d_0 \dagger a c_0 \dagger d'_1 c'_0$; $b d _ - \dagger d _ - ' c' \dagger a c \P b a_0 \dagger b_1$, ou seja, $\P\ b_1 a_0$ —, depois de ser devidamente exaurida de significado, permitia ao usuário chegar à conclusão desejada sem tropeçar em desajeitadas proposições intermediárias do tipo "bebês são desprezados".

Na virada do século, Bertrand Russell fez a George Boole um extraordinário elogio: "A matemática pura foi descoberta por Boole, numa obra que ele chamou de *Leis do pensamento*".[91] Isso foi citado muitas vezes. O que torna tal elogio extraordinário é o complemento que se segue a ele, raramente citado:

> Ele estava também errado em supor que lidava com as leis do pensamento: a questão de como as pessoas pensam era bastante irrelevante para ele, e caso seu livro de fato contivesse as leis do

pensamento, é curioso que ninguém tivesse pensado antes de acordo com aquele modelo.

Parecia até que Russell tinha uma inclinação por paradoxos.

---

a Mas o conde Miot de Melito afirmou em suas memórias que Chappe entregou sua ideia ao Gabinete da Guerra sob o nome de *tachygraphe* (“leitor ágil”) e que ele, Miot, propusera *télégraphe* em vez daquilo – um termo que “se tornou, por assim dizer, parte do vocabulário corrente”. *Memoirs of Count Miot de Melito*. Trad. de Cashel Hoey e John Lillie. Londres: Sampson Low, 1881. v. 1, p. 44n.

b If you’ll only just promise you’ll none of you laugh,/ I’ll be after explaining the French telegraph!/ A machine that’s endow’d with such wonderful pow’r,/ It writes, reads, and sends news fifty miles in an hour./ […] Oh! the dabblers in lott’ries will grow rich as Jews:/ ’Stead of flying of pigeons, to bring them the news,/ They’ll a telegraph place upon Old Ormond Quay;/ Put another ’board ship, in the midst of the sea./ […] Adieu, penny-posts! mails and coaches, adieu;/ Your occupation’s gone, ’tis all over wid you:/ In your place, telegraphs on our houses we’ll see,/ To tell time, conduct lightning, dry shirts, and send news.

# 6. Novos fios, nova lógica

## (*Não há nada que esteja mais envolto pelo desconhecido*)

> *A simetria perfeita do aparato completo — o fio no meio, os dois telefones nas extremidades do fio, e as duas conversas nos extremos dos telefones — pode ser fascinante demais para um mero matemático.*
>
> James Clerk Maxwell, 18781

Uma criança curiosa numa cidade do interior dos Estados Unidos nos anos 1920 poderia naturalmente desenvolver o interesse pelo envio de mensagens por meio de fios, como ocorreu com Claude Shannon em Gaylord, no estado de Michigan. Ele via fios e arames o dia inteiro, delimitando os pastos — fios duplos de aço, retorcidos e farpados, estendidos de poste em poste. Reuniu os pedaços que pôde encontrar e improvisou seu próprio telégrafo feito de arame farpado, enviando mensagens a outro menino a oitocentos metros dali. Ele usou o código criado por Samuel F. B. Morse. Foi o que lhe pareceu mais adequado. Shannon gostava da ideia dos códigos — não apenas dos códigos secretos, mas dos códigos num sentido mais geral, palavras ou símbolos substituindo outras palavras ou símbolos. Tinha um espírito brincalhão e criativo, uma característica que manteve mesmo depois de adulto. Durante toda a vida, ele se divertiu jogando e inventando jogos. Era um aficionado por dispositivos. O Shannon adulto criava teorias a respeito do malabarismo e então fazia um malabarismo com elas. Quando pesquisadores do Massachusetts Institute of Technology ou dos Laboratórios Bell tinham de saltar para o lado para abrir espaço para um monociclo, era Shannon quem vinha passando. Apesar de brincalhão, teve uma infância um tanto solitária, algo que, somado à sua engenhosidade de inventor, ajudou a motivar a criação do seu telégrafo de arame farpado.

Gaylord não passava de algumas ruas e lojas em meio aos campos férteis e cultivados da península de Michigan.[2] Dali para a frente, cruzando as planícies e os prados até as Montanhas Rochosas, o arame farpado tinha se espalhado como capim, dando origem a grandes fortunas industriais, por mais que não se tratasse

de uma tecnologia especialmente glamourosa em meio à excitação daquela que já era chamada de Era da Eletricidade. A partir de 1874, quando um agricultor de Illinois recebeu a Patente Americana nº 157.124, correspondente a “uma nova e valiosa melhoria nas cercas de arame”, batalhas por propriedades eclodiram por toda parte, chegando finalmente à Suprema Corte, e o arame era o que definia os territórios e delimitava o campo aberto. No auge desse processo, rancheiros e agricultores americanos — bem como as empresas responsáveis pelas estradas de ferro — instalaram mais de 1 milhão de quilômetros de arame farpado ao ano. Tomadas em seu conjunto, as cercas de arame do país não formavam uma teia nem uma rede, mas sim uma espécie de barreira fragmentada. Seu objetivo era separar, e não conectar. O material se revelara um péssimo condutor da eletricidade, mesmo no tempo seco. Mas o arame não deixava de ser um fio, e Claude Shannon não foi o primeiro a enxergar essa cerca de alcance tão amplo como uma rede de comunicação em potencial. Milhares de agricultores de locais remotos tiveram a mesma ideia. Em vez de esperar que as empresas telefônicas se aventurassem fora das cidades, os habitantes rurais formaram cooperativas telefônicas de arame farpado. Eles substituíam os grampos de metal por presilhas isolantes. Anexavam baterias secas e tubos de fala e acrescentavam fios extras para preencher as lacunas. No verão de 1895, o *New York Times* informou:

> Não se pode duvidar que muitas adaptações primitivas do mecanismo do telefone andam sendo feitas. Alguns agricultores da Dakota do Sul, por exemplo, criaram para si mesmos um sistema telefônico compreendendo doze quilômetros de fios ao distribuir transmissores entre si e fazer conexões com o arame farpado que constitui as cercas naquela região do país.3

O repórter observou: “Tem ganhado força a ideia de que o dia dos telefones baratos para milhões de cidadãos está cada vez mais próximo. Ainda não sabemos se isso é apenas uma impressão ou se a ideia tem bases sólidas”. Estava claro que as pessoas desejavam essas conexões. Pecuaristas que desprezavam as cercas por criarem pequenos lotes no pasto aberto agora ligavam seus tubos de fala uns aos outros para ouvir as cotações do mercado e a previsão do tempo, ou simplesmente para escutar o simulacro atenuado de uma voz humana, o grande barato do telefone.

Três grandes ondas de comunicação elétrica formaram suas cristas em

sequência: a telegrafia, a telefonia e o rádio. As pessoas começaram a ter a sensação de que era natural possuir máquinas dedicadas ao envio e ao recebimento de mensagens. Esses dispositivos alteraram a topologia — rasgaram o tecido social e o reconectaram, acrescentando portões de entrada e junções onde antes havia apenas um distanciamento vazio. Já na virada do século xx, havia a preocupação com os efeitos inesperados dessa novidade sobre o comportamento social. O superintendente da linha em Wisconsin se queixou do "constante uso do arame" feito pelos jovens de ambos os sexos entre Eau Claire e Chippewa Falls. "Esse uso gratuito da linha para o propósito dos flertes cresceu até chegar a um estágio alarmante", escreveu ele, "e, se esse uso prosseguir, alguém deverá pagar por isso." As empresas telefônicas tentaram desencorajar as ligações frívolas, particularmente entre as mulheres e sua criadagem. Um espírito mais livre prevalecia nas cooperativas de agricultores, que conseguiram evitar o pagamento às empresas telefônicas até meados da década de 1920. A Associação Telefônica da Linha Leste de Montana — composta de oito membros — enviava boletins de notícias "atualizadíssimos" por sua rede, porque os homens também possuíam um rádio.[4] E as crianças também queriam participar desse jogo.

Claude Elwood Shannon, nascido em 1916, recebeu o nome completo do pai, um empreendedor autônomo — no ramo de mobília, funerais e imóveis — e juiz de sucessões, que já estava na meia-idade quando o menino veio ao mundo. O avô de Claude, um agricultor, tinha inventado uma máquina que lavava roupas: uma banheira à prova de vazamentos com um braço de madeira e um desentupidor. A mãe de Claude, Mabel Catherine Wolf, filha de imigrantes alemães, trabalhava como professora de idiomas e foi diretora de escola durante algum tempo. A irmã mais velha, Catherine Wolf Shannon (seus pais eram bem conservadores na hora de dar nome aos filhos), estudava matemática e às vezes divertia Claude com charadas. Eles moravam na rua central, alguns quarteirões ao norte da rua principal. A cidade de Gaylord contava com pouco mais de 3 mil almas, mas isso era suficiente para sustentar uma fanfarra com uniformes teutônicos e instrumentos reluzentes e, no primário, Claude tocava uma saxotrompa alto mais larga do que o próprio peito. Ele tinha jogos de engenharia e livros. Fazia miniaturas de aviões e ganhava dinheiro entregando telegramas

para o escritório local da Western Union. Solucionava criptogramas. Quando deixado sozinho, lia e relia livros; uma das histórias que amava era “O escaravelho de ouro”, de Edgar Allan Poe, que se passava numa remota ilha do sul, protagonizada por um peculiar William Legrand, homem de “cérebro excitável” e “uma capacidade mental incomum”, mas “sujeito a temperamentos perversos alternando entusiasmo e melancolia”[5] — em outras palavras, uma versão de seu criador. Protagonistas engenhosos eram uma exigência da época, e foram devidamente conjurados por Poe e outros escritores visionários, como Arthur Conan Doyle e H. G. Wells. O herói de “O escaravelho de ouro” encontra um tesouro enterrado ao decifrar um código secreto escrito no pergaminho. Poe enumera a série de numerais e símbolos (“traçados de maneira rudimentar, em tinta vermelha, entre a caveira e o bode”) — 53‡‡†305) )6* ;4826)4‡.)4‡) ;806* ;48†8¶60) )85;1‡(;:‡*8†83(88) 5*‡ ;46(;88*96*?;8) *‡(;485) ;5*†2:*‡(;4956*2(5*–4) 8§8* ;4069285) ;)6†8)4‡‡;1 (‡9;48081 ;8:8‡1 ;48†85;4)485†528806*81 (‡9:48;(88;4 (‡?34;48)4‡;161;:188; ‡?; — e ajuda o leitor a acompanhar cada reviravolta de sua construção e desconstrução. “As circunstâncias, e certas tendências mentais, me levaram a desenvolver o interesse por charadas desse tipo”,[6] proclama seu sombrio herói, cativando um leitor que pode apresentar as mesmas tendências mentais. A solução leva ao ouro, mas ninguém se importa com o ouro, na verdade. A emoção está no código: mistério e transmutação.

Claude concluiu o ensino médio na escola de Gaylord em três anos em vez de quatro e, em 1932, foi para a Universidade de Michigan, onde estudou engenharia elétrica e matemática. Pouco antes de se formar, em 1936, viu um cartão-postal num quadro de avisos anunciando um emprego para alunos de pós-graduação no Massachusetts Institute of Technology. Vannevar Bush, então diretor do departamento de engenharia, estava procurando um assistente de pesquisas para usar uma máquina de nome peculiar: o Analisador Diferencial. Tratava-se de uma plataforma metálica de cem toneladas cheia de eixos e engrenagens em movimento. Nos jornais, o aparelho era chamado de “cérebro mecânico” ou “máquina pensante”. Na época eram comuns manchetes deste tipo:

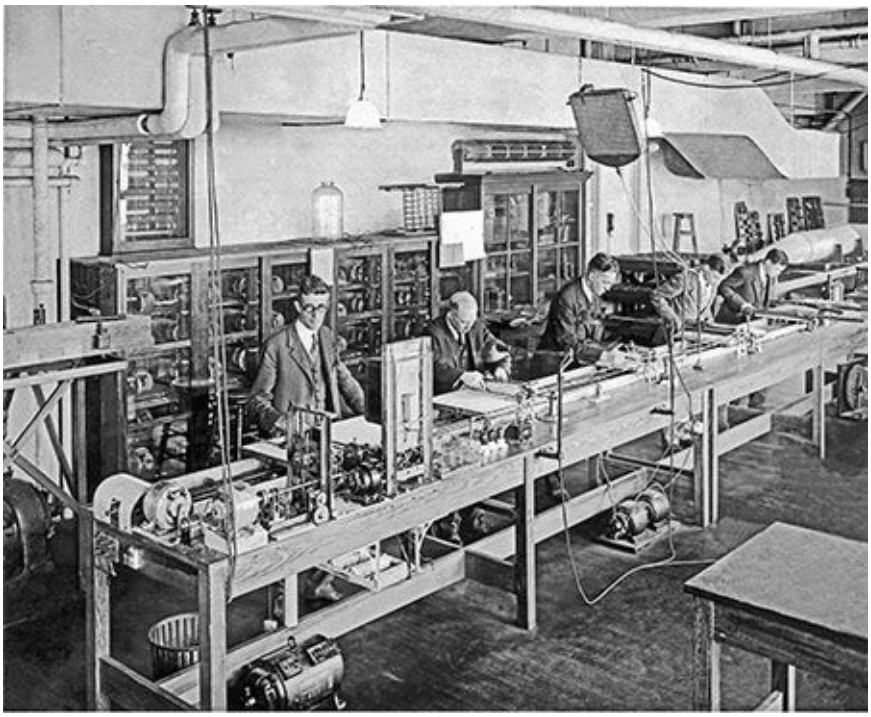
“Máquina Pensante” resolve problemas da matemática avançada;
soluciona equações que os humanos levariam meses para resolver7

A Máquina Diferencial e a Máquina Analítica de Charles Babbage pairavam como fantasmas ancestrais, mas, apesar dos ecos de nomenclatura e da similaridade de seu propósito, o Analisador Diferencial não devia quase nada a Babbage. Bush mal tinha ouvido falar dele. Como Babbage, Bush odiava o caráter trabalhoso e entorpecente do mero cálculo. “Um matemático não é um homem capaz de manipular os números com rapidez; muitas vezes ele não consegue fazê-lo”, escreveu Bush. “Ele é acima de tudo um indivíduo habilidoso no uso da lógica simbólica num nível elevado e, especialmente, é um homem de discernimento intuitivo.”[8]

Nos anos seguintes à Primeira Guerra Mundial, o mit era um dos três principais pontos do país para a crescente ciência prática da engenharia elétrica, ao lado dos Laboratórios Telefônicos Bell e da General Electric. Era também um lugar onde havia uma voraz necessidade de solucionar equações — em particular as equações diferenciais, e em especial as equações diferenciais de segunda ordem. As equações diferenciais expressam proporções de mudança, como no caso dos projéteis balísticos e das correntes elétricas oscilantes. As equações diferenciais de segunda ordem tratam de proporções de mudança dentro de proporções de mudança: da posição à velocidade, passando pela aceleração. São difíceis de solucionar analiticamente, e surgem por toda parte. Bush projetou sua máquina para lidar com toda essa classe de problemas e, portanto, com toda a gama de sistemas físicos que os geravam. Como as máquinas de Babbage, era essencialmente mecânica, embora usasse motores elétricos para fazer funcionar o pesado aparato e, no decorrer de sua evolução, tenha sido incorporado a ela um número cada vez maior de interruptores eletromecânicos com função de controle.

Ao contrário da máquina de Babbage, esta não manipulava os números. Funcionava com base nas quantidades — gerando curvas, como Bush gostava de dizer, para representar o futuro de um sistema dinâmico. Diríamos hoje que o

aparato era analógico em vez de digital. Suas rodas dentadas e seus discos eram dispostos de modo a produzir uma analogia física das equações diferenciais. De certa forma, tratava-se de um descendente monstruoso do planímetro, um pequeno dispositivo de medição que traduzia a integração das curvas nos movimentos de uma roda. Professores e alunos procuravam o Analisador Diferencial em momentos de desespero e, quando era possível solucionar suas equações com uma margem de erro de 2%, o operador da máquina, Claude Shannon, ficava feliz. Fosse como fosse, ele estava totalmente cativado por aquele "computador", não apenas pela parte analógica, cujos elementos interagiam ruidosamente entre si no espaço de todo um cômodo, mas também pelos controles elétricos, quase silenciosos (exceção feita ao ocasional clique).[9]



*O Analisador Diferencial de Vannevar Bush no MIT.*

Os controles eram de dois tipos: interruptores comuns e interruptores especiais chamados de relés — descendente direto do telégrafo. O relé era um interruptor elétrico controlado pela eletricidade (um esquema cíclico). No caso do telégrafo, o objetivo era chegar a pontos distantes por meio do estabelecimento de uma cadeia. Para Shannon, o problema não era a distância, e sim o controle. Uma centena de relés, intrincadamente interconectados, ligando-se e desligando-se numa sequência particular, coordenavam o Analisador

Diferencial. Os melhores especialistas em complexos circuitos de relés eram engenheiros telefônicos — os relés controlavam o direcionamento das chamadas, bem como o maquinário das linhas de montagem das fábricas. Os circuitos dos relés eram projetados para cada caso específico. Ninguém tinha pensado em estudar a ideia sistematicamente, mas Shannon estava à procura de um tema para sua tese de mestrado, e enxergou nisso uma possibilidade. No último ano de faculdade ele tinha feito um curso de lógica simbólica e, quando tentou criar uma lista organizada das possíveis disposições dos circuitos ativados por interruptores, teve uma súbita sensação de *déjà vu*. De uma maneira profundamente abstrata, esses problemas se alinhavam. A peculiar notação artificial da lógica simbólica, a "álgebra" de Boole, podia ser usada para descrever circuitos.

Era uma conexão estranha de se fazer. Os mundos da eletricidade e da lógica pareciam distantes demais um do outro. Ainda assim, como Shannon percebeu, aquilo que um relé passa adiante de um circuito para o outro na verdade não é a eletricidade, e sim um fato: o fato de o circuito estar aberto ou fechado. Se um circuito está aberto, então o relé pode fazer com que o circuito seguinte se abra. Mas o arranjo inverso também é possível, o arranjo negativo: quando um circuito está aberto, o relé pode fazer o circuito seguinte se fechar. Descrever com palavras essas possibilidades era algo meio sem sentido — seria mais fácil reduzir a descrição a símbolos e, para um matemático, era natural manipular os símbolos por meio de equações. (Charles Babbage tinha dado alguns passos nesse sentido com sua notação mecânica, embora Shannon nada soubesse a respeito.)

"Um cálculo é desenvolvido para a manipulação dessas equações por meio de simples processos matemáticos" — com esse chamado à ação, Shannon começou sua tese em 1937. Até aquele momento, as equações representavam apenas combinações de circuitos. Então, "demonstra-se que o cálculo é uma analogia exata do cálculo de proposições usadas no estudo simbólico da lógica". Como Boole, Shannon mostrou que só precisava de dois números para suas equações: 0 e 1. O 0 representava um circuito fechado; o 1 representava um circuito aberto. Ligado ou desligado. Sim ou não. Verdadeiro ou falso. Shannon

investigou as consequências. Começou com casos simples: circuitos de dois interruptores, em série ou em paralelo. Shannon destacou que os circuitos em série correspondiam ao conectivo lógico *e*, ao passo que os circuitos em paralelo tinham o efeito de *ou*. Uma operação lógica que podia ser equiparada eletricamente era a negação, convertendo um valor em seu oposto. Como na lógica, ele percebeu que os circuitos eram capazes de fazer escolhas do tipo "se…, então…". Antes que tivesse terminado, já havia analisado redes nos formatos "estrela" e "entrelaçado" de crescente complexidade, por meio da definição de postulados e teoremas para lidar com sistemas de equações simultâneas. Ele deu sequência a essa torre de abstração com exemplos práticos — invenções criadas no papel, algumas delas práticas e outras apenas curiosidades. Shannon criou um diagrama para o projeto de uma tranca elétrica de combinação, que seria composta de cinco interruptores em forma de botões. Bolou um circuito capaz de "somar automaticamente dois números, usando apenas relés e interruptores".[10] A título de conveniência, sugeriu uma aritmética que usava a base dois. "É possível realizar complexas operações matemáticas com o uso de circuitos de relés", escreveu ele. "Na verdade, toda operação que possa ser completamente descrita num número finito de passos usando as palavras *se*, *ou*, *e* etc. pode ser feita automaticamente com relés." Como tema de pesquisa para um estudante de engenharia elétrica, isso era algo totalmente desconhecido: uma tese típica envolvia aprimoramentos para motores elétricos ou linhas de transmissão. Não existia a necessidade prática de uma máquina capaz de solucionar enigmas lógicos, mas aquilo apontava para o futuro. Circuitos lógicos. Aritmética binária. Bem ali, na tese de mestrado de um assistente de pesquisas, estava a essência da futura revolução dos computadores.

Shannon passou um verão trabalhando nos Laboratórios Telefônicos Bell, em Nova York, e depois, por sugestão de Vannevar Bush, trocou a engenharia elétrica pela matemática no mit. Bush sugeriu também que ele considerasse a possibilidade de aplicar uma álgebra de símbolos — sua "álgebra incomum"[11] — à nascente ciência da genética, cujos elementos básicos, os genes e

cromossomos, eram ainda pouco compreendidos. Desse modo, Shannon começou a trabalhar numa ambiciosa dissertação de doutorado que receberia o nome de “Uma álgebra da genética teórica”.[12] Os genes, como ele destacou, eram uma construção teórica. Acreditava-se que fossem transportados nos corpos afilados conhecidos como cromossomos, que podiam ser vistos ao microscópio, mas ninguém sabia ao certo como os genes se estruturavam ou mesmo se de fato eram reais. “Ainda assim”, como destacou Shannon,

> é possível, para nossos fins, agir como se eles assim fossem. […] Portanto, falaremos como se os genes de fato existissem e como se nossa simples representação dos fenômenos hereditários fosse realmente verdadeira, já que, até onde podemos discernir, pode bem ser que as coisas sigam este modelo.

Ele projetou um arranjo de letras e números de modo a representar “fórmulas genéticas” de um indivíduo — dois pares de cromossomos e quatro posições de genes, por exemplo, podiam ser representados assim:

$A_1\ B_2\ C_3\ D_5\ E_4\ F_1\ G_6\ H_1$

$A_3\ B_1\ C_4\ D_3\ E_4\ F_2\ G_6\ H_2$

Assim, os processos da combinação genética e da mestiçagem puderam ser previstos por um cálculo envolvendo adições e multiplicações. Tratava-se de uma espécie de mapa do caminho, uma distante abstração da viscosa realidade biológica. Ele explicou: “Para os não matemáticos destacamos que é comum para a álgebra moderna que os símbolos representem conceitos diferentes dos números”. O resultado foi complexo, original e bastante distinto em relação ao que outros no mesmo ramo vinham fazendo.[a] Ele nunca pensou em publicar esse material.

Enquanto isso, no início de 1939, ele escreveu a Bush uma longa carta a respeito de uma ideia mais próxima de seu feitio:

Tenho trabalhado intermitentemente na análise de algumas das propriedades fundamentais de sistemas gerais para a transmissão de informações, incluindo a telefonia, o rádio, a televisão, a telegrafia etc. Praticamente todos os sistemas de comunicação podem ser representados pela seguinte fórmula geral:13

$$f_1(t) \rightarrow \boxed{T} \rightarrow F(t) \rightarrow \boxed{R} \rightarrow f_2(t)$$

*T* e *R* representavam um transmissor e um receptor. Eles mediavam três "funções de tempo", *f*(*t*): a "informação a ser transmitida", o sinal, e o resultado — que, é claro, deveria ser idêntico ao estímulo inicial tanto quanto possível. ("Num sistema ideal, estes seriam idênticos.") Para Shannon, o problema estava no fato de os sistemas reais sempre sofrerem alguma *distorção* — um termo para o qual ele se propôs a oferecer uma rigorosa definição em forma matemática. Havia também *ruído* ("ou seja, a estática"). Shannon disse a Bush que estava tentando demonstrar alguns teoremas. Além disso, e não por mera coincidência, estava trabalhando numa máquina capaz de realizar operações matemáticas simbólicas, que faria o trabalho do Analisador Diferencial inteiramente por meio dos circuitos elétricos. Havia um longo caminho a percorrer. "Ainda que tenha conseguido progredir em vários pontos da periferia do problema, ainda estou bastante distante de resultados concretos", disse ele.

Projetei um conjunto de circuitos que vão de fato realizar a diferenciação simbólica e a integração da maioria das funções, mas o método não chega a ser abrangente nem natural o bastante para possibilitar um aperfeiçoamento satisfatório. Parte da filosofia geral subjacente à máquina parece me iludir completamente.

Ele era magérrimo, quase esquálido. As orelhas se pronunciavam um pouco em meio ao cabelo ondulado cortado curto. No segundo semestre de 1939, numa festa no apartamento na Garden Street que ele dividia com dois colegas, Shannon, tímido, estava perto da porta, ouvindo um disco de jazz no fonógrafo, quando uma jovem começou a arremessar pipoca contra ele. Era Norma Levor, uma aventureira moça nova-iorquina de dezenove anos que estudava em Radcliffe. Ela havia abandonado a escola para morar em Paris naquele verão, mas voltou quando a Alemanha nazista invadiu a Polônia — mesmo do outro lado do oceano, o espectro da guerra começava a inquietar a vida das pessoas.

Claude pareceu a ela um homem de temperamento sombrio e intelecto estimulante. Eles começaram a se encontrar todos os dias. Claude escreveu sonetos para ela, sem maiúsculas, ao estilo de e. e. cummings. Ela apreciava o amor que ele demonstrava pelas palavras, sua maneira de falar na álgebra *booooooooleana*. Em janeiro do ano seguinte, os dois já estavam casados (união civil em Boston, sem nenhuma cerimônia), e ela se mudou com Shannon para Princeton, onde ele tinha recebido uma bolsa de pós-doutorado.

A invenção da escrita catalisou a lógica, tornando possível raciocinar a respeito do raciocínio — trazer diante dos olhos um encadeamento de ideias para um exame atento —, e então, tantos séculos mais tarde, a lógica era reanimada com a invenção de máquinas capazes de trabalhar a partir de símbolos. Na lógica e na matemática, as formas mais elevadas de raciocínio, todas as peças pareciam estar se encaixando.

Ao fundir lógica e matemática num sistema de axiomas, sinais, fórmulas e provas, os filósofos pareciam estar muito próximos de um tipo de perfeição — uma certeza rigorosa e formal. Essa era a meta de Bertrand Russell e Alfred North Whitehead, os gigantes do racionalismo inglês, que publicaram sua grande obra em três volumes de 1910 a 1913. O título escolhido por eles, *Principia Mathematica*, ecoava Isaac Newton de maneira grandiloquente. A ambição dos dois era nada menos do que a perfeição de todas as formas de matemática. Isso tinha finalmente se tornado possível, afirmavam eles, por meio do instrumento da lógica simbólica, com seus sinais inconfundíveis e suas regras implacáveis. A missão deles era provar cada um dos fatos matemáticos. O processo de comprovação, quando realizado da maneira correta, deveria ser mecânico. Em contraste com as palavras, o *simbolismo* (declararam eles) possibilita uma “expressão perfeitamente precisa”. Esse fugidio objetivo foi buscado por Boole e, antes dele, por Babbage, e muito antes de ambos por Leibniz, e todos acreditavam que a perfeição do raciocínio poderia advir da codificação perfeita do pensamento. Leibniz pôde apenas imaginar isto: “uma determinada maneira de escrever a linguagem”, registrou ele em 1678, “que represente perfeitamente

as relações entre nossos pensamentos”.[14] Com uma codificação desse tipo, as falsidades lógicas seriam denunciadas de forma instantânea.

> Os caracteres seriam bastante diferentes daqueles que foram imaginados até agora. […] Os caracteres dessa forma de escrita devem servir à invenção e à avaliação assim como ocorre na álgebra e na aritmética. […] Será impossível escrever com tais caracteres as noções quiméricas [*chimères*].

Russell e Whitehead explicaram que o simbolismo é adequado aos “processos e ideias extremamente abstratos”[15] usados na lógica, com seus encadeamentos de raciocínio. A linguagem comum funciona melhor para as situações confusas e indefinidas do mundo comum. Uma afirmação do tipo *uma baleia é grande* usa palavras simples para expressar “um fato complicado”, observaram eles, ao passo que *um é um número* “nos leva, na linguagem, a uma verborragia intolerável”. A compreensão das baleias, e da grandeza, exige o conhecimento e a vivência das coisas reais, mas a compreensão de *1* e de *número*, e de todas as operações aritméticas associadas a esses conceitos, deve ser automática quando isso for expresso em símbolos dissecados.

No entanto, eles perceberam que havia alguns percalços pelo caminho — algumas das *chimères* que deveriam ser impossíveis. “Uma parte imensa do trabalho”, disseram os autores no prefácio da obra, “foi gasta com as contradições e os paradoxos que infectaram a lógica.” “Infectaram” era uma palavra forte, mas adequada para expressar a agonia dos paradoxos. Eles eram um câncer.

Alguns eram conhecidos desde a Antiguidade:

> Epimênides, de Creta, disse que todos os cretenses eram mentirosos, e que todas as demais afirmações feitas pelos cretenses seriam sem dúvida mentiras. Seria isso uma mentira?16

Uma formulação mais clara do paradoxo de Epimênides — mais clara porque dispensa a preocupação com os cretenses e suas qualidades — é o paradoxo do mentiroso: *Esta afirmação é falsa*. A afirmação não pode ser verdadeira, pois então será falsa. Não pode ser falsa, pois então se tornará verdadeira. Não é

verdadeira nem falsa, ou então é ambas as coisas ao mesmo tempo. Mas a descoberta dessa circularidade tortuosa, falha e complexa não interrompe o funcionamento da vida nem da linguagem — compreende-se a ideia e as coisas continuam —, porque a vida e a linguagem não dependem de perfeição, de elementos absolutos que lhes confiram força. Na vida real, é impossível que todos os cretenses sejam mentirosos. Até os mentirosos muitas vezes dizem a verdade. O sofrimento só começa com a tentativa de construir uma embalagem hermeticamente fechada. Russell e Whitehead almejavam a perfeição — a comprovação —, caso contrário, o empreendimento não teria muito sentido. Quanto maior o rigor de sua construção, maior o número de paradoxos encontrados. "Estava no ar", escreveu Douglas Hofstadter, "que coisas de fato peculiares poderiam ocorrer quando primos modernos de vários paradoxos antigos brotassem dentro do mundo rigorosamente lógico dos números […] um paraíso puro dentro do qual ninguém imaginou que um paradoxo pudesse surgir."[17]

Um deles era o paradoxo de Berry, sugerido a Russell pela primeira vez por G. G. Berry, um bibliotecário que trabalhava na Bodleian. Tinha a ver com a contagem das sílabas necessárias para especificar cada número inteiro. É claro que, em geral, quanto maior o número, maior o número de sílabas necessárias para escrevê-lo por extenso. Em inglês, o menor número inteiro escrito com duas sílabas é o sete ("*seven*"). O menor número escrito com três sílabas é o onze ("*eleven*"). O número 121 parece exigir seis sílabas ("*one hundred twenty one*"), mas, com um pouco de astúcia, quatro sílabas bastarão: onze ao quadrado ("*eleven squared*"). Mas, mesmo recorrendo à astúcia, ainda é finito o número de sílabas possíveis e, por isso, é finito o número de nomes, e, como enunciou Russell: "Portanto os nomes de certos números inteiros devem consistir em pelo menos dezenove sílabas e, dentre esses números, deve haver um menor. Assim, *o menor número inteiro impossível de ser nomeado em menos de dezenove sílabas* deve indicar um número inteiro definido".[18] [b] É então que chegamos ao paradoxo. A frase "*the least integer not nameable in fewer than nineteen syllables*" [*o menor número inteiro impossível de ser nomeado em menos de dezenove sílabas*] contém apenas dezoito sílabas. Assim, o menor número inteiro impossível de ser nomeado em menos de dezenove sílabas acaba de ser nomeado

em menos de dezenove sílabas.

Outro dos paradoxos de Russell é o paradoxo do Barbeiro. O barbeiro é (digamos) aquele que barbeia todos os homens que não se barbeiam — e somente eles. Por acaso o barbeiro faz a própria barba? Se ele o faz, não o faz, e se não o faz, então ele o faz. Poucas pessoas se preocupam com charadas dessa natureza — afinal, no mundo real o barbeiro faz como bem entende e a vida continua. Tendemos a sentir como se, nas palavras de Russell, "toda a forma das palavras fosse apenas um ruído sem significado".[19] Mas o paradoxo não pode ser dispensado com tamanha facilidade quando um matemático examina um tema conhecido como a teoria dos conjuntos, ou teoria das classes. Conjuntos são grupos de coisas — números inteiros, por exemplo. O conjunto 0, 2, 4 tem como membros números inteiros. Um conjunto pode também ser membro de outros conjuntos. O conjunto 0, 2, 4, por exemplo, pertence ao conjunto dos *conjuntos dos números inteiros* e também ao conjunto dos *conjuntos com três membros*, mas não pertence ao conjunto dos *conjuntos de números primos*. Assim, Russell definiu um determinado conjunto da seguinte maneira:

> *S* é o conjunto de todos os conjuntos que não são membros de si mesmos.

Essa versão é conhecida como paradoxo de Russell. Isso não pode ser dispensado como mero ruído.

Para eliminar o paradoxo de Russell, ele adotou medidas drásticas. O fator problemático parecia ser a recorrência peculiar contida na afirmação polêmica: a ideia de conjuntos que pertenciam a conjuntos. A recorrência era o oxigênio que alimentava a chama. Da mesma maneira, o paradoxo do mentiroso depende de afirmações a respeito de afirmações. "Esta afirmação é falsa" é um exemplo de metalinguagem: linguagem que trata da linguagem. O paradoxal conjunto de Russell depende de um metaconjunto: um conjunto de conjuntos. Assim, o problema estava no cruzamento entre os níveis, ou, nos termos escolhidos por Russell, na mistura entre tipos. A solução dele: declarar isso uma ilegalidade, um tabu, algo proibido. Não se pode misturar diferentes níveis de abstração. Nada de autorreferência, nada de autocontenção. As regras do simbolismo em *Principia*

*Mathematica* não permitiam o retorno cíclico semelhante à cobra que devora o próprio rabo, que parecia ativar a possibilidade da autocontradição. Essa era a barreira de segurança imposta por ele.

Eis que entra em cena Kurt Gödel.

Gödel nasceu em 1906 na cidade de Brno, no centro da província checa da Morávia. Estudou física na Universidade de Viena, 120 quilômetros ao sul, e aos 21 anos tornou-se integrante do Círculo de Viena, um grupo de filósofos e matemáticos que se reunia com regularidade em enfumaçados cafés como o Café Josephinum e o Café Reichsrat para propor a lógica e o realismo como defesas contra a metafísica — termo usado por eles para se referir ao espiritualismo, à fenomenologia e à irracionalidade. Gödel lhes falou a respeito da Nova Lógica (essa expressão estava no ar) e, pouco depois, sobre a metamatemática — *der Metamathematik*. A metamatemática não estava para a matemática assim como a metafísica estava para a física. Tratava-se de uma matemática de segundo grau — matemática da matemática —, um sistema formal "observado a partir de fora" ("äusserlich betrachtet").[20] Ele estava prestes a fazer a mais importante das afirmações, a demonstrar o mais importante teorema do século xx sobre o conhecimento. Ele ia assassinar o sonho de Russell de um sistema lógico perfeito. Ia mostrar que os paradoxos não eram excrescências — eram fundamentais.

Gödel elogiou o projeto de Russell e Whitehead antes de sepultá-lo: a lógica matemática era "uma ciência anterior a todas as demais", escreveu ele, "contendo as ideias e os princípios subjacentes a todas as ciências".[21] *Principia Mathematica*, a grande obra, era a encarnação de um sistema formal que tinha se tornado, em sua breve existência, tão abrangente e dominante que Gödel se referia a ele na forma abreviada: os pm. Ao falar nos pm, ele fazia menção ao sistema, e não ao livro. Nos pm, a matemática fora contida — um navio dentro de uma garrafa, não mais arremessado e agitado pelos vastos mares turbulentos. Em 1930, quando os matemáticos comprovavam alguma coisa, eles o faziam de acordo com os pm. Nos pm, como disse Gödel, "pode-se comprovar qualquer teorema usando apenas um punhado de regras mecânicas".[22]

*Qualquer* teorema: pois o sistema era completo, ou afirmava sê-lo. Regras

*mecânicas*: pois a lógica operava inexoravelmente, sem espaço para as variações da interpretação humana. Seus símbolos tinham sido exauridos de significado. Qualquer pessoa poderia verificar uma comprovação passo a passo simplesmente seguindo as regras, sem compreender o processo. Descrever essa qualidade como mecânica era algo que evocava os sonhos de Charles Babbage e Ada Lovelace, máquinas trabalhando com números, e números representando absolutamente tudo.

Em meio à malfadada cultura de Viena da década de 1930, ouvindo os amigos debatendo a Nova Lógica, seu comportamento reticente, os olhos ampliados pelos óculos de armação preta, o jovem Gödel, aos 24 anos, acreditava na perfeição da garrafa que eram os pm, mas tinha dúvidas quanto à possibilidade de realmente conter a matemática num recipiente. Esse jovem magricela transformou sua dúvida numa grande e horripilante descoberta. Descobriu que, à espreita dentro dos pm — bem como de todo sistema consistente de lógica —, deve haver monstros de um tipo até então jamais concebido: afirmações que não podem ser comprovadas, mas também não podem ser desmentidas. Deve forçosamente haver *verdades*, portanto, que não podem ser comprovadas — e Gödel era capaz de prová-lo.

Ele o fez com um rigor férreo disfarçado de truque de mágica. Gödel empregou as regras formais dos pm e, ao empregá-las, também as abordou metamatematicamente — ou seja, observou-as a partir de fora. Como ele explicou, todos os símbolos dos pm — números, operações aritméticas, conectores lógicos e pontuação — constituíam um alfabeto limitado. Toda afirmação ou fórmula dos pm era escrita nesse alfabeto. Da mesma maneira, toda comprovação correspondia a uma sequência finita de fórmulas — nada além de um trecho mais longo escrito no mesmo alfabeto. Era nesse ponto que a metamatemática entrava em cena. Gödel destacou que, metamatematicamente, um símbolo vale tanto quanto outro qualquer — a escolha de um alfabeto específico é arbitrária. Poderíamos usar o conjunto tradicional de numerais e símbolos (da aritmética: +, –, =, ×; da lógica: ¬, ∨, ⊃, ∃), ou então as letras, ou os pontos e traços. Tratava-se apenas de uma questão de codificação, passando de um conjunto de símbolos ao seguinte.

Gödel propôs usar os números como seus símbolos. Os números eram seu alfabeto. E, como os números podem ser combinados por meio da aritmética, toda sequência de números pode ser resumida num único número (possivelmente muito alto). Assim, cada afirmação, cada fórmula dos pm pode ser expressa como um único número, e o mesmo vale para cada demonstração. Gödel esboçou um esquema rigoroso para o processo de codificação — um algoritmo, algo mecânico, nada além de regras a serem seguidas, sem exigir nenhuma inteligência. Funcionava em ambos os sentidos: dada uma fórmula, a aplicação das regras resultaria num número e, dado um número, a aplicação das regras produziria a fórmula correspondente.

Mas nem todos os números podem ser traduzidos em fórmulas corretas. Ao serem decodificados, alguns números produzem absurdos, ou fórmulas que são falsas dentro das regras do sistema. A sequência de símbolos “0 0 0 = = =” não representa nenhum tipo de fórmula, embora possa ser traduzida num número. A afirmação “0 = 1” é uma fórmula identificável, mas falsa. A fórmula “0 + *x* = *x* + 0” é verdadeira e pode ser demonstrada.

Essa última qualidade — a propriedade de *ser passível de demonstração de acordo com os PM* — não poderia ser expressa na linguagem dos pm. Parece ser uma afirmação feita a partir de fora do sistema, uma afirmação metamatemática. Mas a codificação de Gödel conseguiu dominá-la. Na estrutura construída por ele, os números naturais levavam uma vida dupla, sendo números e também afirmações. Uma afirmação poderia dizer que um número era ímpar, ou *primo*, ou um *quadrado perfeito*, e uma afirmação poderia dizer que um determinado número era uma *fórmula passível de ser demonstrada*. Dado o número 1044045317700, por exemplo, poderíamos fazer muitas afirmações e testar se são verdadeiras ou falsas: esse número é ímpar, não é um número primo, não é um quadrado perfeito, é maior do que 5, é divisível por 121, e representa uma fórmula demonstrável (quando decodificado de acordo com as regras oficiais).

Gödel explicou tudo isso num pequeno estudo datado de 1931. Para tornar impermeável sua demonstração, foi necessária uma lógica complexa, mas a argumentação básica era simples e elegante. Gödel mostrou como construir uma fórmula que dizia *Um determinado número, x, não pode ser demonstrado*. Isso

era fácil: havia uma quantidade infinita de fórmulas desse tipo. Ele então indicou que, ao menos em alguns casos, o número *x* representaria a própria fórmula em questão. Era justamente o tipo de autorreferência cíclica que Russell tentara proibir nas regras dos pm —

> *Esta afirmação* não pode ser demonstrada

— e agora Gödel mostrava que afirmações desse tipo devem necessariamente existir. O Mentiroso retornara, e era impossível mantê-lo afastado por meio de uma mudança nas regras. Como explicou Gödel (numa das notas de rodapé mais prenhes da história):

> Contrariando as aparências, uma proposição desse tipo não envolve uma falsa circularidade, pois afirma apenas que uma determinada fórmula bem definida […] não pode ser demonstrada. É apenas subsequentemente (e por acaso, digamos) que a fórmula revela ser precisamente aquela por meio da qual a proposição em si foi expressa.23

Dentro dos pm, e em todo sistema lógico consistente capaz de realizar operações elementares de aritmética, deve haver necessariamente tais elementos amaldiçoados, verdadeiros e ao mesmo tempo impossíveis de serem comprovados. Assim, Gödel mostrou que um sistema formal consistente é necessariamente incompleto — não pode haver sistema completo e consistente.

Os paradoxos estavam de volta, e não eram meras particularidades. Agora eles atingiam o núcleo do empreendimento. Como disse Gödel posteriormente, era "um fato incrível" — "que nossas intuições lógicas (ou seja, intuições envolvendo noções como: verdade, conceito, ser, classe etc.) são contraditórias em si mesmas".[24] Como diz Douglas Hofstadter, era "o súbito lampejo de um raio partindo o mais azul dos céus",[25] cujo poder emanava não do edifício derrubado, e sim da lição contida nele a respeito dos números, a respeito do simbolismo e da codificação:

> A conclusão de Gödel não surgiu de uma fraqueza dos pm, e sim de uma força. Essa força é o fato de

> os números serem tão flexíveis ou "camaleônicos" que seus padrões podem imitar padrões de raciocínio. […] É do *poder expressivo* dos pm que emana sua incompletude.

A tão buscada linguagem universal, as *characteristica universalis* que Leibniz quisera inventar, estivera bem ali o tempo todo, nos números. Os números eram capazes de codificar todo o raciocínio. Podiam representar todas as formas de conhecimento.

A primeira vez em que Gödel mencionou publicamente sua descoberta, no terceiro e último dia de uma conferência filosófica em Königsberg em 1930, não suscitou respostas. Uma única pessoa pareceu tê-lo ouvido de fato, um húngaro chamado Neumann János. Esse jovem matemático estava em vias de mudar-se para os Estados Unidos, onde logo passaria a ser conhecido como John von Neumann, e pelo resto da vida. Ele compreendeu imediatamente a importância de Gödel. Ficou perplexo diante daquilo, mas estudou suas proposições e foi convencido. Tão logo o estudo de Gödel começou a circular, Von Neumann começou a apresentá-lo nas discussões sobre matemática em Princeton. A incompletude era real. Ela significava que nunca seria possível provar que a matemática era livre de contradições. E "a questão mais importante", disse Von Neumann, "é que não se trata de um princípio filosófico nem de uma atitude intelectual plausível, e sim do resultado de uma rigorosa demonstração matemática de um tipo extremamente sofisticado".[26] Das duas, uma: acreditava-se na matemática ou duvidava-se dela.

Bertrand Russell (que *acreditava* nela, é claro) tinha avançado para um tipo menos estrito de filosofia. Muito mais tarde, já velho, ele admitiu que Gödel o tinha inquietado: "Fiquei feliz por não estar mais trabalhando com a lógica matemática. Se um dado conjunto de axiomas leva a uma contradição, é claro que ao menos um dos axiomas tem de ser falso".[27] Por outro lado, o mais famoso dos filósofos de Viena, Ludwig Wittgenstein (que fundamentalmente *não acreditava* nela), desmereceu o teorema da incompletude como mero truque ("*Kunststücken*") e gabou-se dizendo que, em vez de refutá-lo, ele simplesmente o ignoraria:

> A matemática não pode ser incompleta; assim como um *sentido* não pode ser incompleto. Seja o que for aquilo que compreendo, tenho de compreendê-lo por inteiro.28

A resposta de Gödel deu cabo de ambos. “É evidente que Russell interpreta equivocadamente meu resultado; entretanto, ele o faz de maneira muito interessante”, escreveu ele. “Por sua vez, Wittgenstein […] expõe uma interpretação equivocada completamente trivial e desinteressante.”[29]

Em 1933, o recém-criado Instituto de Estudos Avançados, que tinha entre seus membros John von Neumann e Albert Einstein, convidou Gödel a passar o ano em Princeton. Ele atravessaria o Atlântico várias outras vezes naquela década, à medida que o fascismo ganhava espaço na Europa e a breve glória de Viena começava a se dissipar. Gödel, ignorante em política e ingênuo em relação à história, sofreu ataques de depressão e episódios de hipocondria que o levaram a sanatórios. Princeton o chamava, mas Gödel hesitou. Permaneceu em Viena em 1938, testemunhando o *Anchluss*, enquanto o Círculo de Viena deixava de existir e seus membros eram assassinados ou mandados para o exílio, e também em 1939, quando o exército de Hitler ocupou a Checoslováquia, seu país natal. Ele não era judeu, mas a matemática era considerada *verjudet*. Ele enfim conseguiu partir em janeiro de 1940, viajando pela Ferrovia Transiberiana, chegando ao Japão e lá embarcando num navio para San Francisco. Seu nome foi registrado pela companhia telefônica como “K. Goedel” quando chegou a Princeton, dessa vez para ficar.[30]

Claude Shannon também tinha chegado ao Instituto de Estudos Avançados para um ano de pós-doutorado. Ele achava o lugar solitário, morava num novo edifício de tijolos vermelhos com uma torre com relógio e uma cúpula envolta em olmeiros numa antiga fazenda a um quilômetro e meio da Universidade Princeton. O primeiro de seus cerca de quinze professores foi Einstein, cujo escritório ficava nos fundos do primeiro andar. Shannon raramente o via. Gödel, que chegara em março, falava quase apenas com Einstein. Nominalmente, o orientador de Shannon era Hermann Weyl, outro exilado alemão, o maior dos teóricos matemáticos da nova mecânica quântica. Weyl até estava interessado na tese de Shannon envolvendo a genética — “seus problemas biomatemáticos”[31]

—, mas imaginou que Shannon poderia encontrar pontos em comum com Von Neumann, o outro grande jovem matemático do instituto. Em geral, Shannon permanecia em seu quarto em Palmer Square. A esposa, que tinha vinte anos e deixara Radcliffe para ficar a seu lado, considerava o ambiente cada vez mais melancólico, ficando em casa enquanto Claude tocava clarinete acompanhando o disco de Bix Beiderbecke no gramofone. Norma pensou que ele estivesse deprimido e quis que consultasse um psiquiatra. Conhecer Einstein fora ótimo, mas a emoção já tinha se dissipado. O casamento chegara ao fim. Ela foi embora antes do fim do ano.

Shannon não podia mais ficar em Princeton. Ele queria ir atrás da transmissão das informações e da inteligência, uma noção mal definida, mas, ainda assim, mais pragmática do que a abstrata física teórica que dominava a pauta do instituto. Além disso, a guerra se aproximava. As pautas de pesquisa estavam mudando em toda parte. Vannevar Bush tinha se tornado o líder da Comissão Nacional de Pesquisas em Defesa, que designou a Shannon o "Projeto 7"[32]: os aspectos matemáticos dos mecanismos de controle balístico dos canhões antiaéreos — "a tarefa", na descrição seca da cnpd, "de aplicar correções ao controle do canhão de modo a fazer com que o projétil e o alvo cheguem simultaneamente à mesma posição".[33] Os aviões tinham subitamente tornado obsoleta quase toda a matemática empregada na balística: pela primeira vez, os alvos se moviam a velocidades pouco inferiores à dos próprios mísseis. O problema era complexo e de extrema relevância, tanto em terra como no mar. Londres estava organizando baterias de canhões pesados que disparavam obuses de 3,7 polegadas. Acertar projéteis em aviões velozes exigia intuição e sorte ou uma vasta quantidade de computações implícitas feitas por engrenagens, alavancas e motores. Shannon analisava tanto problemas físicos como computacionais: o maquinário tinha de rastrear trajetórias rápidas em três dimensões, com alavancas e engrenagens controladas por calculadores de proporção e integradores. Um canhão antiaéreo em si se comportava como um sistema dinâmico, sujeito a "coices" e oscilações que poderiam ser previstos ou não. (Quando as equações diferenciais eram não lineares, Shannon avançava pouco, e tinha consciência disso.)

Ele tinha passado dois de seus verões trabalhando para os Laboratórios Telefônicos Bell em Nova York. Seu departamento de matemática também estava envolvido no projeto do controle balístico e pediu a Shannon que participasse. Tratava-se de um trabalho para o qual o analisador diferencial havia qualificado Shannon. Um canhão antiaéreo automatizado era um computador analógico: tinha de converter em movimentos mecânicos aquilo que consistia, na prática, em equações diferenciais de segunda ordem; tinha de aceitar informações obtidas com telêmetros ou com o novo radar, ainda experimental; e era preciso filtrar e homogeneizar esses dados para compensar os erros.

Nos Laboratórios Bell, a última parte desse problema parecia familiar. Aquilo se assemelhava a uma questão que tinha afetado a comunicação telefônica. Os dados cheios de ruído lembravam a estática verificada na linha. “Há uma analogia óbvia”, relataram Shannon e seus colegas, “entre o problema da homogeneização dos dados para eliminar ou reduzir o efeito dos erros de rastreamento e o problema da separação entre o sinal e a interferência do ruído nos sistemas de comunicação.”[34] Os dados consistiam num sinal. O problema todo não passava de “um caso especial da transmissão, manipulação e utilização da informação e da inteligência”. A especialidade do pessoal dos Laboratórios Bell.

Por mais que o telégrafo tivesse sido transformador, por mais milagroso que o rádio sem fio pudesse agora parecer, a comunicação elétrica tinha se tornado sinônimo de telefone. O “telefone falante elétrico” surgiu pela primeira vez nos Estados Unidos com a criação de alguns circuitos experimentais nos anos 1870. Na virada do século, a indústria telefônica já havia ultrapassado a do telégrafo sob todos os critérios — número de mensagens transmitidas, metros de fiação instalados, capital investido —, e o volume de usuários do telefone dobrava em intervalos de poucos anos. O motivo por trás disso não era nenhum mistério: qualquer um era capaz de usar um telefone. As únicas habilidades exigidas eram a capacidade de falar e a de ouvir: nada de escrita, nada de códigos, nada de teclados. Todos reagiam ao som da voz humana — mais do que palavras, ela

transmitia também as emoções.

As vantagens eram óbvias — mas não para todos. Elisha Gray, telegrafista que chegou perto de superar Alexander Graham Bell e se tornar o inventor do telefone, disse ao seu próprio advogado de patentes em 1875 que o trabalho dificilmente valeria a pena: “Bell parece estar gastando toda sua energia no telégrafo falante. Por maior que seja o interesse científico nesse aparelho, ele não tem atualmente nenhum valor comercial, pois é possível cuidar de um número bem maior de assuntos aplicando às linhas os métodos já em uso”.[35] Três anos mais tarde, quando Theodore N. Vail deixou o Departamento dos Correios para se tornar o primeiro diretor-geral (e único administrador assalariado) da nova Companhia Telefônica Bell, o secretário assistente dos correios escreveu, nervoso:

> Mal posso acreditar que um homem dotado de tamanha capacidade de julgamento […] seria capaz de largar tudo por essa estupidez ianque (um pedaço de arame com dois chifres de gado texano presos às extremidades, de modo a fazer com que a traquitana soasse como o mugido de um novilho) chamada telefone![36]

No ano seguinte, na Inglaterra, o engenheiro chefe do Escritório Geral dos Correios, William Preece, relatou ao Parlamento:

> Diria que as descrições que chegam até nós de seu uso na América são um pouco exageradas, embora haja na América condições que tornam o uso de tal instrumento mais necessário do que aqui. Temos aqui uma superabundância de mensageiros, meninos de recados e gente do tipo. […] Há um deles em meu escritório, mas sua função é principalmente decorativa. Se quiser enviar uma mensagem — uso uma campainha ou emprego um rapaz para levá-la.[37]

Um dos motivos desses erros de avaliação era a habitual falta de imaginação diante de uma tecnologia radicalmente nova. O telégrafo estava aos olhos de todos, mas as lições trazidas por ele não tinham uma relação muito clara com esse novo aparelho. O telégrafo exigia a alfabetização — o telefone abraçava a oralidade. Para ser enviada via telégrafo, uma mensagem tinha antes de ser escrita, codificada e transmitida por um intermediário treinado. Para usar o

telefone, bastava falar. Justamente por esse motivo, parecia um brinquedo. Na verdade, lembrava um brinquedo conhecido, feito a partir de cilindros de lata e linha. O telefone não deixava registros permanentes. *O Telefone* não tinha futuro como nome de um veículo de imprensa. Os empresários e comerciantes o consideravam pouco sério. Se o telégrafo trabalhava com fatos e números, o telefone apelava às emoções.

A recém-fundada empresa Bell não encontrou dificuldade para transformar isso num atrativo de seu produto. Seus defensores gostavam de citar Plínio, "É a voz viva que seduz a alma", e Thomas Middleton, "Como é doce o som da voz de uma mulher de virtude". Por outro lado, havia certa ansiedade envolvendo a ideia da captura e da coisificação das vozes — o gramofone também tinha acabado de chegar. Como disse um comentarista: "Por mais que fechemos nossas portas e janelas, selando hermeticamente os buracos das fechaduras e as frestas do sistema de aquecimento com toalhas e cobertores, tudo aquilo que dissermos, seja para nós mesmos ou para uma companhia, será ouvido por terceiros".[38] Até então, as vozes eram algo que pertencia à esfera privada.

A nova geringonça tinha de ser explicada e, em geral, isso era feito por meio de uma comparação com a telegrafia. Havia um transmissor e um receptor, e fios ligavam um ao outro, e *alguma coisa* era transportada pelo fio sob a forma de eletricidade. No caso do telefone, essa coisa era o som, simplesmente convertido de ondas de pressão no ar para ondas de corrente elétrica. Uma vantagem era aparente: o telefone seria sem dúvida útil aos músicos. O próprio Bell, viajando pelo país para promover a nova tecnologia, encorajava essa forma de pensar, fazendo demonstrações em salões de concerto onde orquestras completas e coros tocavam *America* e *Auld Lang Syne* para seu aparelho. Bell encorajava as pessoas a pensar no telefone como um aparelho de emissão e transmissão, capaz de enviar músicas e sermões por longas distâncias, trazendo a sala de concertos e a igreja para a sala de estar. Os jornais e os comentaristas em geral seguiam o mesmo rumo. É isso o que ocorre quando analisamos uma tecnologia em termos abstratos. Assim que as pessoas puseram as mãos nos telefones, elas souberam o que fazer. Bastava falar.

Numa palestra feita em Cambridge, o físico James Clerk Maxwell ofereceu

uma descrição científica da conversa telefônica:

> O falante se dirige ao transmissor num extremo da linha e, no outro extremo, o ouvinte aproxima a orelha do receptor, escutando o que o falante disse. Em seus dois extremos, o processo é tão semelhante ao antigo método de falar e ouvir que nenhuma prática preparatória se faz necessária por parte dos operadores.39

Também ele tinha notado a facilidade do uso.

Assim, em 1880, quatro anos depois de Bell ter transmitido as palavras “Sr. Watson, venha cá, quero vê-lo”, e três anos depois de o primeiro par de telefones ter sido alugado por vinte dólares, mais de 60 mil aparelhos estavam em uso nos Estados Unidos. Os primeiros fregueses compravam pares de telefones para estabelecer a comunicação entre dois pontos: entre a fábrica e seu escritório administrativo, por exemplo. A rainha Vitória instalou um telefone no Castelo de Windsor e outro no Palácio de Buckingham (fabricados em marfim — um presente do empolgado Bell). A topologia mudou quando o número de aparelhos passíveis de serem chamados por outros ultrapassou um limiar crítico, algo que ocorreu com uma rapidez surpreendente. Então surgiram as redes comunitárias, cujas múltiplas conexões eram administradas por um novo aparato, chamado de central telefônica.

A fase inicial de ignorância e ceticismo acabou num piscar de olhos. A segunda fase, de diversão e entretenimento, não durou muito mais. As empresas logo esqueceram suas dúvidas quanto à seriedade do aparelho. Agora todos podiam ser profetas do telefone — repetindo algumas das previsões que já tinham sido feitas em relação ao telégrafo —, mas os comentários mais visionários vieram daqueles que se concentraram no poder exponencial da interconexão. A *Scientific American* abordou “O futuro do telefone” já em 1880, enfatizando a formação de “pequenos conjuntos de comunicantes telefônicos”. Quanto maior fosse uma rede e quanto mais diversificados fossem seus interesses, maior seria esse potencial.

> Aquilo que o telégrafo conquistou em anos o telefone conseguiu em meses. Num ano o aparelho não passava de brinquedo científico, com infinitas possibilidades de uso prático; no ano seguinte, tinha se convertido no elemento básico do sistema de comunicação mais conveniente e complexo já visto no

> mundo, e também o de expansão mais rápida. […] Logo o telefone será a regra e não a exceção nas empresas, presente até na moradia dos mais ricos, ligando a todos por meio das trocas telefônicas, não apenas em nossas cidades como também nas regiões mais remotas. O resultado não pode ser menos do que uma nova organização da sociedade — um estado das coisas no qual cada indivíduo, por mais isolado que esteja, poderá se comunicar de forma imediata com todos os demais membros da comunidade, poupando incalculáveis complicações sociais e empresariais, idas e vindas desnecessárias, frustrações, atrasos e tantos outros males e pequenas irritações.
>
> Está se aproximando o momento em que os membros esparsos das comunidades civilizadas serão tão unidos em termos de comunicação telefônica instantânea quanto o são os vários membros do corpo por meio do sistema nervoso.40

Os membros esparsos que usavam telefones chegavam a meio milhão de pessoas já em 1890; em 1914, eram 10 milhões. Já se pensava, corretamente, que o telefone era o responsável pelo rápido progresso industrial. Era difícil exagerar ao comentar o assunto. Os setores que dependiam da “comunicação instantânea entre pontos separados”[41] foram relacionados pelo Departamento do Comércio dos Estados Unidos em 1907: “agricultura, mineração, comércio, manufatura, transportes e, com efeito, todos os vários segmentos da produção e distribuição de recursos naturais e artificiais”. Para não falar nos “sapateiros, limpadores e até lavadeiras”. Em outras palavras, cada engrenagem no motor da economia. “A existência do tráfego telefônico é essencialmente um indicador de tempo sendo poupado”, comentou o departamento. Eram observadas mudanças na estrutura da vida e da sociedade que ainda pareceriam novas um século mais tarde: “Os últimos anos trouxeram tal extensão de linhas telefônicas pelos vários distritos de veraneio que permitiram aos empresários se afastar de seus escritórios durante dias e, ainda assim, manter contato com o trabalho e as funções de seus cargos”. Em 1908, John J. Carty, que se tornou o primeiro diretor dos Laboratórios Bell, apresentou uma análise informacional para mostrar como o telefone tinha redesenhado o panorama urbano de Nova York — defendendo que o aparelho, tanto quanto o elevador, havia tornado possível o arranha-céu.

> Pode parecer ridículo dizer que Bell e seus sucessores foram os pais da arquitetura comercial moderna — do arranha-céu. Mas espere um minuto. Pense no Edifício Singer, no Edifício Flatiron, no Broad Exchange, no Trinity, ou em qualquer outro dos grandes prédios de escritórios. Imagine quantas

> mensagens entram e saem desses edifícios todos os dias. Imagine que não houvesse telefone e cada mensagem tivesse de ser transmitida por um mensageiro. Quanto espaço será que os elevadores deixariam para os escritórios? Estruturas desse tipo seriam uma impossibilidade econômica.42

Para possibilitar a rápida expansão dessa extraordinária rede, o telefone exigiu novas tecnologias e novas ciências. Em geral, eram de dois tipos. O primeiro estava associado à eletricidade em si: medir quantidades elétricas, controlar a onda eletromagnética, como esta era agora entendida — sua modulação em amplitude e frequência. Maxwell estabelecera nos anos 1860 que os pulsos elétricos, o magnetismo e a própria luz eram todos manifestações de uma mesma força: "afetações da mesma substância", sendo a luz mais parecida com um caso de "perturbação eletromagnética propagada pelo campo de acordo com as leis eletromagnéticas".[43] Essas eram as leis que os engenheiros elétricos tinham agora que aplicar, unindo o telefone e o rádio, entre outras tecnologias. Até o telégrafo empregava um tipo simples de modulação de amplitude, na qual apenas dois valores importavam, o máximo, equivalente a "ligado", e o mínimo, representando "desligado". A transmissão do som exigia uma corrente bem mais forte, controlada com mais precisão. Os engenheiros tinham de compreender o retorno: somar a saída de um amplificador de força, como o bocal de um telefone, à sua entrada. Tinham de projetar repetidores feitos de válvulas termiônicas para transmitir a corrente por longas distâncias, tornando possível a primeira linha transcontinental, em 1914, ligando Nova York a San Francisco com 5400 quilômetros de fios suspensos por 130 mil postes. Os engenheiros descobriram também como modular correntes individuais de modo a combiná-las num mesmo canal — multiplexação — sem que estes perdessem a identidade. Já em 1918, conseguiam transmitir quatro conversas diferentes por meio de um mesmo par de fios. Mas não eram as *correntes* que preservavam sua identidade. Antes que os engenheiros tivessem percebido, estavam pensando em termos da transmissão de um *sinal*, uma entidade abstrata, bastante distinta das ondas elétricas que o encarnavam.

Um segundo tipo de ciência, menos definido, estava relacionado à organização das conexões — alternação, numeração e lógica. Esse ramo nasceu da conclusão original de Bell, em 1877, segundo a qual os telefones não teriam

de ser vendidos aos pares — cada telefone individual podia ser conectado a muitos outros, mas não diretamente por meio de fios, e sim através de uma "central". George W. Coy, telegrafista de New Haven, em Connecticut, construiu ali a primeira "central telefônica", com "plugues" e "entradas" feitos com os parafusos de carruagem e pedaços de arame de cercas velhas. Ele patenteou sua invenção e trabalhou como o primeiro "telefonista" do mundo. Com o constante fazer e desfazer das conexões, os plugues se desgastavam rapidamente. Um dos primeiros aprimoramentos foi uma alavanca formada por duas placas unidas por uma dobradiça, semelhante a um canivete: a "chave de alavanca", ou, como logo passou a ser chamada, a "chave". Em janeiro de 1878, a central de Coy era capaz de receber duas conversas simultâneas entre quaisquer dos 21 telefones ligados a ela. Em fevereiro, Coy publicou uma lista dos assinantes: ele próprio e alguns amigos; vários médicos e dentistas; os correios, a delegacia de polícia e um clube mercantil; e alguns mercados de peixe e carne. Foi chamada de primeira lista telefônica do mundo, mas estava longe de sê-lo: uma página, sem organização alfabética, e nenhum número associado aos nomes. O número de telefone ainda não tinha sido inventado.

Tal inovação ocorreu no ano seguinte em Lowell, no estado de Massachusetts. Ali, no fim de 1879, quatro telefonistas administravam as conexões entre duzentos assinantes, gritando uns para os outros na sala da central telefônica. Uma epidemia de sarampo eclodiu, e o dr. Moses Greeley Parker temeu que, se os telefonistas fossem infectados, seria difícil substituí-los. Ele sugeriu que cada telefone fosse identificado por um número. Sugeriu também que os números fossem relacionados numa lista alfabética dos assinantes. Essas ideias não puderam ser patenteadas, e foram surgindo de novo e de novo nas centrais telefônicas de todo o país, onde as redes cada vez maiores estavam criando agrupamentos que precisavam ser organizados. As listas telefônicas logo passaram a representar a mais abrangente relação de membros de populações humanas — indicando até mesmo como encontrá-los — de todos os tempos. (Elas se tornaram os maiores e mais densos livros do mundo — quatro volumes para Londres; um tomo de 2600 páginas para Chicago — e pareciam ser uma parte permanente e indispensável da ecologia informacional do mundo até que, de repente, deixaram de sê-lo. Tornaram-se praticamente

obsoletas na virada do século xxi. As empresas telefônicas americanas começaram a tirá-las de circulação em 2010; em Nova York, o fim da distribuição das listas telefônicas deve poupar 5 mil toneladas de papel.)

No início, os usuários não gostaram da impessoalidade dos números telefônicos, e os engenheiros duvidavam que as pessoas fossem capazes de lembrar números compostos por mais de quatro ou cinco dígitos. A Companhia Bell, no fim, foi obrigada a bater o pé. Os primeiros telefonistas eram rapazes na adolescência, contratados a um baixo custo entre os mensageiros telegráficos, mas com a disseminação das centrais telefônicas descobriu-se que os rapazes eram agitados demais, dados a brincadeiras e palhaçadas — era mais provável encontrá-los brigando no chão uns com os outros do que sentados em seus bancos para desempenhar as tarefas de precisão e repetição de um telefonista.[44] Havia uma nova fonte de mão de obra barata disponível e, já em 1881, quase todos os telefonistas eram mulheres. Em Cincinnati, por exemplo, W. H. Eckert relatou ter contratado 66 “mocinhas” que eram “muito superiores” aos rapazes: “São mais calmas, não bebem cerveja e estão sempre à disposição”.[45] Ele nem precisava acrescentar que a empresa podia pagar a uma mulher tão pouco quanto a um adolescente, ou ainda menos. Tratava-se de um trabalho desafiador, que logo passou a exigir treinamento. Os operadores telefônicos tinham de ser ágeis na compreensão de muitas vozes e sotaques diferentes, deviam manter a compostura diante da impaciência e da falta de educação e ainda se submetar a longas horas exercitando sem parar os membros superiores, usando fones de ouvido que mais pareciam arreios. Alguns homens achavam que aquilo fazia bem a elas. “A movimentação dos braços acima da cabeça, seguida de sua extensão à esquerda e à direita, ajuda no desenvolvimento dos braços e do peitoral”, dizia a *Every Woman’s Encyclopedia*, “transformando jovens magras e franzinas em moças fortes. Não há garotas de pouca saúde nem aparência anêmica nas centrais telefônicas.”[46] Somada a outra nova tecnologia, a máquina de escrever, a central telefônica catalisou a introdução das mulheres na força de trabalho mais qualificada, mas nem mesmo batalhões de telefonistas humanas seriam capazes de gerenciar uma rede na escala que agora se desenhava. A distribuição das chamadas teria de ser automatizada.

Isso significava um elo mecânico para memorizar não apenas o som da voz de quem fazia a chamada, mas também um número — identificando uma pessoa, ou ao menos outro telefone. O desafio de converter um número para a forma elétrica ainda exigia engenhosidade: primeiro tentou-se usar botões, depois um disco dentado de aparência estranha, com dez posições para os dedos indicando os dígitos decimais, enviando pulsos pela linha. Então os pulsos codificados passaram a servir como um agente de controle na central telefônica, onde outro mecanismo escolhia entre um conjunto de circuitos e estabelecia a conexão. Tudo isso tomado em conjunto representava um nível de complexidade sem precedentes nas interações entre humanos e máquinas, números e circuitos. A ideia não foi ignorada pela empresa, que gostava de promover seus interruptores automáticos como "cérebros elétricos". Depois de tomar emprestado da telegrafia o relé eletromecânico — o emprego de um circuito para controlar outro —, as empresas telefônicas tinham reduzido as dimensões e o peso do aparato a pouco mais de cem gramas, e agora fabricavam vários milhões dessas peças anualmente.

"O telefone continua sendo a maior das maravilhas elétricas", escreveu um historiador em 1910 — já nessa época os historiadores começavam a tratar do telefone. "Não há mais nada capaz de fazer tanto com tão pouca energia. Não há nada que esteja mais envolto no desconhecido."[47] A cidade de Nova York tinha várias centenas de milhares de usuários telefônicos listados, e a *Scribner's Magazine* sublinhou esse impressionante fato: "Quaisquer dois membros deste grande conjunto podem, em questão de cinco segundos, ser postos em comunicação um com o outro, tamanha a capacidade de acompanhar o ritmo das necessidades públicas apresentada pela ciência da engenharia".[48] Para estabelecer a conexão, a central telefônica tinha crescido e se tornado um monstro composto de 2 milhões de partes soldadas, 6400 quilômetros de fios e 15 mil lâmpadas sinalizadoras.[49] Já em 1925, quando um conjunto de grupos de pesquisa telefônica foi formalmente organizado sob a forma dos Laboratórios Telefônicos Bell, um "localizador de linha" mecânico com capacidade para 400 linhas estava substituindo os discos dentados eletromecânicos de 22 posições. A American Telephone & Telegraph Company estava consolidando seu monopólio. Os engenheiros se esforçavam para reduzir o tempo de espera. Inicialmente, as

chamadas de longa distância exigiam a conexão com uma segunda telefonista e a espera por uma chamada de resposta, mas logo a interconexão de centrais locais teria de permitir a discagem automática. As complexidades se multiplicavam. Os Laboratórios Bell precisavam de matemáticos.

Aquilo que teve início como o Departamento de Consultoria em Matemática cresceu e se tornou um centro de matemática prática como nenhum outro já visto. Não era como as prestigiosas torres de marfim de Harvard e Princeton. Para o mundo acadêmico, esse centro era quase invisível. Seu primeiro diretor, Thornton C. Fry, gostava da tensão entre teoria e prática — as culturas em conflito. “Para um matemático, o argumento deve ser perfeito em cada detalhe, caso contrário, estará errado”, escreveu Fry em 1941. “Ele chama isso de ‘raciocínio rigoroso’. O engenheiro comum chama de ‘procurar pelo em ovo’.”[50]

> O matemático tende também a idealizar todas as situações com as quais se depara. Seus gases são “ideais”; seu condutores, “perfeitos”; suas superfícies, “homogêneas”. Ele chama isso de “reduzir ao essencial”. O engenheiro provavelmente rotularia isso de “ignorar os fatos”.

Em outras palavras, matemáticos e engenheiros não podiam trabalhar uns sem os outros. Todo engenheiro elétrico agora precisava saber lidar com a análise elementar das ondas tratadas como sinais sinusoidais. Mas novas dificuldades surgiam para compreender o funcionamento das redes, e teoremas de redes foram criados para abordar esse funcionamento matematicamente. Os matemáticos aplicaram a teoria das filas aos conflitos de uso; desenvolveram gráficos e árvores para lidar com questões das linhas principais e secundárias entre diferentes cidades; e usaram a análise combinatória para esmiuçar os problemas de probabilidade relacionados à telefonia.

E havia também a questão do ruído. De início, isso não pareceu ser um problema para os teóricos (pelo menos não para Alexander Graham Bell, por exemplo). Mas tratava-se de algo que estava sempre presente, sempre interferindo na linha — estalos, chiados, estática que causava interferência ou distorção na voz que entrava pelo bocal. O ruído também afetava o rádio. Na melhor das hipóteses, a interferência permanecia no fundo, quase imperceptível

para as pessoas. Na pior, a profusão de elementos sujos estimulava a imaginação dos usuários:

> Havia engasgos e gargarejos, oscilações e atritos, assovios e gritos. Tínhamos o farfalhar de folhas, o coaxar de sapos, o sibilar do vapor e o bater das asas de um pássaro. Havia os cliques dos fios telegráficos, trechos de conversas vindas de outros telefones, curiosos gritinhos diferentes de qualquer som conhecido. […] A noite era mais ruidosa do que o dia e, na fantasmagórica hora da meia-noite, por estranhas razões que ninguém conhece, a babel atingia seu auge.51

No entanto, os engenheiros podiam agora *ver* o ruído em seus osciloscópios, interferindo com o formato de suas ondas e degradando-as. Naturalmente, eles desejavam medi-lo, por mais que houvesse algo de quixotesco em medir algo tão aleatório e sobrenatural. Na verdade, havia uma maneira de fazê-lo, e Albert Einstein tinha mostrado qual seria.

Em 1905, seu melhor ano, Einstein publicou um estudo a respeito do movimento browniano, o movimento aleatório e inconstante de pequenas partículas suspensas num líquido. Antony van Leeuwenhoek o tinha descoberto com seu protótipo de microscópio, e o fenômeno foi batizado em homenagem a Robert Brown, botânico escocês que o estudou de perto em 1827: primeiro o pólen na água, depois a fuligem e a rocha em pó. Brown convenceu-se de que essas partículas não estavam vivas — não eram animálculos —, mas simplesmente não permaneciam paradas. Numa verdadeira tour de force matemática, Einstein explicou o fato como consequência da energia do calor das moléculas, cuja existência ele comprovou dessa maneira. Partículas visíveis ao microscópio, como o pólen, são bombardeadas por colisões moleculares e leves o bastante para serem jogadas de lá para cá. As flutuações das partículas, individualmente imprevisíveis, expressam de modo coletivo as leis da mecânica estatística. Por mais que o fluido possa estar em repouso e o sistema esteja em equilíbrio termodinâmico, o movimento irregular prossegue enquanto a temperatura estiver acima do zero absoluto. Da mesma maneira, ele mostrou que a agitação térmica aleatória também afetaria elétrons livres em qualquer

condutor elétrico — produzindo o ruído.

Os físicos prestaram pouca atenção aos desdobramentos elétricos da obra de Einstein, e foi somente em 1927 que o ruído térmico nos circuitos foi colocado sobre uma base matemática rigorosa, por dois suecos que trabalhavam nos Laboratórios Bell. John B. Johnson foi o primeiro a medir aquilo que percebeu ser o ruído intrínseco de um circuito, e que não tinha relação com falhas de projeto. Então Harry Nyquist apresentou uma explicação, derivando fórmulas para as flutuações na corrente e na voltagem numa rede idealizada. Nyquist era o filho de um agricultor e sapateiro cujo nome na verdade era Lars Jonsson, mas teve de mudar de nome porque sua correspondência estava se misturando à de outro Lars Jonsson. Os Nyquist imigraram para os Estados Unidos quando Harry era adolescente. Ele saiu da Dakota do Norte para os Laboratórios Bell graças à sua passagem por Yale, onde obteve um doutorado em física. Harry sempre pareceu ter o olhar voltado para questões mais amplas — que não se restringiam à telefonia em si. Já em 1918, começou a trabalhar num método para a transmissão de imagens por fios: “telefotografia”. Sua ideia consistia em montar uma fotografia sobre um cilindro em rotação, submetê-la a um leitor e gerar correntes proporcionais à claridade ou escuridão da imagem. Em 1924, a empresa tinha um protótipo que conseguia enviar uma imagem de doze por dezoito centímetros em sete minutos. Mas Nyquist, entretanto, estava olhando para o passado e, naquele mesmo ano, numa convenção de engenheiros elétricos na Filadélfia, fez uma palestra com o modesto título de “Certos fatores que afetam a velocidade telegráfica”.

Era sabido desde os primórdios da telegrafia que as unidades fundamentais do envio de mensagens eram distintas: pontos e traços. Tornou-se igualmente óbvio na era telefônica que, por sua vez, a informação útil era contínua: sons e cores, fundindo-se uns com os outros, misturando-se completamente ao longo de um espectro de frequências. Qual seria o modelo correto? Físicos como Nyquist tratavam as correntes elétricas como ondas, mesmo quando transmitiam sinais telegráficos distintos. Na época, a maior parte da corrente elétrica numa linha telegráfica era desperdiçada. De acordo com o ponto de vista de Nyquist, se esses sinais contínuos eram capazes de representar algo tão complexo quanto

vozes, então os elementos da telegrafia, mais simples, não passariam de um caso específico. Em termos mais exatos, tratava-se de um caso específico de modulação de amplitude, no qual as únicas amplitudes interessantes eram *ligado* e *desligado*. Ao tratar os sinais telegráficos como pulsos no formato de ondas, os engenheiros puderam acelerar sua transmissão e combiná-los num único circuito — associando-os também com canais de voz. Nyquist queria saber o *quanto* — quantos dados telegráficos, e com que velocidade. Para responder a essa pergunta, ele descobriu uma abordagem engenhosa para a conversão de ondas contínuas em dados distintos, ou "digitais". O método de Nyquist consistia em obter uma amostragem das ondas a intervalos constantes, convertendo-as na prática a pedaços contáveis.

Um circuito transportava ondas de muitas frequências diferentes: uma "banda" de ondas, diziam os engenheiros. O intervalo das frequências — a amplitude dessa banda, ou "largura de banda" — servia como medida da capacidade do circuito. Uma linha telefônica podia suportar frequências de aproximadamente quatrocentos a 3400 hertz, ou ondas por segundo, para uma largura de banda de 3 mil hertz. (Isso cobriria a maioria dos timbres de uma orquestra, mas as notas mais agudas do flautim ficariam de fora.) Nyquist queria formular isso nos termos mais gerais possíveis. Ele calculou uma fórmula para a "velocidade da transmissão de informações".[52] E demonstrou que, para transmitir informações a uma certa velocidade, um canal precisaria de uma determinada largura de banda mensurável. Se fosse estreita demais, seria necessário diminuir a velocidade de transmissão. (Mas, com o tempo e a engenhosidade, percebeu-se mais tarde que até mensagens complexas podiam ser enviadas através de um canal de largura de banda baixíssima: um tambor, por exemplo, tocado a mão, produzindo notas de dois tons diferentes.)

O colega de Nyquist, Ralph Hartley, que começou a carreira como especialista em receptores de rádio, ampliou esses resultados numa apresentação feita em meados de 1927, num congresso internacional realizado às margens do lago Como, na Itália. Hartley usou uma palavra diferente: "informação". Tratava-se de uma boa ocasião para ideias grandiosas. Os cientistas tinham vindo de todo o mundo para se reunir na celebração do centenário da morte de

Alessandro Volta. Niels Bohr falou a respeito da nova teoria quântica e apresentou pela primeira vez seu conceito de complementaridade. Hartley ofereceu aos ouvintes tanto uma teoria fundamental como um novo conjunto de definições.

O teorema era uma extensão da fórmula de Nyquist, e podia ser expresso em palavras: a maior quantidade de informação que pode ser transmitida num dado intervalo de tempo é proporcional à amplitude de frequência disponível (ele ainda não empregou o termo *largura de banda*). Hartley estava trazendo a público um conjunto de ideias e pressupostos que vinham se tornando parte da cultura inconsciente da engenharia elétrica, e da cultura dos Laboratórios Bell em especial. Primeiro havia a ideia da informação em si. Era preciso delimitar seu escopo. “Em seu uso comum”, disse ele, “a informação é um termo muito elástico.”[53] Trata-se do objeto da comunicação — que pode, por sua vez, ser diretamente falada, escrita ou o que seja. A comunicação se dá por meio de símbolos — Hartley citou como exemplos as “palavras” e os “pontos e traços”. Por convenção, os símbolos transmitem um “significado”. Até esse ponto, o que se tinha era uma sequência de conceitos escorregadios. Se a meta era “eliminar os fatores psicológicos envolvidos” e estabelecer uma medida “em termos de quantidades puramente físicas”, Hartley precisava de algo definido e contável. Ele começou pela contagem de símbolos — independentemente de seu significado. Toda transmissão continha um número contável de símbolos. Cada símbolo representava uma escolha; cada um era selecionado a partir de um determinado conjunto de símbolos possíveis — um alfabeto, por exemplo —, e o número de possibilidades também era passível de ser contado. O número de palavras possíveis não é tão fácil de contar, mas, mesmo na linguagem comum, cada palavra representa uma escolha em meio a um conjunto de possibilidades:

> Na frase “As maçãs são vermelhas”, por exemplo, a segunda palavra eliminou outros tipos de fruta e todos os demais objetos em geral. A terceira dirige a atenção para alguma propriedade ou condição das maçãs, e a quarta elimina todas as outras cores possíveis. […]
>
> Obviamente, o número de símbolos disponíveis numa dada seleção varia muito de acordo com o tipo de símbolo empregado, com os comunicadores particulares e com o grau de entendimento prévio existente entre eles.[54]

Hartley teve de admitir que alguns símbolos poderiam transmitir mais informação, no sentido mais *comum* da palavra, do que outros. “As simples palavras ‘sim’ e ‘não’, por exemplo, quando usadas ao fim de uma discussão prolongada, podem ter um significado extraordinário.” Os ouvintes eram capazes de pensar em seus próprios exemplos. Mas a ideia era subtrair o conhecimento humano da equação. Afinal, telégrafos e telefones são estúpidos.

Intuitivamente, parece claro que a quantidade de informação deve ser proporcional ao número de símbolos: o dobro de símbolos, o dobro de informação. Mas um ponto ou um traço — um símbolo de um conjunto que possui apenas dois integrantes — transmite menos informação do que uma letra do alfabeto e muito menos informação do que uma palavra escolhida a partir de um dicionário de mil palavras. Quanto maior o número de símbolos possíveis, mais informação é transmitida por uma determinada seleção. Qual a relação entre essas grandezas? A equação escrita por Hartley era:

$$H = n \log s$$

sendo $H$ a quantidade de informação, $n$ o número de símbolos transmitidos, e $s$ o tamanho do alfabeto. Num sistema de pontos e traços, $s$ é apenas 2. Um único caractere chinês tem muito mais peso do que um ponto ou traço do código Morse — seu valor é muito maior. Num sistema que tivesse um símbolo para cada palavra de um dicionário de mil palavras, $s$ seria igual a 1000.

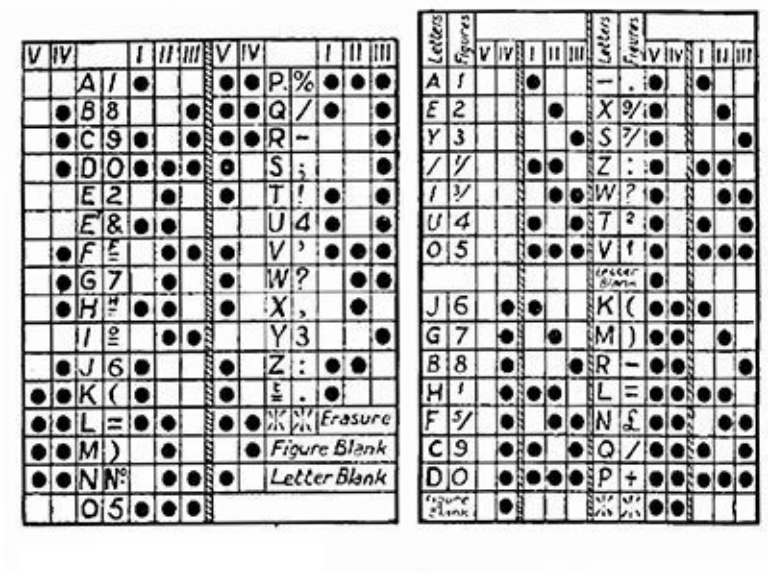
Entretanto, a quantidade de informação não é proporcional ao tamanho do alfabeto. Essa relação é logarítmica: para dobrar a quantidade de informação, é preciso elevar ao quadrado o tamanho do alfabeto. Hartley ilustrou isso nos termos de um telégrafo impressor — um dentre os diversos dispositivos, tanto obsoletos como recém-criados, que passavam a ser ligados a circuitos elétricos. Telégrafos desse tipo usavam teclados dispostos de acordo com um sistema desenvolvido na França por Émile Baudot. Na verdade, eram os operadores humanos que usavam teclados — o aparelho traduzia as teclas pressionadas em

aberturas e fechamentos dos contatos telegráficos, como de costume. O código Baudot usava cinco unidades para transmitir cada caractere, de modo que o número de caracteres possíveis era $2^5$, ou 32. Em termos de conteúdo informacional, cada um desses caracteres era cinco vezes — e não 32 vezes — mais valioso do que suas unidades binárias básicas.

Enquanto isso, os telefones enviavam suas vozes humanas pela rede em alegres e curvilíneas ondas analógicas. Onde estavam os símbolos nesse caso? Como poderiam ser contados?

Hartley seguiu Nyquist ao argumentar que a curva contínua devia ser encarada como o limite ao qual se chegava por meio de uma sucessão de passos distintos, e que esses passos poderiam ser recuperados, na prática, por meio de amostras da onda colhidas em intervalos regulares. Assim, a telefonia poderia ser sujeitada ao mesmo tratamento matemático aplicado à telegrafia. Por meio de uma análise simples e convincente, ele mostrou que em ambos os casos a quantidade total de informação dependeria de dois fatores: o tempo disponível para a transmissão e a largura de banda do canal. Os discos fonográficos e os filmes em película poderiam ser analisados da mesma maneira.

Esses estranhos estudos de Nyquist e Hartley atraíram pouca atenção a princípio. Estavam longe de ser adequados para a publicação em revistas prestigiadas de matemática ou física, mas os Laboratórios Bell tinham sua própria publicação, a *Revista Técnica dos Laboratórios Bell*, e Claude Shannon os leu em suas páginas. Ele absorveu aquelas conclusões matemáticas, por mais que ainda estivessem inacabadas. Também reparou na dificuldade que os dois cientistas enfrentavam para definir seus termos. “Por velocidade de transmissão da informação devemos entender o número de caracteres, representando diferentes letras, algarismos etc., que podem ser transmitidos num determinado intervalo de tempo.”[55] Caracteres, letras, algarismos: coisas difíceis de contar. Havia também conceitos para os quais os termos ideais ainda não tinham sido definidos: “a capacidade de um sistema de transmitir uma sequência particular de símbolos…”.[56]




*O código Baudot.*

Shannon pressentiu a promessa da unificação. Os engenheiros da comunicação estavam falando não apenas sobre fios, mas também sobre o ar, o "éter", e até fitas perfuradas. Estavam contemplando não apenas as palavras, mas também sons e imagens. Estavam representando o mundo todo sob a forma de símbolos, usando a eletricidade.

---

a Quarenta anos mais tarde, numa avaliação, o geneticista James F. Crow escreveu: "Parece ter sido escrito num completo isolamento em relação aos membros da comunidade da genética. […]. [Shannon] descobriu princípios que foram redescobertos mais tarde. […]. Lamento que [isto] não tenha chegado ao conhecimento de muitos em 1940. Acredito que teria mudado substancialmente a história deste tema". Claude Shannon, *Collected Papers*, 921.

b No inglês comum, como indicou Russell, o número é 111777: cento e onze mil, setecentos e setenta e sete ("*one hundred and eleven thousand seven hundred and seventy seven*").

# 7. Teoria da informação
## (*Busco apenas um cérebro mundano*)

> *Talvez a tarefa de conceber uma teoria da informação e seu processamento seja um pouco como tentar construir uma ferrovia transcontinental. Podemos começar no leste, tentando compreender como os agentes são capazes de processar algo, e rumar para o oeste. Ou podemos começar no oeste, tentando compreender o que é a informação, e então rumar para o leste. Nossa expectativa é que esses trilhos acabem se encontrando.*
>
> Jon Barwise, 19861

No auge da Segunda Guerra Mundial, no início de 1943, dois pensadores de mentalidade parecida, Claude Shannon e Alan Turing, reuniam-se diariamente na hora do chá no refeitório dos Laboratórios Bell sem nada dizer um ao outro a respeito do próprio trabalho, pois se tratava de algo secreto.[2] Ambos tinham se tornado analistas criptográficos. Até a presença de Turing nos Laboratórios Bell era uma espécie de segredo. Ele tinha vindo a bordo do *Queen Elizabeth*, percorrendo um zigue-zague para iludir os submarinos alemães, após um triunfo clandestino em Bletchley Park ao decifrar o Enigma, código usado pelas Forças Armadas alemãs em suas comunicações de importância crítica (como as instruções enviadas aos submarinos). Shannon estava trabalhando no Sistema X, usado na encriptação das conversas de voz entre Franklin D. Roosevelt no Pentágono e Winston Churchill em suas Salas de Guerra. Seu funcionamento consistia em coletar amostras do sinal analógico da voz ao ritmo de cinquenta vezes por segundo — "quantificando-o" ou "digitalizando-o" — e então mascará-las por meio da aplicação de uma chave aleatória, que por acaso se parecia muito com o ruído nos circuitos com o qual os engenheiros já estavam tão familiarizados. Shannon não projetou o sistema — ele fora designado para analisá-lo do ponto de vista teórico e, esperava-se, para provar sua qualidade indecifrável. E foi o que ele fez. Posteriormente, tornou-se claro que esses dois homens, cada um em seu respectivo lado do Atlântico, tinham feito mais do que qualquer outra pessoa no sentido de transformar a arte da criptografia numa ciência, mas, naquele momento, os criadores e decifradores de códigos não se falavam.

Diante da impossibilidade de conversar sobre o assunto, Turing mostrou a Shannon um estudo que havia preparado sete anos antes, intitulado “Sobre os números computáveis”, a respeito dos poderes e das limitações de uma máquina idealizada de computação. Falavam, portanto, sobre outro tema que se revelou do interesse de ambos — a possibilidade de as máquinas aprenderem a pensar. Shannon propôs que um cérebro eletrônico fosse alimentado com “elementos culturais”, como a música, e eles iam se superando mutuamente na ousadia, a ponto de Turing certa vez exclamar: “Não, não estou interessado em desenvolver um cérebro *poderoso*. Busco apenas um cérebro *mundano*, algo parecido com o presidente da American Telephone & Telegraph Company”.[3] A ousadia de ambos ao falar em máquinas pensantes em 1943, quando o transistor e o computador eletrônico ainda não tinham nascido, beirava o absurdo. A visão que Shannon e Turing partilharam nada tinha a ver com a eletrônica: tratava-se de algo no domínio da lógica.

*Serão as máquinas capazes de pensar?*, era uma pergunta que tinha uma tradição breve e levemente incomum — incomum porque as máquinas eram em si extremamente ligadas a tarefas físicas. Charles Babbage e Ada Lovelace estavam entre os pioneiros dessa tradição, por mais que tivessem sido praticamente esquecidos, e agora o rastro levava a Alan Turing, que fez algo de fato bizarro: imaginou uma máquina dotada de poderes ideais no domínio mental e mostrou aquilo que ela *não* poderia fazer. A máquina dele jamais existiu (exceto pelo fato de hoje existir por toda parte). Tratava-se apenas de um experimento da imaginação.

Paralelamente ao tema daquilo que uma máquina poderia fazer havia outra questão: quais seriam as operações *mecânicas* (palavra antiga que ganhava novo significado). Agora que as máquinas eram capazes de tocar música, capturar imagens, apontar canhões antiaéreos, conectar chamadas telefônicas, controlar linhas de montagem e realizar cálculos matemáticos, a palavra não parecia mais ser tão pejorativa. Mas apenas os temerosos e os supersticiosos imaginaram que as máquinas poderiam ser criativas, originais ou espontâneas — tais qualidades estavam em oposição à qualidade *mecânica*, que significava automática, determinada e rotineira. Esse conceito tornou-se então útil aos filósofos. Um

exemplo de objeto intelectual que poderia ser chamado de mecânico era o algoritmo: outro termo novo para algo que sempre existiu (uma receita, um conjunto de instruções, um procedimento passo a passo), mas que agora exigia o reconhecimento formal. Babbage e Lovelace lidaram com os algoritmos sem nomeá-los. O século xx conferiu aos algoritmos um papel central — a partir desse momento.

Turing era bolsista do King's College, em Cambridge, onde tinha acabado de se formar, quando apresentou seu estudo dos números computáveis a seu professor em 1936. O título completo se encerrava com um toque de elegante alemão: era "Sobre os números computáveis, com sua aplicação ao *Entscheidungsproblem*". O "problema da decisão" era um desafio que foi apresentado por David Hilbert no Congresso Internacional de Matemática de 1928. Talvez o matemático mais importante de sua época, Hilbert, assim como Russell e Whitehead, acreditava ardentemente na missão de atrelar toda a matemática a uma base lógica sólida — "*In der Mathematik gibt es kein Ignorabimus*", declarou ele. ("Na matemática não existe o *não saberemos*.") É claro que havia muitos problemas sem solução na matemática, alguns dos quais eram bastante famosos, como o Último Teorema de Fermat e a conjectura de Goldbach — afirmações que pareciam verdadeiras, mas nunca tinham sido demonstradas. *Ainda* não tinham sido demonstradas, pensavam muitos. Havia a suposição, quase uma fé, segundo a qual todas as verdades matemáticas seriam um dia demonstráveis.

O *Entscheidungsproblem* consistia em encontrar um rigoroso procedimento passo a passo por meio do qual, dada uma linguagem formal de raciocínio dedutivo, seria possível realizar automaticamente uma demonstração. Era o sonho de Leibniz mais uma vez reanimado: a expressão de todo raciocínio válido por meio de regras mecânicas. Hilbert apresentou isso sob a forma de uma pergunta, mas ele era um otimista. Imaginou saber a resposta, ou tinha a esperança de conhecê-la. Foi somente então, nesse ponto marcante para a matemática e a lógica, que Gödel interferiu na engrenagem com seu teorema da incompletude. Ao menos em seu teor, o resultado de Gödel pareceu ser um antídoto perfeito para o otimismo de Hilbert, assim como para o de Russell. Mas,

na verdade, Gödel deixou o *Entscheidungsproblem* sem solução. Hilbert tinha estabelecido a distinção entre três perguntas:

> Será a matemática completa?
>
> Será a matemática consistente?
>
> Será a matemática decidível?

Gödel mostrou que a matemática não poderia ser ao mesmo tempo completa e consistente, mas não conseguiu dar uma resposta definitiva à última pergunta, ao menos não de maneira a englobar toda a matemática. Por mais que um determinado sistema de lógica formal contenha necessariamente afirmações que não possam ser provadas nem negadas dentro do próprio sistema, podemos conceber que tais questões sejam decididas, por assim dizer, por um árbitro externo — por uma lógica externa ou por regras exteriores ao sistema.[a]

Alan Turing, de apenas 22 anos, mal conhecendo boa parte da literatura relevante, tão isolado em seus métodos de trabalho que seu professor se preocupava com a possibilidade de ele se tornar "um solitário convicto",[4] fez uma pergunta completamente diferente (pelo menos foi o que pareceu): serão os números computáveis? Tratava-se, antes de mais nada, de uma questão inesperada, porque quase ninguém tinha pensado na ideia de um número *in*computável. A maioria dos números com os quais as pessoas trabalham, ou com os quais raciocinam, são computáveis por definição. Os números racionais são computáveis porque podem ser expressos como o cociente de dois inteiros, *a*/*b*. Os números algébricos são computáveis porque são soluções de equações polinomiais. Números famosos como π e *e* são computáveis; as pessoas os computam o tempo todo. Ainda assim, Turing fez a afirmação aparentemente simples segundo a qual poderia haver números que seriam de alguma maneira nomeáveis, definíveis e *não* computáveis.

O que significava aquilo? Turing definiu como computável todo número cuja expressão decimal pudesse ser calculada por meios finitos. "A justificativa", disse ele, "jaz no fato de a memória humana ser necessariamente limitada."[5] Ele também definiu o *cálculo* como procedimento mecânico, um algoritmo. Os

humanos solucionam os problemas com a intuição, a imaginação, lampejos de criatividade — um cálculo que dificilmente poderíamos definir como mecânico, ou quem sabe uma computação cujos passos são ocultos. Turing precisava eliminar o inefável. De maneira bastante literal, ele perguntou: o que uma máquina faria? “De acordo com minha definição, um número é computável se seu decimal puder ser registrado por uma máquina.”

Nenhuma máquina existente oferecia a ele um modelo relevante. Os “computadores” eram, como sempre, as pessoas. Praticamente toda a computação do mundo ainda era realizada por meio do ato de registrar marcações no papel. Mas Turing tinha uma máquina de informação que poderia usar como ponto de partida: a máquina de escrever. Aos onze anos, enviado para o internato, ele imaginou a invenção de algo do tipo. “Vejam só”, escreveu ele aos pais, “os pequenos círculos engraçados são letras cortadas e montadas lateralmente num encaixe deslizante ligado ao

A

, que correm paralelamente a um tinteiro que, quando pressionado por elas, faz com que estas marquem a letra no papel, mas isso está longe de ser tudo.”[6] A máquina de escrever, é claro, não é automática — trata-se de algo mais semelhante a uma ferramenta do que a uma máquina. Ela não despeja sobre a página uma torrente de linguagem. Em vez disso, a página avança espaço por espaço sob o martelo, que imprime um caractere depois do outro. Com esse modelo em mente, Turing imaginou outro tipo de máquina, da maior pureza e simplicidade. Por ser imaginária, não era limitada pelos detalhes do mundo real que seriam necessários para um desenho técnico, uma especificação de engenharia ou o registro de uma patente. Como Babbage, Turing concebeu sua máquina para computar números, mas não teve de se preocupar com as limitações do ferro e do latão. Turing jamais teve a intenção de construir um protótipo de sua máquina.

Ele relacionou numa lista os pouquíssimos itens que sua máquina teria de apresentar: fita, símbolos e estados. Cada um desses elementos exigia uma definição.

*Fita* é para a máquina de Turing aquilo que o papel é para a máquina de

escrever. Mas, enquanto a máquina de escrever usa duas dimensões de seu papel, essa máquina usaria apenas uma — uma fita, portanto, uma faixa longa dividida em quadrados. “Na aritmética elementar, a natureza bidimensional do papel é às vezes usada”, escreveu ele. “Mas tal uso é sempre evitável, e creio que concordamos que a natureza bidimensional do papel não é um elemento essencial à computação.”[7] Devemos pensar na fita como infinita: sempre há mais quando necessário. Mas há apenas um quadrado “na máquina” a cada vez. A fita (ou a máquina) pode se deslocar para a esquerda ou a direita, passando ao quadrado seguinte.

*Símbolos* podem ser registrados na fita, cada um deles num quadrado. Quantos símbolos poderiam ser usados? Isso exigia algum raciocínio, especialmente para garantir que os números fossem finitos. Turing observou que as palavras — ao menos nos idiomas europeus — se comportavam como símbolos individuais. Ele disse que o chinês “tenta contar com uma infinidade enumerável de símbolos”. Os algarismos arábicos também poderiam ser considerados infinitos, se 17 e 999999999999999 forem tratados como símbolos únicos, mas ele preferiu tratá-los como um composto: “É sempre possível usar sequências de símbolos no lugar de símbolos avulsos”. Na verdade, condizente com o espírito minimalista da máquina, ele favoreceu o mínimo absoluto de dois símbolos: a notação binária, zeros e uns. Além de serem registrados na fita, os símbolos deveriam também ser lidos a partir dela — a palavra que ele usou foi “escaneados”. É claro que, na realidade, nenhuma tecnologia da época era capaz de escanear símbolos escritos num papel e inseri-los na máquina, mas havia equivalentes: os cartões perfurados, por exemplo, hoje usados nas máquinas de tabulação. Turing especificou outra limitação: a máquina tem “consciência” (somente a palavra antropomórfica serviria) de apenas um símbolo por vez — aquele contido no quadrado inserido na máquina.

*Estados* exigiam uma explicação mais aprofundada. Turing usou a palavra “configurações” e indicou que se assemelhavam a “estados de espírito”. A máquina tem alguns destes — algum número finito. Num dado estado, a máquina assume um ou mais determinados comportamentos, dependendo do símbolo em questão. No estado *a*, por exemplo, a máquina pode deslocar a fita

para o quadrado adjacente à direita se o símbolo em questão for 1, ou deslocar a fita para o quadrado adjacente à esquerda se o símbolo em questão for 0, ou imprimir 1 se o quadrado em questão estiver em branco. No estado *b*, a máquina pode apagar o símbolo em questão. No estado *c*, se o símbolo for 0 ou 1, a máquina pode deslocar a fita para a direita ou, caso contrário, parar. Depois de cada ação, a máquina termina num novo estado, que pode ser o mesmo ou diferente. Os vários estados usados para um dado cálculo eram armazenados numa tabela — a forma de administrar esse processo fisicamente não era relevante. Na prática, a tabela de estados era o conjunto de instruções da máquina.

E isso era tudo.

Turing estava *programando* sua máquina, apesar de ainda não empregar tal palavra. A partir das ações mais primitivas — mover, imprimir, apagar, mudar de estado e parar —, processos maiores foram construídos, e foram usados de novo e de novo: "copiar sequências de símbolos, comparar sequências, apagar todos os símbolos de um determinado formato etc.". A máquina só pode ver um símbolo por vez, mas na prática pode usar partes da fita para armazenar informações de forma temporária. Nas palavras de Turing: "Alguns dos símbolos registrados […] são apenas anotações de rascunho 'para auxiliar a memória'". A fita, desenrolando-se até o horizonte e além, serve como registro ilimitado. Dessa forma, toda a aritmética jaz ao alcance da máquina. Turing mostrou como fazer para somar um par de números — ou seja, escreveu a tabela de estados necessária para a operação. Mostrou como fazer a máquina imprimir (interminavelmente) a representação binária de π. Gastou um tempo considerável tentando desvendar tudo aquilo que a máquina era capaz de fazer, e como poderia desempenhar tarefas específicas. Demonstrou que essa breve lista cobre tudo aquilo que uma pessoa faz ao computar um número. Não era necessário nenhum outro conhecimento ou intuição. Tudo aquilo que é computável poderia ser computado por aquela máquina.

Veio então o toque final. As máquinas de Turing, reduzidas a uma tabela finita de estados e um conjunto finito de possibilidades de entrada, poderiam ser elas mesmas representadas por números. Cada tabela de estados possível,

combinada com sua fita inicial, representa uma máquina diferente. Assim, cada máquina em si pode ser descrita por um determinado número — uma determinada tabela de estados combinada à sua fita inicial. Turing estava codificando suas máquinas assim como Gödel tinha codificado a linguagem da lógica simbólica. Isso obliterou a distinção entre dados e instruções: no fim, todos não passavam de números. Para cada número computável deve haver o número de uma máquina correspondente.

Turing produziu (ainda em sua imaginação) uma versão da máquina capaz de simular todas as demais máquinas possíveis — cada computador digital. Ele chamou essa máquina de *U*, significando "universal", e os matemáticos usam carinhosamente o nome *U* até hoje. Ela recebe como entrada os números de máquinas. Ou seja, ela lê a descrição de outras máquinas a partir de sua fita — seus algoritmos e sua própria entrada. Por mais que um computador digital possa se tornar complexo, sua descrição ainda pode ser codificada numa fita passível de ser lida por *U*. Se um problema puder ser solucionado por qualquer computador digital — codificado em símbolos e solucionado aritmeticamente —, a máquina universal também poderá resolvê-lo.

Agora o microscópio era voltado para si próprio. A máquina de Turing se dedica a examinar cada número para ver se este corresponde a um algoritmo computável. Alguns se mostrarão computáveis. Outros podem se revelar impossíveis de computar. E existe uma terceira possibilidade, justamente a que mais interessava a Turing. Alguns algoritmos podem iludir o examinador, fazendo com que a máquina siga funcionando, desempenhando suas operações inescrutáveis, jamais interrompendo sua atividade, nunca se repetindo de maneira óbvia, e deixando o observador para sempre no escuro quanto à *possibilidade* da interrupção de seu funcionamento.

A essa altura a argumentação de Turing, conforme apresentada em 1936, tinha se tornado uma intrincada obra-prima de definições recursivas, símbolos inventados para representar outros símbolos, números substituindo números, substituindo tabelas de estado, algoritmos e até máquinas. No papel a coisa funcionava assim:

> Ao combinar as máquinas D e U poderíamos construir uma máquina M para computar a sequência β'. A máquina D pode exigir uma fita. Podemos supor que ela usa os quadrados-*E* além de todos os símbolos dos quadrados-*F*, e quando a máquina chega a esse veredicto todo o trabalho de rascunho feito por D é apagado. […]
>
> Podemos demonstrar também que *não pode existir uma máquina* E *que, quando aplicada em conjunto com o S.D. de uma máquina arbitrária* M, possa determinar se M chegará um dia a imprimir determinado símbolo (0, digamos).

Poucos eram capazes de acompanhar isso. Pode parecer paradoxal — e na verdade *é* paradoxal —, mas Turing provou que certos números não podem ser computados. (De fato, a maioria deles é incomputável.)

Além disso, como cada número correspondia a uma proposição codificada da matemática e da lógica, Turing tinha solucionado a pergunta de Hilbert quanto à possibilidade de toda proposição ser passível de uma decisão. Ele tinha provado que o *Entscheidungsproblem* tem uma resposta, e a resposta é não. Um número incomputável é, na prática, uma proposição impossível de ser decidida.

Assim, o computador de Turing — uma máquina elegante, abstrata e totalmente imaginária — o levou a uma demonstração paralela à de Gödel. Turing foi mais longe que Gödel ao definir o conceito geral de um sistema formal. Todo procedimento mecânico usado para gerar fórmulas é essencialmente uma máquina de Turing. Assim, *todo* sistema formal precisa ter proposições indecidíveis. A matemática não é decidível. A incompletude nasce da incomputabilidade.

Mais uma vez os paradoxos ganham vida quando os números ganham o poder de codificar o comportamento da própria máquina. Essa é a reviravolta recursiva necessária. A entidade que é calculada vê-se fatalmente misturada à entidade calculadora. Como disse Douglas Hofstadter muito mais tarde: "Tudo depende de fazer esse inspetor de interrupções prever seu próprio comportamento quando estiver observando a si mesmo na tentativa de prever o próprio comportamento quando estiver observando a si mesmo na tentativa de prever o próprio comportamento quando…".[8] Uma charada de teor semelhante tinha aparecido pouco tempo antes também na física: o novo princípio da incerteza de Werner Heisenberg. Quando Turing ficou sabendo daquilo, ele o expressou em termos de autorreferência:

> Costumava-se supor na ciência que se tudo a respeito do universo fosse conhecido num dado momento poderíamos então prever como as coisas seriam em todo o futuro. […] Mas a ciência mais moderna chegou à conclusão de que, quando lidamos com átomos ou elétrons, é bastante difícil conhecer o estado exato de cada um deles; pois nossos próprios instrumentos são feitos de átomos e elétrons.9

Um século se passou entre a Máquina Analítica de Babbage e a Máquina Universal de Turing — entre uma traquitana imensa e desajeitada e uma abstração elegante e imaterial. Turing nunca tentou ser um maquinista. "Podemos imaginar um secretário empenhado e disciplinado, bem abastecido de papel de rascunho, seguindo incansavelmente suas instruções",[10] conforme comentou o matemático e lógico Herbert Enderton anos mais tarde. Como Ada Lovelace, Turing era um programador, voltava seu olhar para dentro e observava os passos seguidos pela lógica de sua mente. Ele imaginava a si mesmo como um computador. Destilou seus processos mentais nas mínimas partes que os constituíam, os átomos do processamento da informação.

Alan Turing e Claude Shannon tinham códigos em comum. Turing codificava instruções sob a forma de números. Ele codificou os números decimais em zeros e uns. Shannon criou códigos para os genes e cromossomos e relés e interruptores. Ambos aplicaram sua engenhosidade ao mapeamento de um conjunto de objetos em outro conjunto: operações lógicas e circuitos elétricos; funções algébricas e instruções para máquinas. O uso dos símbolos e a ideia de *mapear*, no sentido de encontrar uma correspondência rigorosa entre dois conjuntos, possuíam um lugar de destaque no arsenal mental de ambos. Esse tipo de codificação não tinha como objetivo obscurecer, e sim iluminar: descobrir que maçãs e laranjas eram afinal todas equivalentes ou, se não equivalentes, ao menos fungíveis. A guerra trouxe os dois ao terreno da criptografia em suas formas mais indecifráveis.

Com frequência a mãe de Turing perguntava a ele qual era a finalidade

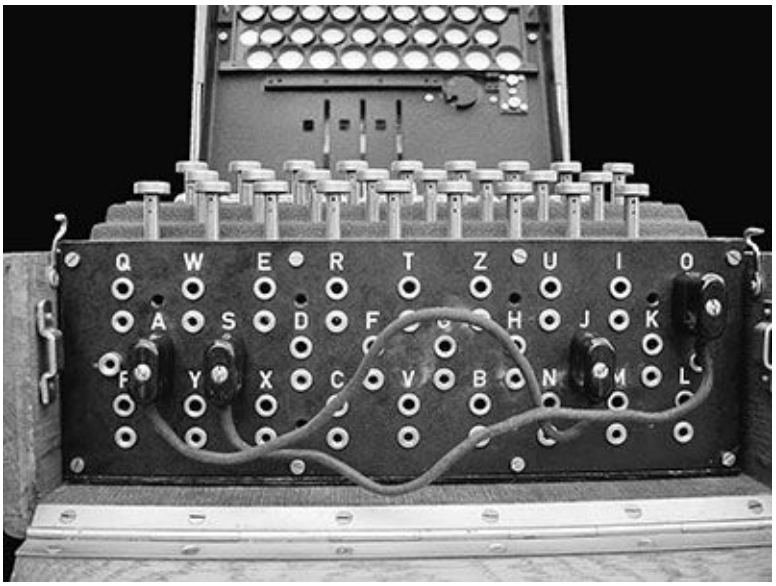
prática de seus estudos matemáticos, e ele lhe explicou já em 1936 que havia descoberto uma possível aplicação: “muitos códigos particulares e interessantes”. E acrescentou: “Imagino que possa vendê-los ao Governo de Sua Majestade por uma soma substancial, mas tenho minhas dúvidas quanto à moralidade dessas coisas”.[11] De fato, uma máquina de Turing era capaz de *criar* cifras. Mas o problema do Governo de Sua Majestade era outro. Com a aproximação da guerra, a tarefa de ler as mensagens interceptadas do tráfego alemão de sinais e mensagens enviados por cabo e pelo ar foi designada à Escola Governamental de Códigos e Cifras, originalmente parte do Almirantado, com uma equipe a princípio composta de linguistas, secretários e digitadores, mas nenhum matemático. Turing foi recrutado no verão de 1938. Quando a Escola de Códigos e Cifras foi levada de Londres para Bletchley Park, uma mansão de campo em Buckinghamshire, Turing se dirigiu para lá ao lado de uma equipe que incluía também campeões de xadrez e especialistas na solução de palavras cruzadas. Agora estava claro que o entendimento dos idiomas clássicos pouco tinha a contribuir para a análise criptográfica.

O sistema alemão, batizado de Enigma, empregava uma cifra polialfabética implementada por uma máquina de rotores do tamanho de uma valise, com o teclado de uma máquina de escrever e lâmpadas indicadoras. A cifra tinha evoluído a partir de um ancestral famoso, a cifra Vigenère, considerada indecifrável até ser desvendada por Charles Babbage em 1854, e o insight matemático de Babbage deu a Bletchley uma ajuda inicial, assim como o trabalho de analistas criptográficos poloneses que tiveram os primeiros e difíceis anos de experiência com o tráfego de sinais da Wehrmacht. Trabalhando numa ala conhecida como Cabana 8, Turing assumiu a vanguarda teórica e solucionou o problema, não apenas matemática como fisicamente.

Isso significou construir uma máquina para inverter a codificação cifrada de um número indeterminado de Enigmas. Enquanto sua primeira máquina tinha sido um fantasma de fita hipotética, esta, chamada de Bombe, ocupava 2,5 metros cúbicos com uma tonelada de fios e metal que vazava óleo, e mapeava com eficácia os rotores do dispositivo alemão sob a forma de circuitos elétricos.

O triunfo científico em Bletchley — segredo mantido durante toda a guerra que resistiu por trinta anos após seu término — teve um impacto mais importante no resultado dos combates até mesmo do que o Projeto Manhattan, a bomba de fato. Perto do fim da guerra, as Bombas de Turing decifravam milhares de mensagens militares interceptadas todos os dias, ou seja, numa escala nunca antes vista.

Por mais que nada disso fosse conversado entre Turing e Shannon quando eles se encontravam para comer nos Laboratórios Bell, eles falavam indiretamente a respeito de uma noção de Turing que envolvia uma forma de medir tudo *aquilo*. Ele observara os analistas pesando as mensagens que passavam por Bletchley, algumas incertas e outras contraditórias, enquanto tentavam avaliar a probabilidade de algum fato — a configuração específica de um Enigma, por exemplo, ou a localização de um submarino. Ele teve a sensação de que havia ali algo a ser medido, em termos matemáticos. Não era a probabilidade, que seria tradicionalmente expressa como uma proporção (do tipo três para dois) ou um número de zero a um (como 0,6 ou 60%). Em vez disso, Turing estava preocupado com os dados que *alteravam* a probabilidade: um fator de probabilidade, algo como o peso da evidência. Ele inventou uma unidade que batizou de “ban”. Pareceu-lhe conveniente usar uma escala logarítmica, de modo que os bans fossem somados em vez de multiplicados. Partindo da base dez, um ban era o peso da evidência necessário para tornar um fato dez vezes mais provável. Para uma medição mais precisa havia os “decibans” e “centibans”.



*Máquina Enigma capturada.*

Shannon tinha chegado a uma noção parecida.

Trabalhando no antigo quartel-general de West Village, ele desenvolveu ideias teóricas a respeito da criptografia que o ajudaram a aprimorar o foco no sonho que tinha confidenciado a Vannevar Bush: sua "análise de algumas das propriedades fundamentais dos sistemas gerais de transmissão de informações". Ele seguiu trilhos paralelos durante toda a guerra, mostrando aos supervisores o trabalho criptográfico e ocultando o restante. O ocultamento estava na ordem do dia. No campo da matemática pura, Shannon tratou de alguns dos mesmos sistemas de cifras que Turing estava abordando com intercepções reais e equipamento bruto — a questão específica da segurança dos criptogramas Vignère quando "o inimigo sabe que o sistema está sendo usado",[12] por exemplo. (Os alemães estavam usando justamente tais criptogramas, e os britânicos eram o inimigo que conhecia o sistema.) Shannon estava analisando os casos mais gerais, todos eles envolvendo "informações distintas", de acordo com suas palavras. Isso significava sequências de símbolos, escolhidos a partir de um conjunto finito, principalmente as letras do alfabeto, mas também palavras de um idioma e até a "fala quantificada", sinais de voz repartidos em pacotes com diferentes níveis de amplitude. O ocultamento nesse caso se dava substituindo os símbolos errados pelos certos, de acordo com algum procedimento matemático no qual uma *chave* é conhecida pelo receptor da mensagem, que pode usá-la para reverter as substituições. Um sistema seguro funciona mesmo quando o inimigo conhece o procedimento, desde que a chave seja mantida em segredo.

Os decifradores de códigos enxergam um fluxo de dados que parece ser lixo. Eles querem encontrar o sinal verdadeiro. "Do ponto de vista do analista criptográfico", destacou Shannon, "um sistema de sigilo é quase idêntico a um sistema de comunicação ruidoso."[13] (Ele completou seu relatório, "Uma teoria matemática da criptografia", em 1945; o trabalho foi imediatamente declarado confidencial.) O fluxo de dados deve parecer aleatório ou estocástico, mas é claro que não é assim: se fosse realmente aleatório o sinal se perderia. A cifra

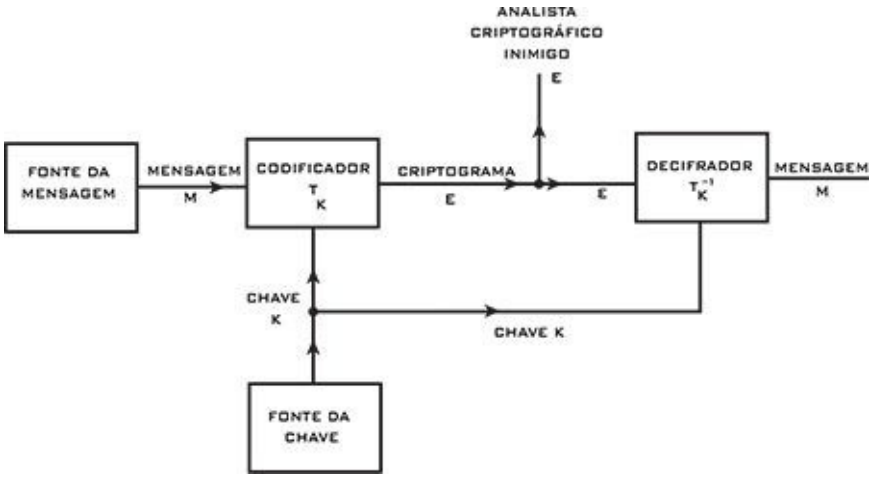
precisa transformar algo padronizado, a linguagem comum, em algo que à primeira vista não segue nenhum padrão. Mas o padrão é surpreendentemente persistente. Para analisar e categorizar as transformações da codificação cifrada, Shannon teve de compreender os padrões da linguagem de uma maneira que os estudiosos — os linguistas, por exemplo — nunca haviam feito antes. Os linguistas tinham, no entanto, começado a concentrar sua disciplina na estrutura da linguagem — sistema a ser encontrado entre as vagas ondas de formas e sons. O linguista Edward Sapir escreveu a respeito de "átomos simbólicos" formados pelos padrões fonéticos subjacentes à linguagem. "Os meros sons da fala", escreveu ele em 1921, "não são o fato essencial da linguagem, que jaz em vez disso na classificação, na padronização formal. […] Em termos estruturais, a linguagem é em sua face interna o molde do pensamento."[14] *Molde do pensamento* era um conceito refinado. Shannon, por sua vez, precisava enxergar a linguagem em termos mais tangíveis e contáveis.

Aos olhos dele, padrão era o mesmo que redundância. Na linguagem comum, a redundância funciona como auxílio à compreensão. Na análise criptográfica, é o calcanhar de aquiles. Onde está a redundância? Na língua inglesa, por exemplo, sempre que aparece a letra *q*, o *u* que se segue a ela é redundante. (Ou quase — seria inteiramente redundante se não fosse por itens emprestados como *qin* e *Qatar*.) Após o *q* espera-se um *u*. Isso não surpreende. Não traz nenhuma informação nova. Após a letra *t*, um *h* tem certo grau de redundância, pois é a letra com a maior probabilidade de aparecer. Todo idioma tem uma determinada estrutura estatística, defendeu Shannon, que traz consigo determinada redundância. Chamemos isso de *D* (sugestão dele). "Num certo sentido, *D* mede até que ponto um texto no idioma pode ter seu comprimento reduzido sem que isso incorra na perda de informação."[15]

Shannon estimou que o inglês teria uma redundância de aproximadamente 50%.[b] Na ausência de computadores para processar grandes volumes de texto, não havia como saber disso com certeza, mas a estimativa revelou-se correta. Trechos típicos podem ser reduzidos pela metade sem incorrer na perda de informações. (*se csg lr sto…*) Com a mais simples das primeiras cifras de substituição, essa redundância proporcionou o primeiro ponto fraco. Edgar Allan

Poe sabia que, quando um criptograma continha mais *z*'s do que qualquer outra letra, então *z* seria provavelmente o substituto de *e*, sendo *e* a letra mais recorrente no inglês. Assim que era decifrado o *q*, o mesmo ocorria com o *u*. Um decifrador de códigos buscava padrões recorrentes que pudessem corresponder a palavras comuns ou combinações de letras: *the*, *and*, *-tion*. Para aperfeiçoar esse tipo de análise de frequência, os decifradores de códigos precisavam de informações mais detalhadas a respeito da frequência das letras do que aquelas que Alfred Vail ou Samuel Morse tinham sido capazes de obter ao examinar as bandejas de tipos dos tipógrafos e, fosse como fosse, cifras mais inteligentes superaram essa fraqueza ao variar constantemente o alfabeto de substituição, de modo que cada letra passava a ter muitas substitutas possíveis. Os padrões óbvios e reconhecíveis desapareceram. Mas, enquanto um criptograma contivesse traços de algum padrão — qualquer forma ou sequência ou regularidade estatística —, um matemático seria capaz de, em tese, encontrar uma maneira de decifrá-lo.

O que todos os sistemas de sigilo tinham em comum era o uso de uma chave: uma palavra em código, ou frase, ou um livro inteiro, ou algo ainda mais complexo, mas mesmo assim uma fonte de caracteres conhecida tanto pelo emissor como pelo receptor — um conhecimento partilhado distinto da mensagem em si. No sistema alemão Enigma, a chave era internalizada no equipamento e mudava diariamente. Bletchley Park tinha de redescobrir a chave a cada vez, com seus especialistas desvendando os recém-transformados padrões da linguagem. Enquanto isso, Shannon se recolheu para o ponto de vista mais distante, geral e teórico. Um sistema de sigilo consistia num número finito (embora possivelmente imenso) de mensagens possíveis, um número finito de criptogramas possíveis e, no meio do caminho, transformando uma coisa na outra, um número finito de chaves, cada uma delas associada a uma probabilidade. Este era o seu diagrama esquemático:




O inimigo e o receptor tentam chegar à mesma meta: a mensagem. Ao definir a questão dessa maneira, em termos matemáticos e de probabilidades, Shannon tinha abstraído totalmente a ideia da mensagem de seus detalhes físicos. Sons, formatos de onda, todas as preocupações habituais de um engenheiro dos Laboratórios Bell — nada disso importava. A mensagem era vista como uma escolha: uma alternativa adotada a partir de um conjunto. Na igreja de Old North, na noite da cavalgada de Paul Revere, o número de mensagens possíveis era dois. Na época de Shannon, esse número era quase incalculável — mas ainda era suscetível à análise estatística.

Ainda sem saber da experiência bastante real e absolutamente relevante em Bletchley Park, Shannon ergueu um edifício de métodos algébricos, teoremas e comprovações que deu aos analistas criptográficos aquilo que eles nunca antes tiveram: uma forma rigorosa de avaliar o grau de segurança de qualquer sistema de sigilo. Ele definiu os princípios científicos da criptografia. Entre outras coisas, provou que cifras perfeitas eram possíveis — “perfeitas” no sentido de que uma mensagem capturada de comprimento infinito não ajudaria um decifrador de códigos (“ao interceptar um determinado material, o inimigo não se vê em posição melhor do que antes”[16]). Mas sua contribuição foi proporcional ao desafio contido nela, pois Shannon também comprovou que as exigências seriam tão rigorosas a ponto de torná-las praticamente inúteis. Numa cifra perfeita, todas as chaves devem apresentar probabilidade igual, consistindo na prática num fluxo aleatório de caracteres — cada chave só pode ser usada uma vez e, para piorar, cada chave deve ser tão longa quanto a mensagem inteira.

Também nesse estudo secreto, de maneira quase casual, Shannon usou uma expressão que nunca tinha empregado antes: “teoria da informação”.

Primeiro Shannon teve que erradicar o “significado”. As aspas germicidas eram dele. “O ‘significado’ de uma mensagem é em geral irrelevante”,[17] propôs Shannon, animado.

Ele fez essa provocação para tornar seu propósito totalmente claro. Se o objetivo era criar uma teoria, Shannon precisava sequestrar a palavra *informação*. “Por mais que esteja relacionada ao significado cotidiano da palavra”, escreveu ele, “neste caso, a ‘informação’ não deve ser confundida com ele.” Como Nyquist e Hartley antes dele, Shannon quis deixar de lado “os fatores psicológicos” para se concentrar apenas “no físico”. Mas, se a informação fosse separada do conteúdo semântico, o que restaria? Algumas coisas podiam ser ditas, e todas soavam paradoxais numa primeira impressão. A informação é incerteza, surpresa, dificuldade e entropia:

• “A informação é intimamente associada à incerteza.” A incerteza, por sua vez, pode ser medida ao contar o número de mensagens possíveis. Se uma única mensagem for possível, não há incerteza e, portanto, não há informação.

• Algumas mensagens podem ser mais prováveis do que outras, e informação implica surpresa. A surpresa é uma maneira de se referir às probabilidades. Se a letra após o *t* (no inglês) for *h*, não é transmitida muita informação, pois a probabilidade associada ao *h* era relativamente alta.

• “O significativo é a dificuldade em transmitir a mensagem de um ponto a outro.” Talvez isso tenha parecido uma inversão, ou algo tautológico, como definir a massa em termos da força necessária para mover um objeto. Dito isso, a massa *pode* ser definida dessa maneira.

• Informação é entropia. Essa foi a noção mais estranha e poderosa de todas. A entropia — um conceito já difícil e mal compreendido — é a medida da

desordem na termodinâmica, ciência do calor e da energia.

Deixando de lado o controle balístico e a criptografia, Shannon perseguiu essas ideias fugidias durante toda a guerra. Morando sozinho num apartamento em Greenwich Village, ele raramente socializava com os colegas, que agora trabalhavam a maior parte do tempo nas instalações de Nova Jersey, enquanto Shannon preferia o antigo edifício de West Street. Ele não tinha que dar satisfações. Sua guerra o afastou do serviço militar, afastamento que prosseguiu após o fim da guerra em si. Os Laboratórios Bell eram um empreendimento rigorosamente masculino, mas, no período da guerra, o grupo de computação em especial carecia muito de funcionários competentes e começou a contratar mulheres, entre elas Betty Moore, que tinha crescido em Staten Island. Era como uma central de datilografia para formandos em matemática, pensou ela. Depois de um ano a moça foi promovida para o grupo de pesquisas com micro-ondas, no antigo edifício da Nabisco — a "fábrica de biscoitos" —, que ficava em frente ao edifício principal em West Street. O grupo projetava tubos no segundo andar e os construía no primeiro e, de vez em quando, Claude ia até lá para fazer uma visita. Ele e Betty começaram a namorar em 1948 e se casaram no início de 1949. Naquela época, Shannon se tornou o cientista a respeito de quem todos estavam falando.

Poucas bibliotecas recebiam a *Revista Técnica dos Sistemas Bell*, de modo que os pesquisadores ficaram sabendo da "Teoria Matemática da Comunicação" do modo tradicional, o boca a boca, e obtiveram cópias da maneira tradicional, escrevendo diretamente ao autor e pedindo-lhe um exemplar. Muitos cientistas usaram cartões-postais previamente impressos para tais pedidos, e estes chegaram em volume cada vez maior no decorrer do ano seguinte. Nem todos compreenderam o estudo. A parte matemática era difícil para muitos engenheiros, enquanto os matemáticos careciam do contexto necessário para entender a parte de engenharia. Mas Warren Weaver, diretor de ciências naturais da Fundação Rockefeller, no centro da cidade, já estava dizendo ao seu presidente que Shannon tinha feito pela teoria da comunicação "o mesmo que Gibbs fez pela química física".[18] Weaver tinha dirigido as pesquisas do governo

em matemática aplicada durante a guerra, supervisionando tanto o projeto de controle balístico como os primeiros trabalhos com máquinas calculadoras eletrônicas. Em 1949, escreveu um ensaio avaliativo e menos técnico a respeito da teoria de Shannon para a *Scientific American* e, ainda naquele ano, os dois textos — o ensaio de Weaver e a monografia de Shannon — foram publicados juntos sob a forma de um livro, então intitulado de maneira mais grandiosa: *A teoria matemática da comunicação*. Para John Robinson Pierce, engenheiro dos Laboratórios Bell que observara a gestação simultânea do transistor e do estudo de Shannon, foi este último que "caiu como uma bomba, uma espécie de bomba de efeito retardado".[19]



*Central dos Laboratórios Bell em West Street, cortada pelos trens da linha superior.*

Para um leigo, o problema fundamental da comunicação estava em se fazer entender — transmitir significado —, mas Shannon expunha a questão de modo diferente:

> O problema fundamental da comunicação é reproduzir num determinado ponto, seja exata ou aproximadamente, uma mensagem selecionada num ponto diferente.[20]

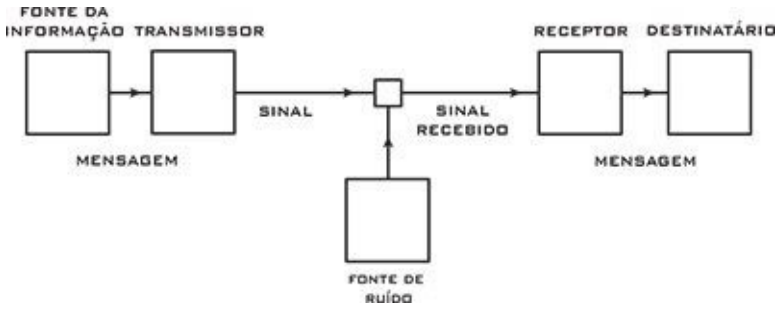
"Ponto" foi uma palavra cuidadosamente escolhida: a origem e o destino de uma mensagem poderiam ser separados no espaço ou no tempo — o armazenamento da informação, como num disco fonográfico, conta como uma

comunicação. Da mesma forma, a mensagem não é criada — é selecionada. Trata-se de uma escolha. Pode ser uma carta tirada de um baralho, ou três dígitos decimais escolhidos entre os milhares de possibilidades, ou uma combinação de palavras a partir de determinado livro de códigos. Ele não podia ignorar totalmente o significado e, por isso, vestiu o conceito com a definição de um cientista para só então tirá-lo de seu caminho:

> As mensagens costumam ter *significado*; ou seja, fazem referência ou estão relacionadas a um determinado sistema com certas entidades físicas ou conceituais. Tais aspectos semânticos da comunicação são irrelevantes para o problema da engenharia.

Apesar disso, como Weaver se esforçou para explicar, não se tratava de uma visão estreita da comunicação. Pelo contrário, era o modelo mais abrangente: "não apenas o texto escrito e a fala, mas também a música, as artes visuais, o teatro, o balé e, na verdade, todo o comportamento humano". E também o comportamento não humano: por que motivo as máquinas não teriam mensagens a enviar?

O modelo de Shannon para a comunicação se encaixava num diagrama simples — essencialmente, o mesmo diagrama mostrado em seu estudo secreto da criptografia, o que nada tinha de coincidência.




Um sistema de comunicação precisa conter os seguintes elementos:

• A fonte da informação é a pessoa ou a máquina geradora da mensagem, que pode ser simplesmente uma sequência de caracteres, como num telégrafo ou teletipo, ou ser expressa matematicamente como funções — $f(x, y, t)$ — de tempo e outras variáveis. Num exemplo complexo como a televisão em cores, os componentes são três funções num continuum tridimensional, destacou Shannon.

• O transmissor “realiza algum tipo de operação na mensagem” — ou seja, *codifica* a mensagem — para produzir um sinal adequado. Um telefone converte a pressão do som em corrente elétrica analógica. Um telégrafo codifica caracteres em pontos, traços e espaços. Mensagens mais complexas podem ser reduzidas a amostras, comprimidas, quantizadas e alternadas.

• O canal: “simplesmente o meio usado para transmitir o sinal”.

• O receptor inverte a operação do transmissor. Ele decodifica a mensagem, ou a reconstrói a partir do sinal.

• O destinatário “é a pessoa (ou coisa)” na outra extremidade.

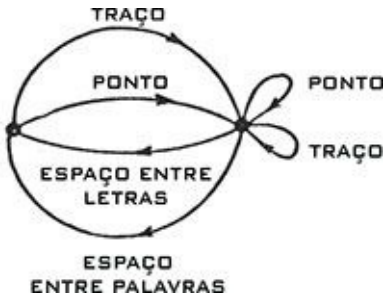
No caso de uma conversa cotidiana, tais elementos são o cérebro do falante, as cordas vocais do falante, o ar, o ouvido do ouvinte e o cérebro do ouvinte.

Tão proeminente quanto os outros elementos no diagrama de Shannon — por ser algo inescapável para um engenheiro —, há uma caixa rotulada de “Fonte de Ruído”. Isso engloba tudo que corrompe o sinal, sejam fatores previsíveis ou imprevisíveis: adições indesejadas, erros, perturbações aleatórias, estática, “fatores atmosféricos”, interferência e distorção. Uma família explosiva sob quaisquer circunstâncias, e Shannon tinha dois tipos diferentes de sistema com os quais lidar, os contínuos e os distintos. Num sistema distinto, mensagem e sinal assumem a forma de símbolos individuais destacados, como caracteres ou dígitos ou pontos ou traços. Independentemente da telegrafia, sistemas contínuos de ondas e funções eram aqueles com os quais os engenheiros elétricos se deparavam todos os dias. Quando lhe pedem para fazer mais informação caber num determinado canal, todo engenheiro sabe o que fazer: aumentar a potência. Mas, nas grandes distâncias, essa abordagem não estava dando certo, porque as repetidas amplificações do sinal levavam a um ruído cada vez maior, prejudicando a comunicação.

Shannon se esquivou desse problema tratando o sinal como uma sequência de símbolos distintos. Agora, em vez de aumentar a potência, um emissor poderia superar o ruído usando símbolos adicionais para a correção de erros — assim como um percussionista africano se faz entender mesmo nos pontos mais

distantes não batendo com mais força nos tambores, e sim expandindo a verborragia de seu discurso. Shannon considerou que o caso distinto era mais fundamental também num sentido matemático. E ele estava pensando em outra questão: o fato de o tratamento das mensagens como algo distinto se aplicar não apenas à comunicação tradicional, mas também a um subcampo novo e algo esotérico — a teoria das máquinas computadoras.

Assim, ele voltou ao telégrafo. Analisado com precisão, o telégrafo não usava uma linguagem de apenas dois símbolos, ponto e traço. No mundo real, os telegrafistas usavam o ponto (uma unidade de "linha fechada" e uma unidade de "linha aberta"), o traço (três unidades, digamos, de linha fechada e uma unidade de linha aberta) e também dois espaços distintos: o espaço de uma letra (normalmente três unidades de linha aberta) e um espaço mais longo separando as palavras (seis unidades de linha aberta). Esses quatro símbolos têm status e probabilidade desiguais. Um espaço nunca pode se seguir a outro espaço, por exemplo, ao passo que um ponto e um traço podem se seguir a qualquer coisa. Shannon expressou isso em termos de *estados*. O sistema tem dois estados: num deles, um espaço era o símbolo anterior e somente um ponto ou traço é permitido, e o estado então muda; no outro, qualquer símbolo é permitido, e o estado muda somente se um espaço for transmitido. Ele ilustrou isso na forma de um gráfico:




Isso estava longe de ser um sistema simples e binário de codificação. Ainda assim, Shannon mostrou como derivar as equações corretas para o conteúdo da informação e a capacidade do canal. E, o mais importante, ele se concentrou no efeito da estrutura estatística da linguagem da mensagem. A própria existência dessa estrutura — a frequência maior do *e* em relação ao *q*, do *th* em relação ao *xp*, e assim por diante — permite que se poupe tempo ou capacidade do canal.

Até certo ponto isso já é feito na telegrafia por meio do uso da menor sequência de canais, um ponto

> para o E, letra mais comum da língua inglesa, enquanto as letras menos frequentes, Q, X, Z, são representadas por sequências mais longas de pontos e traços. Essa ideia é levada ainda mais adiante em certos códigos comerciais nos quais as palavras e frases mais comuns são representadas por grupos de códigos de quatro ou cinco letras, resultando numa considerável vantagem no tempo médio necessário. Os telegramas padronizados de boas-vindas e feliz aniversário atualmente em uso estendem isso a ponto de codificar uma sentença ou duas em sequências numéricas relativamente curtas.21

Para elucidar a estrutura da mensagem, Shannon recorreu a conhecimentos da metodologia e da linguagem da física dos processos estocásticos, do movimento browniano à dinâmica estelar. (Ele citou um revolucionário estudo de 1943 publicado pelo astrofísico Subrahmanyan Chandrasekhar em *Reviews of Modern Physics*.[22]) Um processo estocástico não é determinístico (o evento seguinte pode ser calculado com certeza) nem aleatório (o evento seguinte é totalmente livre). Ele é governado por um conjunto de probabilidades. Cada evento tem uma probabilidade que depende do estado do sistema e talvez de sua história anterior. Se substituirmos *evento* por *símbolo*, então uma linguagem natural escrita como o inglês e o chinês seria um processo estocástico. O mesmo vale para a fala digitalizada e para o sinal da televisão.

Observando mais profundamente, Shannon examinou a estrutura estatística em termos de quanto os elementos de uma mensagem influenciam a probabilidade do símbolo seguinte. A resposta poderia ser nula: cada símbolo tem sua própria probabilidade, mas não depende daquilo que veio antes. Trata-se de um caso de primeira ordem. Num caso de segunda ordem, a probabilidade de cada símbolo depende do símbolo imediatamente anterior, mas não de nenhum outro. Então cada combinação de dois caracteres, ou diagrama, tem sua própria probabilidade: em inglês, a probabilidade de *th* é maior do que a de *xp*. Num caso de terceira ordem, são observados os trigramas, e assim por diante. Além disso, no texto comum, faz sentido a análise no nível das palavras em vez dos caracteres individuais, e muitos tipos de fatos estatísticos desempenham um papel. Imediatamente após a palavra *amarelo*, algumas palavras têm probabilidade mais alta do que a habitual, enquanto outras têm probabilidade virtualmente igual a zero. No inglês, depois do artigo *an*, palavras que começam com consoantes se tornam extremamente raras. Se a letra *u* está no fim de uma

palavra, essa palavra é provavelmente *you*. Se duas letras consecutivas são iguais, estas são provavelmente *ll*, *ee*, *ss* ou *oo*. E a estrutura pode ser transmitida por longas distâncias: numa mensagem contendo a palavra *vaca*, mesmo após a intervenção de muitos outros caracteres, ainda é relativamente provável que a palavra *vaca* volte a aparecer. O mesmo vale para a palavra *cavalo*. Para Shannon, uma mensagem poderia se comportar como um sistema dinâmico cuja trajetória futura é condicionada por seu histórico anterior.

Para ilustrar as diferenças entre essas ordens diferentes de estruturas, ele escreveu — computou, na verdade — uma série de "aproximações" do texto em inglês. Usou um alfabeto de 27 caracteres, as letras e um espaço entre as palavras, e gerou sequências de caracteres com a ajuda de uma tabela de números aleatórios. (Estes foram obtidos de um livro recém-publicado para tais fins pela editora Cambridge University Press: 100 mil dígitos por três xelins e nove pence, e os autores "oferecem a garantia da disposição aleatória".[23]) Mesmo com os números aleatórios fornecidos previamente, a tarefa de desvendar as sequências era exaustiva. O exemplo de texto era semelhante ao seguinte:

• "Aproximação de ordem zero" — ou seja, caracteres aleatórios, nenhuma estrutura nem correlação.

> xfoml rxkhrjffjuj zlpwcfwkcyj
> ffjeyvkcqsghyd qpaamkbzaacibzlhjqd.

• Primeira ordem — cada caractere é independente dos demais, mas as frequências são as esperadas no inglês, com mais *e*'s e *t*'s, menos *z*'s e *j*'s, e o comprimento das palavras parece realista.

> ocro hli rgwr nimilwis eu ll nbnesebya
> th eei alhenhttpa oobttva nah brl.

• Segunda ordem — a frequência de cada caractere é equivalente à

encontrada no inglês, e o mesmo vale para as frequências de cada diagrama, ou par de letras. (Shannon encontrou as estatísticas necessárias em tabelas construídas para serem usadas pelos decifradores de códigos.[24] O diagrama mais comum no inglês é o *th*, com frequência de 168 aparições a cada mil palavras, seguido por *he*, *an*, *re* e *er*. Um número considerável de diagramas tem frequência igual a zero.)

> on ie antsoutinys are t inctore st be s deamy achin
> d ilonasive tucoowe at teasonare fuso tizin andy
> tobeseace ctisbe.

• Terceira ordem — estrutura de trigramas.

> in no ist lat whey cratict froure birs grocid
> pondenome of demonstures of the reptagin is
> regoactiona of cre.

• Aproximação de palavras de primeira ordem.

> representing and speedily is an good apt or come can diferent natural here he the a in came the to of to expert gray come to furnishes the line message had be these.

• Aproximação de palavras de segunda ordem — agora os pares de palavras aparecem na frequência esperada, de modo que não vemos anomalias como “a in” nem “to of”.

> the head and in frontal attack on an english writer that the character of this point is therefore another method for the letters that the time of who ever told the problem for an unexpected.

Essas sequências são cada vez mais “parecidas” com o inglês. Em termos menos subjetivos, elas podem ser transcritas ou digitadas com maior velocidade — outra indicação de como as pessoas internalizam inconscientemente a

estrutura estatística de um idioma.

Shannon poderia ter produzido mais aproximações, caso tivesse tempo, mas o trabalho envolvido nessa tarefa estava se tornando imenso. A ideia era representar uma mensagem como o resultado de um processo que gerava eventos com probabilidades distintas. Então, o que poderia ser dito a respeito da quantidade de informação, ou do ritmo com o qual a informação é gerada? Para cada evento, cada uma das escolhas possíveis tem uma probabilidade conhecida (representada como $p_1$, $p_2$, $p_3$ e assim por diante). Shannon queria definir a medida da informação (representada como $H$) como a medida da incerteza: "do quanto a 'escolha' está envolvida na seleção do evento ou do quanto seu resultado nos parece incerto".[25] As probabilidades podem ser as mesmas ou diferentes, mas, em geral, mais escolhas significavam mais incerteza — mais informação. As escolhas podem ser divididas em escolhas sucessivas, com sua própria probabilidade, e as probabilidades teriam de ser somáveis; a probabilidade de determinado diagrama, por exemplo, deve ser uma média ponderada das probabilidades dos símbolos individuais. Quando essas probabilidades fossem iguais, a quantidade de informação transmitida por cada símbolo seria simplesmente o logaritmo do número de símbolos possíveis — a fórmula de Nyquist e Hartley:

$$H = n \log s$$

Para o caso mais realista, Shannon chegou a uma solução elegante para o problema de como medir a informação como uma função de probabilidades — uma equação que somava as probabilidades com um peso logarítmico (a base 2 era a mais conveniente). Trata-se do logaritmo médio da probabilidade da mensagem — na prática, uma medida do inesperado:

$$H = -\Sigma\, pi \log_2 pi$$

onde *pi* é a probabilidade de cada mensagem. Ele declarou que começaríamos a ver isso de novo e de novo: que as quantidades dessa forma "desempenham um papel central na teoria da informação como medidas da informação, da escolha e da incerteza". De fato, *H* é onipresente, chamado convencionalmente de entropia de uma mensagem, ou entropia de Shannon, ou apenas informação.

Era necessária uma nova unidade de medida. Shannon afirmou: "As unidades resultantes podem ser chamadas de dígitos binários, ou, numa versão mais curta, de *bits*".[26] Por ser a menor quantidade possível de informação, um bit representa a quantidade de incerteza que existe no arremesso de uma moeda. O arremesso da moeda representa uma escolha entre duas possibilidades de igual probabilidade: nesse caso, $p_1$ e $p_2$ são ambas iguais a 1/2: o logaritmo de 1/2 na base 2 é –1; assim, $H = 1$ bit. Um único caractere escolhido aleatoriamente a partir de um alfabeto formado por 32 caracteres transmite mais informação: cinco bits, para ser exato, porque há 32 mensagens possíveis, e o logaritmo de 32 é 5. Uma sequência de mil caracteres desse tipo transmite 5 mil bits — e não apenas pela multiplicação simples, mas porque a quantidade de informação representa a quantidade de incerteza: o número de escolhas possíveis. Com mil caracteres num alfabeto de 32 caracteres, há $32^{1000}$ mensagens possíveis, e o logaritmo desse número é 5 mil.

É nesse ponto que a estrutura estatística dos idiomas naturais entra em cena novamente. Se sabemos que a mensagem de mil caracteres consiste num texto em inglês, o número de mensagens possíveis se torna menor — *muito* menor. Analisando as correlações que abrangiam oito letras, Shannon estimou que o inglês tivesse uma redundância interna de aproximadamente 50%: que cada novo caractere de uma mensagem não transmite cinco bits, e sim algo mais próximo de 2,3. Levando-se em consideração efeitos estatísticos de alcance ainda maior, no nível de frases e parágrafos, ele aumentou essa estimativa para 75% — alertando, no entanto, que tais estimativas se tornam "muito mais erráticas e incertas, dependendo de maneira cada vez mais crítica do tipo de texto envolvido".[27] Uma forma de medir a redundância era simplesmente empírica: aplicar um teste de psicologia a um ser humano. Esse método "explora o fato

segundo o qual toda pessoa que fala um idioma possui, implicitamente, um imenso conhecimento das estatísticas do idioma".

> A familiaridade com palavras, expressões, clichês e regras gramaticais permite ao indivíduo substituir letras faltantes ou incorretas na revisão de texto, ou completar uma frase inacabada no meio de um diálogo.

Ele poderia ter substituído "indivíduo" por "ela", porque a cobaia de seu teste foi a esposa, Betty. Shannon tirou um livro da estante (era um romance policial de Raymond Chandler, *Pick-Up on Noon Street* [Entrega em Noon Street]), pôs o dedo sobre uma breve passagem aleatória e pediu a Betty que começasse a adivinhar uma letra, depois a seguinte, e então a seguinte. É claro que, quanto maior a quantidade de texto que ela via, maiores se tornavam as chances de adivinhar corretamente. Depois de "Um pequeno abajur sobre a" ela errou ao adivinhar a letra seguinte. Mas, depois de saber que a letra era *M*, ela não teve problema para adivinhar as três letras seguintes. Shannon observou: "Os erros, como seria de esperar, ocorrem com maior frequência no início das palavras e sílabas, onde a linha de raciocínio tem mais possibilidades de encaminhamento".

A quantificação da previsibilidade e da redundância de acordo com esse método é uma maneira invertida de medir o conteúdo informacional. Se uma letra pode ser adivinhada a partir daquilo que veio antes, ela é redundante; por ser redundante, não traz informação nova. Se o inglês apresenta uma redundância de 75%, então uma mensagem de mil letras em inglês transmite apenas 25% da informação emitida por uma mensagem de mil letras escolhidas aleatoriamente. Por mais que isso soasse paradoxal, as mensagens aleatórias transmitem *mais* informação. A implicação disso determinava que o texto de uma linguagem natural poderia ser codificado de maneira mais eficiente para transmissão ou armazenamento.

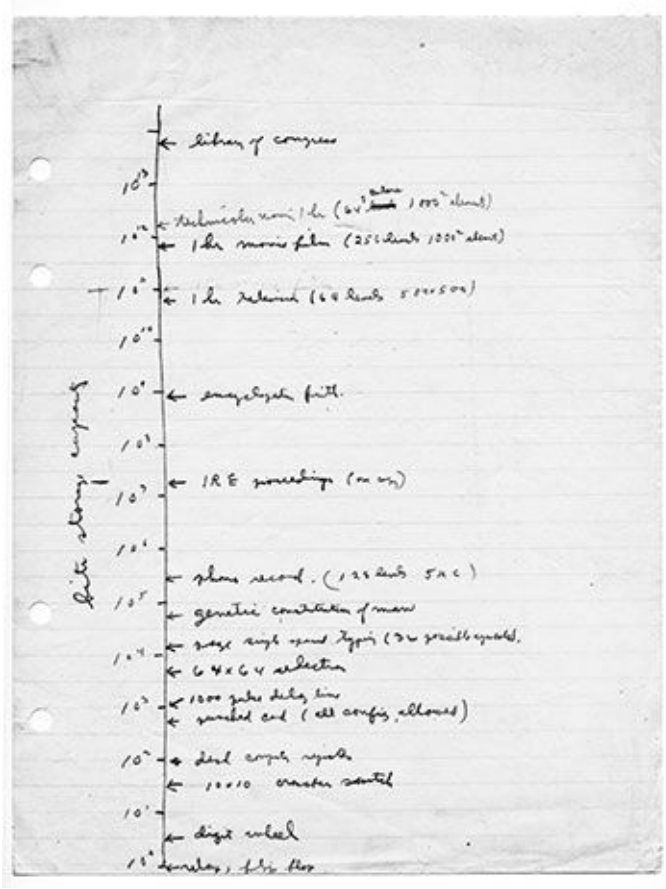
Shannon demonstrou uma maneira de fazer isso, um algoritmo que explora as diferentes probabilidades de diferentes símbolos. E ele apresentou um conjunto impressionante de resultados fundamentais. Um deles era uma fórmula para a capacidade do canal, o limite absoluto de velocidade num dado canal de

comunicação (hoje conhecido simplesmente como “limite de Shannon”). Outro era a descoberta de que, dentro desse limite, é sempre possível criar estratagemas para a correção de erros que serão capazes de superar qualquer nível de ruído. O emissor pode ter de dedicar um número cada vez maior de bits à correção de erros, mas, no fim, a mensagem será transmitida com sucesso. Shannon não mostrou como tais estratagemas deveriam ser concebidos, apenas provou que eram possíveis, inspirando assim um ramo futuro das ciências da computação. “Tornar a possibilidade de um erro tão insignificante quanto o desejado? Ninguém tinha pensado naquilo”, recordou um colega dele, Robert Fano, anos mais tarde. “Não sei como teve tal ideia, como passou a acreditar em algo daquele tipo. Mas praticamente toda a teoria moderna da comunicação tem como base essa obra sua.”[28] Seja removendo a redundância para aumentar a eficiência ou acrescentando redundância para permitir a correção de erros, a codificação depende do conhecimento da estrutura estatística do idioma. A informação não pode ser separada das probabilidades. Fundamentalmente, um bit é sempre o arremesso de uma moeda.

Se os dois lados de uma moeda seriam uma maneira de representar um bit, Shannon ofereceu também um exemplo mais prático de equipamento:

> Um dispositivo com duas posições estáveis, como um relé ou um circuito flip-flop, pode armazenar um bit de informação. $N$ dispositivos desse tipo podem armazenar $N$ bits, já que o número total de estados possíveis é $2N$ e $\log_2 2N = N$.

Shannon tinha visto dispositivos — conjuntos de relés, por exemplo — que eram capazes de armazenar centenas ou até milhares de bits. Isso parecia uma quantidade impressionante. Enquanto concluía seu texto, ele entrou certo dia no escritório de um colega dos Laboratórios Bell, William Shockley, um inglês de trinta e tantos anos. Shockley pertencia ao grupo de físicos de estado sólido que pesquisavam alternativas para as válvulas termiônicas na eletrônica, e em sua escrivaninha repousava um pequeno protótipo, um pedaço de cristal semicondutor. “Trata-se de um amplificador em estado sólido”, disse Shockley a Shannon.[29] Naquele momento, o protótipo ainda precisava de um nome.



Certo dia, no verão de 1949, antes do surgimento da Teoria Matemática da Comunicação sob a forma de livro, Shannon apanhou um lápis e uma folha de caderno, traçou uma linha de cima a baixo e escreveu as potências de dez de $10^0$ a $10^{13}$. Ele batizou seu eixo de “capacidade de armazenamento de bits”.[30] Começou a listar alguns itens a respeito dos quais poderíamos dizer que “armazenavam” informações. Uma roda com dígitos, do tipo usado numa calculadora de mesa — dez dígitos decimais —, representa pouco mais do que três bits. Pouco antes da marca de $10^3$ bits, ele escreveu “cartão perfurado (permitidas todas as configs.)”. Na altura de $10^4$, escreveu “página digitada com espaçamento simples (32 símbolos possíveis)”. Perto do $10^5$, escreveu algo inesperado: “constituição genética do homem”. Não havia precedente real para isso no pensamento científico da época. James D. Watson ainda era um estudante de zoologia de 21 anos em Indiana a essa altura; a descoberta da estrutura do dna só ocorreria dali a muitos anos. Foi a primeira vez que alguém sugeriu que o genoma consistiria num armazenamento de informações calculável em bits. O palpite de Shannon foi um pouco baixo, precisava ser corrigido em pelo menos

quatro ordens de magnitude. Ele imaginou que um “registro fonográfico (128 níveis)” contivesse mais informação: cerca de 300 mil bits. Para o nível de 10 milhões, ele designou uma espessa revista técnica (*Produção do Instituto de Engenheiros de Rádio*) e para o de 1 bilhão apontou a *Encyclopaedia Britannica*. Sua estimativa para uma hora de transmissão televisiva foi de $10^{11}$ bits e, para uma hora de “filme colorido”, mais de 1 trilhão. Por fim, pouco abaixo da marca feita com o lápis para $10^{14}$, 100 trilhões de bits, ele relacionou o maior repositório de informações em que pôde pensar: a Biblioteca do Congresso.

---

a Perto do fim da vida, Gödel escreveu: “Foi só com o trabalho de Turing que se tornou completamente claro que minha demonstração se aplica a *todos* os sistemas formais que contenham a aritmética”. Kurt Gödel a Ernest Nagel, 1957, em Solomon Feferman (org.), *Kurt Gödel: Collected Works*. Nova York: Oxford University Press, 1986. v. 5, p. 147.

b “sem levar em consideração a estrutura estatística para distâncias superiores a cerca de oito letras.”

# 8. A virada informacional

## (*O ingrediente básico na construção de uma consciência*)

> *É provavelmente perigoso usar essa teoria da informação em campos para os quais ela não foi projetada, mas creio que o perigo não vai impedir as pessoas de fazê-lo.*
>
> J. C. R. Licklider, 19501

A maioria das teorias matemáticas toma forma aos poucos. A teoria da informação de Shannon nasceu para o mundo como Atena, totalmente formada. Ainda assim, o pequeno livro de Shannon e Weaver atraiu pouca atenção do público quando surgiu, em 1949. A primeira resenha foi feita por um matemático, Joseph L. Doob, que desqualificou a obra, afirmando que seria mais "sugestiva" do que matemática — "e nem sempre fica claro se as intenções matemáticas do autor são mesmo honradas".[2] Uma revista de biologia ressaltou: "À primeira vista, pode parecer que se trata apenas de uma monografia de engenharia de pouca ou nenhuma serventia aos problemas humanos. Na verdade, a teoria traz algumas implicações animadoras".[3] A *Philosophy Review* alertou que os filósofos cometeriam um erro se ignorassem o livro: "Shannon desenvolve um conceito de *informação* que, surpreendentemente, revela-se uma extensão do conceito termodinâmico de *entropia*".[4] A resenha mais estranha mal poderia ser chamada de resenha: cinco parágrafos publicados na *Physics Today*, edição de setembro de 1950, assinados por Norbert Wiener, do Massachusetts Institute of Technology.

Wiener começou com uma anedota levemente condescendente:

> Cerca de quinze anos atrás, um jovem estudante dos mais brilhantes procurou as autoridades do mit com a ideia de uma teoria de alternação elétrica que dependia da álgebra da lógica. O estudante era Claude E. Shannon.

No presente livro (prosseguia Wiener), Shannon, junto com Warren Weaver, "resume suas opiniões a respeito da engenharia da comunicação".

A ideia fundamental desenvolvida por Shannon, segundo Wiener, “é a da quantidade de informação como entropia negativa”. Acrescentou que ele próprio — “o autor da presente resenha” — tinha desenvolvido a mesma ideia mais ou menos na mesma época.

Wiener declarou que o livro era uma obra “cujas origens são independentes de meu próprio trabalho, mas que foi vinculado desde o início a minhas investigações por meio de influências cruzadas que se espalhavam em ambas as direções”. Ele mencionou “aqueles de nós que tentaram investigar essa analogia com o estudo do demônio de Maxwell” e acrescentou que ainda havia muito trabalho a ser feito.

Então ele sugeriu que o tratamento da linguagem estava incompleto na ausência de uma maior ênfase no sistema nervoso humano: “a recepção nervosa e a transmissão da linguagem no cérebro. Digo isso não a título de crítica hostil”.

*Norbert Wiener* (*1956*).

Por fim, Wiener concluiu com um parágrafo dedicado a outro novo livro: “*Cibernética*, de minha própria autoria”. Ele afirmou que ambos os livros representavam os passos inaugurais num campo que prometia crescer rapidamente.

> Em meu livro, assumi como autor o privilégio de ser mais especulativo, e de cobrir um campo mais vasto do que os doutores Shannon e Weaver optaram por fazer. […] Não existe apenas espaço, mas também a necessidade de produzir livros diferentes.

Ele saudou os colegas por sua abordagem bem trabalhada e independente… da cibernética.

Shannon, enquanto isso, já tinha contribuído com uma espécie de resenha do livro de Wiener para a *Produção do Instituto de Engenheiros de Rádio*, oferecendo elogios que poderiam ser descritos como discretos. Trata-se de uma “excelente introdução”, escreveu ele.[5] Havia certa tensão entre os dois pesquisadores. Seu peso era sentido na longa nota de rodapé que ancorava a

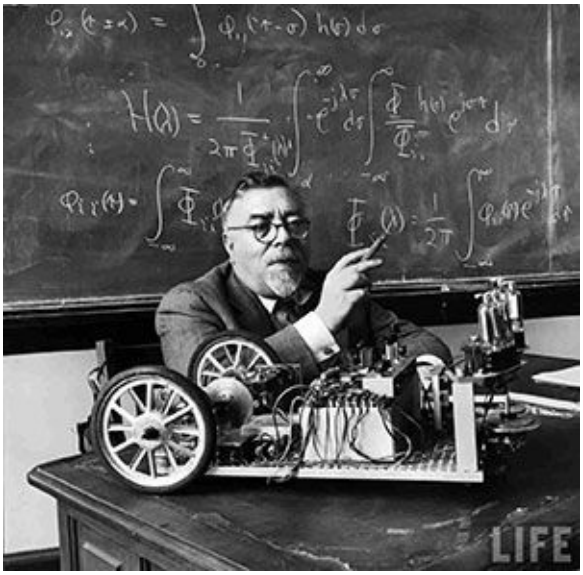
porção de Weaver da *Teoria matemática da comunicação*:

> O próprio dr. Shannon enfatizou que a teoria da comunicação deve muito ao professor Norbert Wiener por boa parte de sua filosofia básica. O professor Wiener, por outro lado, destaca que boa parte do trabalho inicial de Shannon envolvendo a alternação e a lógica matemática precedeu seu próprio interesse no campo; e acrescenta generosamente que Shannon merece o crédito por ter desenvolvido de maneira independente aspectos tão fundamentais da teoria quanto a introdução das ideias entrópicas.

O colega de Shannon, John Pierce, escreveu mais tarde: “A cabeça de Wiener estava ocupada com seu próprio trabalho. […] Pessoas bem informadas me disseram que Wiener, acreditando equivocadamente já saber aquilo que Shannon tinha feito, nunca chegou a descobri-lo de fato”.[6]

*Cibernética* era um termo novo, uma palavra que chamaria muita atenção no futuro, um campo de estudos proposto, um movimento filosófico em potencial inteiramente concebido por esse brilhante e irritadiço pensador. O nome ele tomou emprestado do grego, com o significado de *timoneiro*: κυβερνη´τησ, *kubernites*, da qual também é derivada (não por acaso) a palavra *governador*.[7] Ele pretendia que a cibernética fosse um campo capaz de sintetizar o estudo da comunicação e do controle, sendo também o estudo do ser humano e da máquina. Norbert Wiener tornou-se conhecido no mundo primeiro como uma figura exótica: um piadista, um prodígio, incentivado e promovido pelo pai, professor de Harvard. “Um rapaz que foi orgulhosamente descrito pelos amigos como o menino mais brilhante do mundo”, relatou com destaque o *New York Times* quando ele tinha catorze anos, “vai se formar no ano que vem no Tufts College. […] Apesar de a capacidade de Norbert Wiener para o aprendizado ser fenomenal, ele é como os demais meninos. […] Seus intensos olhos negros são seu traço mais marcante.”[8] Quando escreveu suas memórias, ele sempre usou a palavra “prodígio” nos títulos: *Ex-Prodígio: Minha infância e juventude* e *Sou um matemático: A vida posterior de um prodígio*. Depois de Tufts (matemática), da pós-graduação em Harvard (zoologia), de Cornell (filosofia) e novamente Harvard, Wiener partiu rumo a Cambridge, na Inglaterra, onde estudou lógica simbólica e os *Principia Mathematica* com o próprio Bertrand Russell, que não foi seduzido de imediato. “Um jovem prodígio chamado Wiener, ph.D.

(Harvard), de dezoito anos, apareceu por aqui", escreveu ele a um amigo. "O rapaz foi muito elogiado, e considera a si mesmo uma encarnação do próprio Deus Todo-Poderoso — há entre nós uma disputa permanente para saber quem é que vai ensinar a quem."[9] De sua parte, Wiener detestou Russell: "Ele é um iceberg. Sua mente dá a impressão de ser uma máquina precisa, fria e de lógica estreita capaz de cortar o universo em pequenos pacotes organizados que medem, no caso, apenas três polegadas em cada dimensão".[10] Ao retornar aos Estados Unidos, Wiener entrou para o corpo docente do mit em 1919, assim como Vannevar Bush. Quando Shannon chegou lá, em 1936, participou de um dos cursos de matemática de Wiener. Com a aproximação da guerra, Wiener foi um dos primeiros a se juntar às equipes ocultas e espalhadas de matemáticos que trabalhavam no controle balístico dos canhões antiaéreos.




*Norbert Wiener (1956).*

Ele era baixo e corpulento, com óculos pesados e um cavanhaque mefistofélico. Se o trabalho de Shannon com o controle balístico buscava o sinal em meio ao ruído, Wiener se ateve ao ruído: flutuações enxameantes no receptor de radar, desvios imprevisíveis nas trajetórias de voo. No entendimento dele, o ruído se comportava estatisticamente, como o movimento browniano, o "movimento extremamente agitado e totalmente casual" que Van Leeuwenhoek observara ao microscópio no século xvii. Wiener tinha se dedicado ao rigoroso tratamento matemático do movimento browniano nos anos 1920. A própria descontinuidade o interessava — não apenas a trajetória das partículas, mas

também as próprias funções matemáticas pareciam se comportar de maneira estranha. De acordo com ele, era um caos distinto, termo que só seria bem compreendido muitas gerações depois. No projeto do controle balístico, no qual Shannon fez uma contribuição modesta para a equipe dos Laboratórios Bell, Wiener e seu colega Julian Bigelow produziram uma lendária monografia de 120 páginas, confidencial, conhecida entre as poucas dezenas de pessoas com autorização para vê-la como o Perigo Amarelo, por causa da cor de sua capa e da dificuldade de seu tratamento. O título formal era *Extrapolação, interpolação e uniformização de séries temporais estacionárias*. Nela Wiener desenvolveu um método estatístico para prever o futuro a partir de dados ruidosos, incertos e corrompidos a respeito do passado. Tratava-se de algo ambicioso demais para o maquinário bélico existente, mas ele testou suas fórmulas no Analisador Diferencial de Vannevar Bush. Tanto o canhão antiaéreo, com seu operador, e o avião alvo, com seu piloto, eram híbridos de máquina e homem. Um deles tinha de prever o comportamento do outro.

Wiener era tão verborrágico quanto Shannon era reticente. Era uma pessoa viajada e um poliglota, ambicioso e preocupado com o status social; tratava a ciência com paixão, como algo pessoal. Sua expressão da segunda lei da termodinâmica, por exemplo, era um apelo:

> Estamos nadando contra a corrente na direção de uma imensa torrente de desorganização, que tende a reduzir tudo à morte térmica do equilíbrio e da semelhança. […] Essa morte térmica na física tem sua contraparte na ética de Kierkegaard, que destacou que vivemos num universo moral caótico. Nele, nossa principal obrigação é estabelecer enclaves arbitrários de ordem e sistematização. […] Como a Rainha de Copas, não podemos ficar onde estamos sem correr tão rápido quanto conseguirmos.11

Ele estava preocupado com o lugar que ocuparia na história intelectual, e seu objetivo era ambicioso. A cibernética, escreveu ele em suas memórias, correspondia a “uma nova interpretação do homem, do conhecimento que o homem tem do universo, e da sociedade”.12 Enquanto Shannon enxergava a si mesmo como matemático e engenheiro, Wiener se considerava principalmente um filósofo, e de seu trabalho com o controle balístico tirou lições filosóficas a respeito do propósito e do comportamento. Se o comportamento for definido

com inteligência — “qualquer mudança de uma entidade com relação a seu entorno”[13] —, então a palavra poderá ser aplicada às máquinas e também aos animais. O comportamento voltado para uma meta é objetivo, e o propósito pode às vezes ser imputado à máquina em lugar de um operador humano: o caso do mecanismo de busca de alvo, por exemplo. “O termo servomecanismos foi criado precisamente para designar máquinas de comportamento intrinsecamente objetivo.” A chave estava no controle, ou na autorregulação.

Para fazer uma análise mais adequada, ele tomou emprestado um termo obscuro da engenharia elétrica: “retroalimentação”, o retorno da energia da saída de um circuito de volta à entrada. Quando a retroalimentação é positiva, como ocorre quando o som dos amplificadores é outra vez amplificado pelo microfone, foge completamente ao controle. Mas, quando a retroalimentação é negativa — como no governador mecânico original dos motores a vapor, analisado pela primeira vez por James Clerk Maxwell —, pode guiar um sistema rumo ao equilíbrio, atuando como um agente de estabilidade. A retroalimentação pode ser mecânica: quanto mais rápido o governador de Maxwell gira, maior é a extensão de seus braços, e quanto maior for a extensão de seus braços, menor será a velocidade de rotação do governador. Ou pode ser elétrica. Seja como for, a chave para o processo é a informação. Aquilo que governa o canhão antiaéreo, por exemplo, é a informação a respeito das coordenadas do avião e da posição anterior da própria arma. O amigo de Wiener, Bigelow, enfatizou isso: “não era apenas algo físico em particular, como a energia, o comprimento ou a voltagem, mas apenas a informação (transmitida por quaisquer meios)”.[14]

A retroalimentação negativa tem de ser onipresente, acreditava Wiener. Ele podia observar esse funcionamento na coordenação entre olhos e mãos, guiando o sistema nervoso de uma pessoa que desempenhava uma ação tão simples quanto apanhar um lápis. Ele se concentrou em especial nos distúrbios neurológicos, males que perturbavam a coordenação motora ou a linguagem. Wiener os enxergava como casos de retroalimentação de informação que tinham dado errado — variações da ataxia, por exemplo, nas quais as mensagens sensoriais são interrompidas na coluna vertebral ou interpretadas equivocadamente pelo cerebelo. Sua análise era detalhada e matemática, com

equações — algo quase sem precedente na neurologia. Enquanto isso, os sistemas de controle por retroalimentação estavam invadindo as linhas de produção das fábricas, pois um sistema mecânico também pode modificar o próprio comportamento. A retroalimentação é o governador, o timoneiro.

Assim, *Cibernética* se tornou o título do primeiro livro de Wiener, publicado no outono de 1948 nos Estados Unidos e na França. Subtítulo: *Controle e comunicação no animal e na máquina*. O livro é um apanhado de noções e análises e, para espanto de seus editores, a obra se tornou best-seller do ano. Foi citado pelas mais populares revistas norte-americanas de notícias, *Time* e *Newsweek*. Wiener e a cibernética foram associados a um fenômeno que estava irrompendo na consciência do público justamente naquele momento: as máquinas computadoras. Com o fim da guerra, um véu fora erguido para revelar os primeiros projetos de cálculo eletrônico, particularmente o eniac, um monstrengo de trinta toneladas feito de válvulas termiônicas, relés e fios soldados à mão que ocupava 25 metros da faculdade de engenharia elétrica da Universidade da Pensilvânia. A máquina era capaz de armazenar e multiplicar até vinte números de dez dígitos decimais. O Exército a utilizava para calcular tabelas de disparo de artilharia. A empresa International Business Machines (ibm), que proporcionava as máquinas de cartões perfurados para os projetos do Exército, também construiu uma máquina calculadora gigante em Harvard, conhecida como Mark i. Na Grã-Bretanha, ainda em segredo, os decifradores de códigos de Bletchley Park tinham avançado a ponto de construir uma máquina computadora feita de válvulas termiônicas chamada Colossus. Alan Turing começava a trabalhar em outra do tipo, na Universidade de Manchester. Quando o público ficou sabendo da existência dessas máquinas, elas foram naturalmente interpretadas como “cérebros”. Todos fizeram a mesma pergunta: seriam as máquinas capazes de pensar?

“Elas estão crescendo a uma velocidade assustadora”, declarou a *Time* em sua edição de fim de ano. “Tiveram início solucionando equações matemáticas com a velocidade de um raio. Agora estão começando a agir como verdadeiros cérebros mecânicos.”[15] Wiener encorajava a especulação, mas não as imagens extravagantes:

> O dr. Wiener não vê motivo que as impeça de aprender com a experiência, como monstruosas e precoces crianças avançando num ritmo aceleradíssimo pelas aulas de gramática. Um cérebro mecânico do tipo, maduro com a experiência armazenada, seria capaz de administrar uma indústria inteira, substituindo não apenas os mecânicos e as secretárias como também muitos dos executivos. […]
>
> À medida que os homens constroem máquinas calculadoras melhores, explica Wiener, e conforme exploram seus próprios cérebros, os dois se tornam cada vez mais parecidos. Ele acredita que o homem está recriando a si mesmo, numa ampliação monstruosa feita à sua própria imagem.

Boa parte do sucesso de seu livro, por mais obscuro e pouco legível que fosse, jazia no constante retorno do foco de Wiener ao humano, e não à máquina. Ele não estava tão interessado em esclarecer a ascensão da computação — com a qual, aliás, seus elos eram apenas periféricos — quanto em descobrir como a computação poderia esclarecer a humanidade. Revelou-se que ele se preocupava muito com a compreensão dos distúrbios mentais, com as próteses mecânicas e com os deslocamentos sociais que poderiam se seguir à ascensão das máquinas inteligentes. Ele temia que isso provocasse uma desvalorização do cérebro humano proporcional à desvalorização que o maquinário das fábricas tinha imposto à mão humana.

Wiener desenvolveu seus paralelos entre seres humanos e máquinas num capítulo intitulado “Máquinas computadoras e o sistema nervoso”. Primeiro ele expôs uma distinção entre dois tipos de máquinas computadoras: analógicas e digitais, embora ainda não empregasse tais termos. O primeiro tipo, como o Analisador Diferencial de Bush, representava os números como medidas numa escala contínua — eram máquinas de analogia. O outro tipo, que ele chamou de máquinas numéricas, representava os números de maneira direta e exata, como faziam as calculadoras de mesa. Em termos ideais, esses serviços usariam o sistema binário de números a título de simplicidade. Para os cálculos avançados, teriam que empregar uma forma de lógica. Que forma seria essa? Shannon tinha respondido à pergunta em sua tese de mestrado, em 1937, e Wiener ofereceu a mesma resposta:

> a álgebra da lógica *par excellence*, ou a álgebra booleana. Esse algoritmo, como a aritmética binária,

tem como base a dicotomia, a escolha entre *sim* e *não*, a escolha entre estar numa classe e estar fora dela.16

Ele argumentou que o cérebro também seria em parte uma máquina lógica. Se os computadores empregam relés — mecânicos, ou eletromecânicos, ou puramente elétricos —, o cérebro conta com os neurônios. Essas células tendem a apresentar um entre dois estados num dado momento: ativas (em descarga) ou inativas (em repouso). Assim, podem ser consideradas relés com dois estados. Elas se conectam umas às outras em vastas estruturas, em pontos de contato conhecidos como sinapses. Transmitem mensagens. Para armazenar as mensagens, os cérebros têm a memória, e também as máquinas computadoras precisam de um armazenamento físico que pode ser chamado de memória. (Ele bem sabia que essa era uma imagem simplificada para um sistema complexo, que outros tipos de mensagem, mais analógicos do que digitais, pareciam ser transmitidos quimicamente pelos hormônios.) Wiener indicou também que distúrbios funcionais como os "colapsos nervosos" poderiam ter parentesco na eletrônica. Os projetistas das máquinas computadoras talvez tivessem que fazer planos para fluxos de dados substanciais e inoportunos — um possível equivalente dos "problemas de tráfego e da sobrecarga do sistema nervoso".17

Tanto os cérebros como os computadores eletrônicos usam quantidades de energia ao desempenhar seu trabalho de lógica — "que é em sua totalidade desperdiçada e dissipada sob a forma de calor", sendo levada pelo sangue ou por um aparato de resfriamento e ventilação. Mas isso não vem ao caso, segundo Wiener. "A informação é informação, e não matéria nem energia. Nenhum materialismo que seja incapaz de reconhecer isso pode sobreviver nos dias atuais."

Seguiu-se então uma época de animação.

"Estamos mais uma vez num daqueles prodigiosos períodos de progresso científico — um momento que, à sua maneira, lembra o período pré-socrático", declarou o gnomesco neurofisiologista de barba branca Warren McCulloch numa

reunião de filósofos britânicos. Ele disse que, ao ouvir Wiener e Von Neumman, vieram-lhe à consciência os debates da Antiguidade. Uma nova física da comunicação tinha nascido, segundo ele, e a metafísica nunca mais seria a mesma: “Pela primeira vez na história da ciência conhecemos nossa forma de conhecer e, portanto, podemos enunciá-la com clareza”.[18] Ele então ofereceu a heresia: afirmou que o conhecedor era uma máquina computadora, que o cérebro era composto de relés, possivelmente 10 bilhões deles, cada qual recebendo sinais de outros relés e passando-os adiante. Os sinais são quantizados: ou eles ocorrem, ou não ocorrem. Assim, novamente a matéria do mundo, disse ele, revela-se ser os átomos de Demócrito: “indivisíveis — mínimos — que se debatem no vazio”.

> Trata-se de um mundo, para Heráclito, sempre “em movimento”. Não quero dizer simplesmente que cada relé é ele próprio destruído por um momento e recriado como uma chama, mas que sua lida é com a informação que chega a ele por muitos canais, passa por ele, avança contra a corrente dentro dele e emerge outra vez para o mundo.

O fato de tais ideias estarem transbordando as fronteiras disciplinares decorria em parte de McCulloch, um fenômeno de ecletismo e versatilidade. Pouco depois da guerra, ele começou a organizar uma série de conferências no Hotel Beekman, em Park Avenue, Nova York, com o dinheiro da Fundação Josiah Macy Jr., criada no século xix por herdeiros de baleeiros de Nantucket. Várias ciências diferentes estavam amadurecendo ao mesmo tempo — as chamadas ciências sociais, como antropologia e psicologia, em busca de novos alicerces matemáticos; crias da medicina com nomes híbridos, como a neuropsicologia; quase ciências como a psicanálise —, e McCulloch convidou especialistas de todas essas áreas, bem como da matemática e da engenharia elétrica. Ele instituiu uma regra da Arca de Noé, convidando dois exemplares de cada espécie, de modo que os palestrantes sempre tivessem entre os presentes alguém capaz de ir além de seu jargão.[19] Entre os membros do grupo principal estavam a já famosa antropóloga Margaret Mead e seu então marido Gregory Bateson, os psicólogos Lawrence K. Frank e Heinrich Klüver, e um formidável par de matemáticos que às vezes rivalizavam entre si, Wiener e Von Neumann.

Mead, registrando os encontros numa caligrafia que ninguém mais era capaz de ler, afirmou ter quebrado um dente em meio à excitação da primeira reunião, coisa que só percebeu depois. Wiener disse a eles que todas aquelas ciências, em especial as ciências sociais, consistiam fundamentalmente no estudo da comunicação, e que a ideia que as unia era a *mensagem*.[20] As reuniões começaram com o desajeitado nome de Conferências para Mecanismos Causais Circulares e de Retroalimentação nos Sistemas Biológicos e Sociais, e então, em deferência a Wiener, cuja recém-adquirida fama eles apreciavam, mudaram para Conferências de Cibernética. No decorrer das conferências, tornou-se habitual usar o termo novo, estranho e levemente suspeito conhecido como *teoria da informação*. Algumas das disciplinas se sentiam mais confortáveis do que outras. Não estava claro para ninguém onde a informação se encaixava em suas respectivas visões de mundo.

A reunião de 1950, realizada em 22 e 23 de março, começou de maneira autoconsciente. “O tema e o grupo atraíram um imenso interesse externo”, disse Ralph Gerard, neurocientista da faculdade de medicina da Universidade de Chicago, “quase a ponto de lançar uma moda nacional. Eles foram objeto de artigos extensos em conhecidas revistas científicas como *Time*, *News-Week* e *Life*.”[21] Entre outras, ele estava se referindo à matéria de capa da *Time* publicada meses antes e intitulada “A máquina pensante”, que tratava de Wiener:

> O professor Wiener é um tempestuoso petrel (ele parece mais um tempestuoso papagaio-do-mar) da matemática e dos territórios adjacentes. […] Os grandes novos computadores, anunciou Wiener com uma mistura de alarme e triunfo, são […] arautos de uma ciência inteiramente nova da comunicação e do controle, que ele batizou prontamente de “cibernética”. As máquinas mais novas, destacou Wiener, já se assemelham de forma extraordinária ao cérebro humano, tanto na estrutura como na função. Por enquanto, eles não têm sentidos nem “efetivadores” (braços e pernas), mas por que não deveriam tê-los?

Gerard disse ser verdade que esse campo estava sendo profundamente afetado pelas novas formas de pensar vindas da engenharia da comunicação — ajudando-os a pensar nos impulsos nervosos não apenas como “evento físico-químico”, mas como signo ou sinal. Assim, era útil aprender lições com “as máquinas calculadoras e os sistemas de comunicação”, mas também perigoso.

> Dizer que, portanto, essas máquinas são cérebros, como faz a imprensa pública, e que nossos cérebros nada mais são do que máquinas calculadoras, é algo presunçoso. Poderíamos dizer igualmente que o telescópio é um olho ou que uma escavadeira é um músculo.22

Wiener sentiu a necessidade de responder. “Não pude evitar tais reportagens”, disse ele, “mas tentei fazer com que as publicações exercessem a moderação. Ainda não estou convencido de que o emprego da palavra ‘pensantes’ em tais textos seja inteiramente repreensível.”[23] [a]

O principal propósito de Gerard era comentar a possibilidade de o cérebro, com sua misteriosa arquitetura de neurônios, suas árvores de dendritos ramificados e suas complexas interconexões vivas dentro de uma sopa química, ser adequadamente descrito como analógico ou digital.[24] Gregory Bateson o interrompeu imediatamente: ele ainda considerava a distinção confusa. Tratava-se de uma pergunta básica. Gerard devia seu próprio entendimento à “orientação especializada que recebi aqui, em especial de John von Neumann” — que estava sentado bem ali —, mas Gerard tentou explicar mesmo assim. Analógico corresponde a uma régua de cálculo, na qual os números são representados como distâncias; digital corresponde a um ábaco, no qual escolhemos entre considerar uma conta ou ignorá-la; não existe nada entre as duas opções. Um reostato — como o dimmer de iluminação — é analógico; um interruptor de parede com as posições “ligado” e “desligado” é digital. Gerard afirmou que as ondas cerebrais e a química neurológica seriam analógicas.

Seguiu-se uma discussão. Von Neumann tinha muito a dizer. Ele havia desenvolvido recentemente uma “teoria dos jogos”, algo que enxergava na prática como uma matemática da informação incompleta. E ele estava assumindo a vanguarda na criação de uma arquitetura para os novos computadores eletrônicos. Queria que os membros de mentalidade mais analógica do grupo pensassem de maneira mais abstrata — que reconhecessem o fato de que os processos digitais ocorrem num mundo mais confuso e contínuo, mas são digitais mesmo assim. Quando um neurônio salta entre dois estados diferentes — “o estado da célula nervosa sem nenhuma mensagem em seu interior e o estado de uma célula com uma mensagem dentro de si”[25] —, a química dessa transição pode ter tonalidades intermediárias, mas para os

propósitos teóricos as tonalidades podem ser ignoradas. Ele indicou que no cérebro, como num computador feito de válvulas termiônicas, “essas ações distintas são na verdade simuladas no contexto de processos contínuos”. McCulloch tinha acabado de expor organizadamente essa ideia num novo estudo, intitulado “Sobre os computadores digitais chamados cérebros”: “Neste mundo parece melhor tratar até as aparentes continuidades como alguns números de certos pequenos passos”.[26] Permanecendo em silêncio na plateia estava o novo membro do grupo, Claude Shannon.

O palestrante seguinte foi J. C. R. Licklider, especialista em fala e som do novo Laboratório Psicoacústico de Harvard, conhecido por todos como Lick. Tratava-se de outro jovem cientista com os pés em dois mundos diferentes — parte psicólogo e parte engenheiro elétrico. Posteriormente naquele ano ele se transferiu para o mit, onde criou um departamento de psicologia dentro do departamento de engenharia elétrica. Trabalhava numa ideia para a quantização da fala — a redução das ondas da fala às menores quantidades que poderiam ser reproduzidas por um “circuito flip-flop”, um dispositivo caseiro feito com 25 dólares em válvulas termiônicas, resistores e capacitores.[27] Era surpreendente — mesmo para as pessoas acostumadas aos chiados e estalos dos telefones — até que ponto a fala podia ser reduzida sem perder sua inteligibilidade. Shannon ouviu atentamente, não apenas porque conhecia a engenharia telefônica como também por ter lidado com os temas em seu projeto secreto de guerra, que envolvia o embaralhamento do áudio. Wiener também prestou atenção, em parte por causa de seu interesse em próteses capazes de auxiliar a audição.

Quando Licklider descreveu alguma distorção como algo que não seria linear nem logarítmico, e sim algo “num ponto intermediário”, Wiener o interrompeu.

“O que significa ‘ponto intermediário’? *X* mais *S* sobre *N*?”

Licklider suspirou. “Os matemáticos vivem fazendo isso, me cobrando pelas afirmações inexatas.”[28] Mas ele não tinha problemas com a matemática e, posteriormente, ofereceu uma estimativa de quanta informação — usando a nova terminologia de Shannon — poderia ser enviada por uma linha de transmissão, levando em consideração determinada largura de banda (5 mil ciclos) e determinada proporção entre sinal e ruído (33 decibéis), números que eram

realistas para o rádio comercial. “Acho que aparentemente 100 mil bits de informação podem ser transmitidos por meio de um canal de comunicação como este” — bits por segundo, ele quis dizer. Tratava-se de um número impressionante. Para efeito de comparação, ele calculou a capacidade da fala humana da seguinte maneira: dez fonemas por segundo, escolhidos a partir de um vocabulário de 64 fonemas ($2^6$, “para facilitar” — o logaritmo do número de escolhas é 6), chegando a uma capacidade de 60 bits por segundo. “Isso supõe que os fonemas apresentem probabilidades iguais…”

“Isso!”, interrompeu Wiener.[29]

“… e é claro que isso não é verdadeiro.”

Wiener se perguntou se alguém teria tentado um cálculo semelhante para a “compressão para os olhos”, para a televisão. Quanta “informação real” é necessária para a inteligibilidade real? Embora tenha acrescentado, casualmente: “Com frequência me pergunto por que as pessoas olham para a televisão”.

Margaret Mead tinha uma questão diferente a levantar. Ela não queria que o grupo se esquecesse de que o significado pode existir com bastante independência em relação aos fonemas e às definições do dicionário. “Se falarmos a respeito de um tipo diferente de informação”, disse ela, “se tentarmos comunicar o fato de que alguém está bravo, que ordem de distorção pode ser introduzida para tirar a raiva de uma mensagem que, com a exceção desse detalhe, carrega exatamente as mesmas palavras?”[30]

Naquela noite Shannon assumiu a palavra. Deixemos de lado o significado, disse ele. Shannon anunciou que, por mais que seu tema fosse a redundância do inglês escrito, ele não se interessaria nem um pouco pelo *significado*.

Ele estava falando na informação como algo transmitido de um ponto a outro: “Pode ser, por exemplo, uma sequência aleatória de dígitos, ou a informação para um míssil teleguiado ou um sinal de televisão”.[31] O importante era que ele iria representar a fonte da informação como um processo estatístico, gerando mensagens com probabilidades variadas. Mostrou os exemplos de

sequências de texto que tinha usado em *Teoria matemática da comunicação* — obra que poucos ali tinham lido — e descreveu seu "experimento de previsão", no qual o sujeito adivinha letra por letra. Disse que o inglês tinha uma *entropia* específica, uma quantidade correlacionada com a redundância, e que ele seria capaz de usar esses experimentos para computar o número. Seus ouvintes ficaram fascinados — especialmente Wiener, pensando em sua "teoria da previsão".

"Meu método guarda alguns paralelismos com esse raciocínio", interrompeu Wiener. "Perdoe a interrupção."

Havia uma diferença de ênfase entre Shannon e Wiener. Para Wiener, a entropia era uma medida da desordem; para Shannon, da incerteza. Fundamentalmente, como eles estavam percebendo, as duas coisas eram iguais. Quanto maior o grau de ordem inerente num exemplo de texto em inglês — ordem sob a forma de padrões estatísticos, conhecidos consciente ou inconscientemente pelos falantes do idioma — maior seria o grau de previsibilidade e, nos termos de Shannon, menor a quantidade de informação que cada letra subsequente transmite. Quando o sujeito adivinha a letra seguinte com confiança, ela é redundante, e a chegada da letra não contribui com nenhuma informação nova. Informação é surpresa.

Os demais também se perdiam com perguntas sobre idiomas diferentes, estilos de prosa diferentes, escrita ideográfica e fonemas. Um psicólogo indagou se a escrita de jornal teria uma aparência diferente, do ponto de vista estatístico, em comparação com a obra de James Joyce. Leonard Savage, estatístico que trabalhou com Von Neumann, perguntou como Shannon teria escolhido um livro para aquele teste: aleatoriamente?

"Simplesmente fui até a estante e escolhi um na prateleira."

"Não poderíamos chamar isso de aleatório, não é mesmo?", disse Savage. "Existe o risco de o livro ser a respeito de engenharia."[32] Shannon não disse a eles que, na verdade, tratava-se de um romance detetivesco.

Outra pessoa quis saber se Shannon diria que a fala de um bebê seria mais ou menos previsível do que a fala de um adulto.

“Creio que seria mais previsível”, respondeu ele, “se conhecermos o bebê.”

O inglês é na verdade uma soma de vários idiomas diferentes — talvez tantos idiomas quanto há falantes do inglês —, cada qual com estatísticas diferentes. Ele também dá origem a dialetos artificiais: a linguagem da lógica simbólica, com seu alfabeto preciso e restrito, e a linguagem que um dos participantes chamou de “avianês”, empregada pelas torres de controle e pilotos. Além disso, está em constante transformação. Heinz von Foerster, jovem físico de Viena e um dos primeiros acólitos de Wittgenstein, perguntou-se como o grau de redundância numa linguagem poderia mudar conforme a linguagem evoluía, e especialmente na transição da cultura oral para a escrita.

Von Foerster, assim como Margaret Mead e vários outros, sentia-se pouco confortável com a ideia da informação sem significado. “Queria chamar o todo daquilo que eles chamavam de teoria da informação de teoria do *sinal*”, disse ele mais tarde, “porque a informação ainda não estava lá. Havia ‘*bip bipes*’, mas isso era tudo, nada de informação. No momento em que alguém transforma um conjunto de sinais em outros sinais que nosso cérebro é capaz de compreender, *então* nasce a informação — ela não está nos bipes.”[33] Mas ele se surpreendeu pensando na essência da linguagem, sua história na consciência e na cultura, de uma maneira nova. E destacou que, a princípio, ninguém tem consciência das letras, nem dos fonemas, como unidades básicas de uma linguagem.

> Estou pensando nos antigos textos maias, nos hieróglifos dos egípcios ou nas tabuletas sumérias do primeiro período. Durante o desenvolvimento da escrita é necessário um tempo considerável — ou um acidente — para reconhecermos que a linguagem pode ser dividida em unidades menores do que as palavras, ou seja, sílabas ou letras. Tenho a sensação de que há uma retroalimentação entre a fala e a escrita.[34]

O debate mudou sua opinião a respeito da centralidade da informação. Ele acrescentou uma nota epigramática à sua transcrição da oitava conferência: “A informação pode ser considerada a ordem extraída da desordem”.[35]

Por mais que Shannon se esforçasse para manter seus ouvintes concentrados nessa definição pura e livre de significado para a informação, tratava-se de um

grupo que se recusava a manter-se longe dos enroscos semânticos. Eles logo compreenderam as ideias essenciais de Shannon, e especularam muito além. “Se pudéssemos concordar em definir a informação como qualquer coisa que altere probabilidades ou reduza incertezas”, comentou Alex Bavelas, psicólogo social, “as mudanças na segurança emocional poderiam ser vistas com bastante facilidade sob essa luz.” E quanto aos gestos e às expressões faciais, aos tapinhas nas costas ou às piscadelas de um extremo ao outro da mesa? Conforme os psicólogos absorviam essa forma artificial de pensar nos sinais e no cérebro, toda a sua disciplina se aproximava do limiar de uma transformação radical.

Ralph Gerard, o neurocientista, lembrou-se de uma história. Um desconhecido está numa festa de pessoas que se conhecem bem. Uma delas diz “72”, e todos riem. Outra diz, “29”, e a festa explode em gargalhadas. O desconhecido pergunta o que está havendo.

> A pessoa ao lado diz: “Temos muitas piadas, e já as contamos tantas vezes que agora usamos apenas um número”. O convidado pensa em experimentar aquilo e, depois de algumas palavras, diz “63”. A reação é discreta. “Qual é o problema, não é uma piada?”
>
> “É, sim, é uma de nossas melhores piadas, mas você não a contou muito bem.”36

No ano seguinte, Shannon voltou com um robô. Não era um robô muito complexo, nem tinha uma aparência que imitasse algo vivo, mas impressionou o grupo de cibernética. Ele solucionava labirintos. Eles o chamaram de “rato de Shannon”.

Ele empurrou um armário cuja tampa superior era uma rede quadriculada de cinco por cinco. Divisórias poderiam ser colocadas ao redor e entre qualquer um dos 25 quadrados para formar labirintos de diferentes configurações. Um pino poderia ser colocado em qualquer quadrado para marcar a saída, e havia no labirinto uma barra sensora que se movia, impulsionada por um par de pequenos motores, um para a movimentação leste-oeste e outro para a movimentação norte-sul. Sob o capô havia um conjunto de relés elétricos, cerca de 75 deles, interconectados, alternando-se entre os estados ligado e desligado para formar a

“memória” do robô. Shannon apertou um interruptor para acioná-lo.

“Quando a máquina estava desligada”, disse ele, “os relés essencialmente esqueceram tudo aquilo que sabiam, de modo que estão agora começando de novo, sem nenhum conhecimento do labirinto.” Seus ouvintes estavam cativados. “Podemos ver agora o dedo explorando o labirinto, caçando o final. Quando chega ao centro de um quadrado, a máquina toma uma nova decisão quanto à próxima direção a ser tentada.”[37] Quando a barra chegava a uma divisória, os motores invertiam seu funcionamento e os relés registravam o evento. A máquina tomava cada “decisão” com base em seu “conhecimento” prévio — era impossível evitar essas palavras psicológicas — de acordo com uma estratégia criada por Shannon. O dispositivo vagava pelo espaço seguindo a tentativa e erro, entrando em becos sem saída e trombando com paredes. Por fim, sob as vistas de todos, o rato encontrou a saída do labirinto, uma campainha soou, uma lâmpada se acendeu, e os motores pararam.

Então Shannon recolocou o rato na posição inicial, para uma nova tentativa. Dessa vez ele foi diretamente para a saída sem errar o caminho nenhuma vez nem trombar com nenhuma divisória. O aparelho tinha “aprendido”. Colocado em outra parte inexplorada do labirinto, ele revertia para a tentativa e erro até enfim “construir um padrão completo de informação, sendo capaz de chegar ao final diretamente a partir de qualquer ponto”.[38]

Para levar a cabo a estratégia de exploração e busca da saída do labirinto, a máquina tinha de armazenar uma informação a cada quadrado visitado: mais especificamente, a última direção tentada antes de conseguir sair do quadrado. Havia apenas quatro possibilidades — norte, oeste, sul, leste — e, como Shannon explicara cuidadosamente, dois relés eram designados como memória para cada quadrado. Dois relés significavam dois bits de informação, o suficiente para uma escolha entre quatro alternativas, porque havia quatro estados possíveis: desligado-desligado, desligado-ligado, ligado-desligado e ligado-ligado.

A seguir Shannon rearranjou as divisórias de modo que a solução anterior não funcionasse mais. A máquina teria então que “explorar os arredores” até encontrar uma nova solução. Às vezes, no entanto, uma combinação

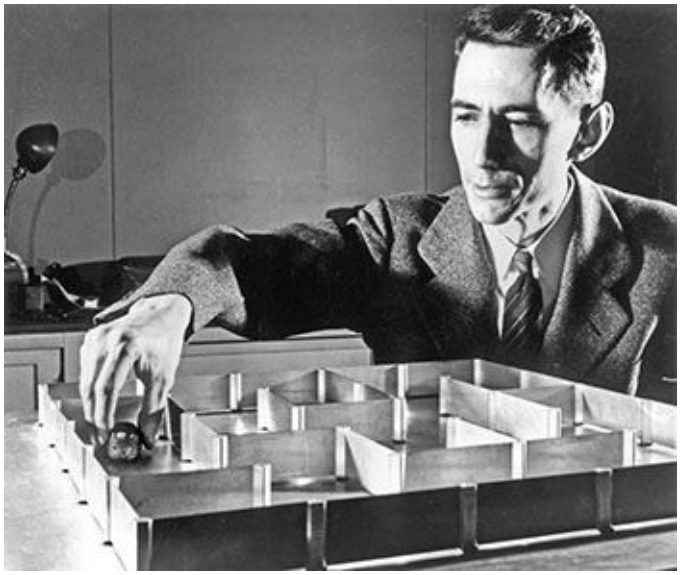
particularmente esquisita de memória anterior e novo labirinto jogaria a máquina num ciclo infinito. Shannon mostrou: “Quando chega ao ponto A, o robô se lembra que a solução antiga lhe dizia para ir a B, e então ele percorre um círculo, A, B, C, D, A, B, C, D. Foi estabelecido um círculo vicioso, ou um distúrbio flagrante”.[39]

“Uma neurose!”, disse Ralph Gerard.

Shannon acrescentou “um circuito antineurótico”: um contador programado para romper o ciclo quando a máquina repetisse a mesma sequência seis vezes. Leonard Savage notou que isso era uma espécie de trapaça. “O robô não tem como reconhecer que ‘enlouqueceu’ — percebe apenas que está se repetindo por muito tempo?”, indagou ele. Shannon concordou.

“É demasiadamente humano”, comentou Lawrence K. Frank.

“George Orwell deveria ter visto essa máquina”, comentou Henry Brosin, um psiquiatra.



*Shannon e seu labirinto.*

Uma peculiaridade da forma com a qual Shannon tinha organizado a memória da máquina — associando uma única direção a cada quadrado — era o fato de o rumo não poder ser invertido. Depois de chegar à saída, a máquina não “sabia” como voltar ao ponto de partida. Naquela acepção do termo, o conhecimento emergia daquilo que Shannon chamou de campo vetorial, a totalidade dos 25 vetores direcionais. “Não é possível dizer de onde veio o dedo

sensor por meio do estudo de sua memória", explicou ele.

"Como um homem que conhece a cidade", disse McCulloch, "ele consegue ir de qualquer lugar a qualquer outro lugar, mas nem sempre se lembra do caminho que fez."[40]

O rato de Shannon era parente da dançarina prateada de Babbage e dos cisnes e peixes metálicos do Merlin's Mechanical Museum: autômatos empenhados em simular a vida. Eles nunca deixavam de impressionar e entreter. A aurora da era da informação trouxe consigo uma nova geração sintética de ratos, besouros e tartarugas, feitos de válvulas termiônicas e depois de transístores. Eram modelos grosseiros, quase triviais se julgados pelos critérios de poucos anos além de sua época. No caso do rato, a memória total da criatura correspondia a 75 bits. Mas Shannon podia afirmar que ele solucionava um problema por tentativa e erro; era capaz de reter a solução e repeti-la sem os erros; conseguia integrar informações obtidas com novas experiências; e "esquecia" a solução quando as circunstâncias mudavam. A máquina não estava apenas imitando o comportamento de um ser vivo — estava desempenhando funções anteriormente reservadas aos cérebros.

Um de seus críticos, Dennis Gabor, um engenheiro elétrico húngaro que depois ganhou o prêmio Nobel por inventar a holografia, contestou: "Na realidade é o labirinto que lembra, e não o rato".[41] Isso era verdadeiro até certo ponto. Afinal, não havia rato. Os relés elétricos poderiam ter sido instalados em qualquer lugar, e retinham a memória. Eles se tornavam, na prática, um modelo mental do labirinto — uma *teoria* de um labirinto.

Os Estados Unidos do pós-guerra estavam longe de ser o único lugar em que biólogos e neurocientistas estavam subitamente assumindo uma causa ao lado dos matemáticos e engenheiros elétricos — embora os norte-americanos às vezes falassem como se este fosse o caso. Wiener, que relatou suas viagens a outros países de maneira um pouco extensa em sua introdução à *Cibernética*, menosprezou em seu texto o fato de, na Inglaterra, ter encontrado pesquisadores "bem informados", dizendo que não tinham avançado muito "na unificação do tema e na reunião dos diferentes campos de pesquisa".[42] Novos grupos de

cientistas britânicos começaram a se fundir em resposta à teoria da informação e à cibernética em 1949 — em sua maioria, jovens com experiência recente em decifrar códigos, operar radares e controlar canhões. Uma das ideias era formar um clube de debates à moda inglesa — "filiação restrita e encontros após as refeições", propôs John Bates, pioneiro da encefalografia. Isso exigiu um grande debate envolvendo nomes, regras de associação, locais de reunião e emblemas. Bates queria biólogos de inclinação para a elétrica e engenheiros de orientação biológica, sugerindo "cerca de quinze pessoas que tiveram as ideias de Wiener antes do surgimento de seu livro".[43] Reuniram-se pela primeira vez no porão do Hospital Nacional para Doenças Nervosas, em Bloomsbury, e decidiram chamar a si mesmos de Ratio Club (Clube da Proporção) — nome que significava o que quer que se desejasse. (Seus cronistas, Philip Husbands e Owen Holland, que entrevistaram muitos dos membros sobreviventes, relatam que metade deles pronunciava o nome como *RAY-she-oh* e a outra metade falava *RAT-ee-oh*.[44]) Para sua primeira reunião, eles convidaram Warren McCulloch.

Falaram não apenas sobre compreender o cérebro, mas também sobre como "projetá-lo". Um psiquiatra, W. Ross Ashby, anunciou que estava trabalhando na ideia segundo a qual "um cérebro composto de sinapses impressionais ligadas aleatoriamente umas às outras assumiria o grau exigido de organização como resultado da experiência"[45] — em outras palavras, a ideia de que a mente seria um sistema dinâmico que organiza a si mesmo. Outros queriam debater a identificação de padrões, o ruído no sistema nervoso, o xadrez disputado por robôs e a possibilidade da autoconsciência mecânica. McCulloch expôs isso da seguinte maneira: "Pensem no cérebro como um relé telegráfico que, ativado por um sinal, emite outro sinal". Os relés tinham avançado muito desde a época de Morse. "No caso dos eventos moleculares do cérebro, tais sinais são os átomos. Cada um deles é transmitido ou não." A unidade fundamental é uma escolha, e binária. "Trata-se do menor evento que pode ser verdadeiro ou falso."[46]

Eles também conseguiram atrair Alan Turing, que publicou seu próprio manifesto com uma provocante afirmação inicial — "Proponho que consideremos a pergunta: 'Serão as máquinas capazes de pensar?'"[47] — seguida pela discreta e astuta admissão de que ele o faria sem chegar nem mesmo a

tentar definir os termos *máquina* e *pensar*. Sua ideia era substituir a questão por um teste chamado de Jogo da Imitação, destinado a se tornar famoso como o "teste de Turing". Em sua forma inicial, o Jogo da Imitação envolve três pessoas: um homem, uma mulher e um interrogador. O interrogador fica numa sala separada e faz perguntas (Turing indica que, em condições ideais, estas seriam feitas por meio de uma "teleimpressora encarregada da comunicação entre os dois cômodos"). O interrogador tem como objetivo determinar qual é o homem e qual é a mulher. Um deles — o homem, digamos — tem o objetivo de enganar o interrogador, enquanto a outra parte tem como meta ajudar a revelar a verdade. "Para ela, a melhor estratégia é, provavelmente, oferecer respostas verdadeiras", indica Turing. "Ela pode acrescentar informações como 'Sou a mulher, não dê ouvidos a ele!', mas isso não produzirá resultado, pois o homem pode fazer afirmações semelhantes."

Mas e se a questão não envolvesse o gênero, e sim o tipo: ser humano ou máquina?

Compreende-se que a essência do ser humano jaz nas "capacidades intelectuais" de um indivíduo — daí o jogo de mensagens etéreas transmitidas às cegas entre cômodos. "Não queremos castigar a máquina por sua incapacidade de brilhar nas competições de beleza", diz Turing, seco, "nem castigar um homem por sair perdedor numa corrida contra um avião." E, pelo mesmo motivo, nem por sua lentidão na aritmética. Turing apresenta alguns exemplos imaginários de perguntas e respostas:

> P: Por favor, componha para mim um soneto sobre o tema da Ponte Forth.
>
> R: Não conte comigo. Sou incapaz de compor uma poesia.

Mas, antes de avançar, ele considera necessário explicar melhor o tipo de máquina que tem em mente. "O interesse atual nas 'máquinas pensantes'", destaca ele, "foi despertado por um tipo específico de máquina, habitualmente chamada de 'computador eletrônico' ou 'computador digital'."[48] Esses dispositivos fazem o trabalho dos computadores humanos com mais velocidade e precisão. Turing enuncia a natureza e as propriedades do computador digital,

coisa que Shannon não fizera. John von Neumann também tinha feito isso ao construir uma máquina sucessora para o eniac. O computador digital é composto de três partes: um “armazém de informações”, correspondente à memória do computador humano ou ao papel; uma “unidade executiva”, que se encarrega das operações individuais; e um “controle”, que administra uma lista de instruções, certificando-se de que sejam levadas a cabo na ordem correta. Essas instruções são codificadas sob a forma de números. Às vezes são chamadas de “programas”, explica Turing, e a construção de uma lista desse tipo pode ser chamada de “programação”.

A ideia é antiga, diz Turing, e ele cita Charles Babbage, que identifica como Professor Lucasiano de Matemática em Cambridge de 1828 a 1839 — antes tão famoso, agora quase esquecido. Turing explica que Babbage “tinha todas as ideias essenciais” e “planejou uma máquina desse tipo, chamada de Máquina Analítica, mas nunca chegou a concluí-la”. Ela teria empregado engrenagens e cartões — nada a ver com a eletricidade. A existência (ou inexistência, mas no mínimo uma quase existência) da máquina de Babbage permite que Turing refute uma superstição cuja formação ele sente no *zeitgeist* de 1950. As pessoas parecem sentir que a magia dos computadores digitais é essencialmente elétrica, e o sistema nervoso também é elétrico. Turing, entretanto, se esforça para pensar na computação de maneira universal, o que significa também uma maneira abstrata. Ele sabe que a questão principal nada tem a ver com a eletricidade:

> Como a máquina de Babbage não era elétrica, e como todos os computadores digitais são essencialmente equivalentes, vemos que o uso da eletricidade não pode ser de importância teórica. […] O recurso ao uso da eletricidade é assim visto como mera similaridade extremamente superficial.49

O famoso computador de Turing era uma máquina feita de lógica: fita imaginária, símbolos arbitrários. Tinha todo o tempo do mundo e uma memória sem limites, e poderia fazer qualquer coisa que fosse passível de ser expressa em passos e operações. Poderia até julgar a veracidade de uma comprovação no sistema dos *Principia Mathematica*. “No caso de a fórmula não ser demonstrável nem refutável, uma máquina desse tipo não se comportaria de maneira satisfatória, por certo, pois continuaria a trabalhar indefinidamente sem produzir nenhum resultado, mas isso não pode ser considerado muito diferente da reação

dos matemáticos.”[50] Assim, Turing supôs que ela poderia se submeter ao Jogo da Imitação.

É claro que ele não pretendia comprovar tal suposição. Seu objetivo principal era mudar os termos de um debate que considerava em boa medida inócuo. Turing fez algumas previsões para o meio século que viria a seguir: os computadores teriam de armazenamento de $10^9$ bits (ele imaginou alguns computadores muito grandes — não vislumbrou nosso futuro de minúsculos e onipresentes dispositivos de computação dotados de uma capacidade de armazenamento exponencialmente maior que essa); e talvez pudessem ser programados para realizar o Jogo da Imitação bem o bastante para enganar certos interrogadores por ao menos alguns minutos (verdadeiro, dentro do possível).

> Creio que a pergunta original, “Serão as máquinas capazes de pensar?”, é demasiadamente carente de significado para ser merecedora de um debate. Apesar disso, creio que, no fim do século, o emprego das palavras e a opinião informada do público em geral terá mudado tanto que poderemos falar em máquinas pensantes sem esperar nenhum questionamento dessa ideia.[51]

Ele não viveu para ver o quanto sua profecia se mostrou correta. Em 1952, foi preso sob a acusação de homossexualismo, julgado, condenado, privado do acesso a informações confidenciais e submetido pelas autoridades britânicas a um humilhante processo de castração química por meio de injeções de estrógeno. Em 1954, Turing tirou a própria vida.

Anos se passaram sem que o público soubesse de seu importantíssimo trabalho secreto com o projeto Enigma em Bletchley Park. Suas ideias a respeito de máquinas pensantes atraíram certa atenção em ambos os lados do Atlântico. Alguns daqueles que consideravam o conceito absurdo ou até assustador apelaram a Shannon em busca de sua opinião. Ele ficou ao lado de Turing. “A ideia de uma máquina capaz de pensar não é de maneira alguma repugnante para todos nós”, disse Shannon a um engenheiro. “Na verdade, me parece que a ideia oposta, de que o cérebro humano seja em si uma máquina cuja funcionalidade poderia ser duplicada por meio de objetos inanimados, é bastante atraente.”

Fosse como fosse, tratava-se de algo mais útil do que “a especulação envolvendo ‘forças vitais’ intangíveis e inatingíveis, ‘almas’ e coisas do tipo”.[52]

Os cientistas da computação queriam saber aquilo que suas máquinas eram capazes de fazer. Os psicólogos queriam saber se os cérebros eram computadores — ou talvez se os cérebros eram *apenas* computadores. Em meados do século, os cientistas da computação eram uma novidade, mas, até certo ponto, o mesmo poderia ser dito dos psicólogos.

Em meados do século, a psicologia tinha se tornado moribunda. De todas as ciências, era a que mais enfrentava dificuldades para explicar exatamente qual seria o objeto do próprio estudo. Originalmente, seu objeto era a alma, em oposição ao corpo (somatologia) e ao sangue (hematologia). “*Psychologie* é uma doutrina que busca a alma do homem e seus efeitos; trata-se da parte que não pode faltar na constituição de um homem”,[53] escreveu James de Black no século xvii. Mas, quase por definição, a alma era inefável — dificilmente algo a ser conhecido. Para complicar ainda mais a questão, havia o enredamento (mais profundo na psicologia do que em todos os demais campos) do observador com o observado. Em 1854, quando ainda era grande a probabilidade de ser chamada de “filosofia mental”, David Brewster lamentou que nenhum outro setor do conhecimento tinha progredido tão pouco quanto “a ciência da mente, se é que podemos chamá-la de ciência”.[54]

> Vista como material por um investigador, como espiritual por outro, e por outros ainda como uma misteriosa mistura de ambas as coisas, a consciência humana escapa da cognoscência do sentido e da razão, e jaz como um campo desolado, com o flanco exposto, sobre o qual qualquer especulador visitante pode lançar seus questionamentos mentais.

Os especuladores visitantes ainda estavam investigando principalmente o próprio interior, e os limites da introspecção eram aparentes. Em busca de rigor, da possibilidade de verificação e talvez até da matematização, os estudiosos da mente avançaram por direções radicalmente diferentes na virada do século xx. O

caminho trilhado por Sigmund Freud era apenas um entre os possíveis. Nos Estados Unidos, William James construiu quase sozinho uma disciplina da psicologia — foi professor dos primeiros cursos universitários e autor do primeiro manual abrangente — e, ao terminar seu trabalho, desistiu de chegar a alguma conclusão. Escreveu que sua própria obra, *Princípios da psicologia*, era "uma maçaroca desprezível, verborrágica, intumescida e inchada que servia apenas para afirmar dois fatos: *1o*, que não se pode falar numa *ciência* da psicologia, e *2o*, que wj não passa de um incapaz".[55]

Na Rússia, um novo ramo da psicologia teve início com um fisiologista, Ivan Petrovich Pavlov, conhecido pelo estudo da digestão pelo qual ganhou o prêmio Nobel, que desprezava a palavra *psicologia* e toda a terminologia a ela associada. James, em seus momentos de temperamento mais ameno, considerava a psicologia como ciência da vida mental, mas, para Pavlov, não havia mente, apenas comportamento. Os estados mentais, pensamentos, emoções, metas e propósitos — todos eram intangíveis, subjetivos, estando fora do alcance. Traziam o estigma da religião e da superstição. Aquilo que James tinha identificado como temas centrais — "o fluxo dos pensamentos", "a consciência de si", a percepção do tempo e do espaço, imaginação, razão e vontade — não tinha lugar no laboratório de Pavlov. Tudo que um cientista podia observar era o comportamento, e este, ao menos, podia ser registrado e medido. Os behavioristas, particularmente John B. Watson nos Estados Unidos e depois o famoso B. F. Skinner, criaram uma ciência com base no estímulo e na resposta: comida, sinos, choques elétricos; salivação, alavancas apertadas, labirintos percorridos. Watson afirmou que o grande propósito da psicologia era prever as respostas que se seguiriam a um determinado estímulo e também quais estímulos poderiam produzir um determinado comportamento. Entre estímulo e resposta havia uma caixa-preta, que sabíamos ser composta de órgãos sensoriais, caminhos neurológicos e funções motoras, mas fundamentalmente fora do alcance. Na prática, os behavioristas estavam reafirmando que a alma é inefável. Durante meio século, seu programa de pesquisas prosperou porque produziu resultados em termos de condicionamento dos reflexos e de controle do comportamento.

Como resumiu posteriormente o psicólogo George Miller, os behavioristas diziam: “Fala-se na memória; fala-se em expectativa; fala-se nos próprios sentimentos; fala-se em todas essas coisas mentais. Tudo não passa de balela. Mostre-me uma delas, aponte uma delas”.[56] Eles eram capazes de ensinar pombos a jogar pingue-pongue e também ratos a percorrer labirintos. Mas, já em meados do século, a frustração tinha se instalado. A pureza dos behavioristas tinha se convertido em dogma. Sua recusa em levar em consideração os estados mentais se tornara uma jaula, e os psicólogos ainda queriam compreender o que era a consciência.

A teoria da informação era uma porta de entrada. Os cientistas analisaram o processamento das informações e construíram máquinas capazes de fazê-lo. As máquinas tinham memória. Elas simulavam o aprendizado e a busca por metas. Um behaviorista estudando um rato num labirinto debateria a associação entre estímulo e resposta, mas se recusaria a fazer qualquer especulação envolvendo a *mente* do rato, mas agora os engenheiros estavam construindo modelos mentais dos ratos usando somente alguns relés elétricos. Não estavam apenas abrindo a caixa-preta, estavam construindo sua própria caixa. Sinais estavam sendo transmitidos, codificados, armazenados e recuperados. Os psicólogos repararam naquilo. Da teoria da informação e da cibernética, eles receberam um conjunto de metáforas úteis e até uma estrutura conceitual produtiva. O rato de Shannon podia ser visto não apenas como um modelo bastante rudimentar do cérebro como também como uma teoria do comportamento. Subitamente, os psicólogos se viram livres para falar a respeito de planos, algoritmos, regras sintáticas. Puderam investigar não apenas a maneira como as criaturas vivas reagem ao mundo exterior como também a forma como representavam isso para si mesmas.

A formulação de Shannon para a teoria da informação parecia convidar os pesquisadores a olhar numa direção que ele próprio não pretendera seguir. Shannon declarara: “O problema fundamental da comunicação é reproduzir num determinado ponto, seja exata ou aproximadamente, uma mensagem selecionada num outro ponto”. Seria difícil para um psicólogo deixar de pensar no caso em que a fonte da mensagem é o mundo exterior e o receptor é a mente.

Se ouvidos e olhos deveriam ser entendidos como canais de mensagem, então

por que não testá-los e medi-los como microfones e câmeras? “Novos conceitos da natureza e da medida da informação”, escreveu Homer Jacobson, químico da Hunter College, em Nova York, “tornaram possível especificar quantitativamente a capacidade informacional do ouvido humano”,[57] e foi isso que ele fez. E depois tentou o mesmo com o olho, chegando a uma estimativa quatrocentas vezes mais alta em termos de bits por segundo. Muitos outros tipos sutis de experimento tornaram-se subitamente práticas legítimas, alguns deles sugeridos pela obra de Shannon envolvendo o ruído e a redundância. Em 1951, um grupo testou a probabilidade de os ouvintes escutarem uma palavra corretamente quando sabiam que esta seria uma dentre um pequeno número de alternativas, em vez de muitas alternativas.[58] Aquilo parecia óbvio, mas nunca fora feito antes. Os responsáveis pelos experimentos exploraram o efeito de tentar compreender duas conversas ao mesmo tempo. Começaram a pensar na quantidade de informação contida num conjunto de itens — dígitos, letras ou palavras — e no quanto poderia ser compreendido ou lembrado. Em experimentos-padrão, envolvendo fala, campainhas, teclas pressionadas e pés batidos contra o chão, a linguagem do estímulo e da resposta começou a dar lugar à transmissão e à recepção da informação.

Durante um breve período, os pesquisadores debateram a transição explicitamente — mais tarde, ela se tornou invisível. Donald Broadbent, psicólogo experimental inglês que explorava a questão da atenção e da memória de curto prazo, escreveu sobre um experimento em 1958:

> A diferença entre uma descrição dos resultados em termos de estímulo e resposta e uma descrição nos termos da informação se torna mais pronunciada. […] Sem dúvida seria possível desenvolver uma descrição adequada dos resultados em termos de E-R […] mas tal descrição parece primitiva quando comparada à descrição oferecida pela teoria da informação.59

Broadbent fundou uma divisão de psicologia aplicada na Universidade de Cambridge, e a isso se seguiu um grande volume de pesquisas, ali e em outras partes, no âmbito geral de como as pessoas lidam com a informação: efeitos do ruído no desempenho; atenção seletiva e filtragem da percepção; memória de

curto e longo prazo; identificação de padrões; solução de problemas. E onde seria correto situar a lógica? Na psicologia ou na ciência da computação? Certamente não faria parte somente da filosofia.

Um influente colega de Broadbent nos Estados Unidos era George Miller, que ajudou a fundar o Centro de Estudos Cognoscivos de Harvard em 1960. Ele já era famoso por causa de um estudo publicado em 1956 sob o levemente excêntrico título de “O mágico número sete, mais ou menos dois: Alguns limites em nossa capacidade de processar informações”.[60] Sete parecia ser o número de itens que a maioria das pessoas era capaz de manter na memória de trabalho num determinado momento: sete dígitos (o típico número de telefone americano da época), sete palavras, ou sete objetos mostrados por um psicólogo experimental. Miller afirmou que o número também insistia em aparecer em outros tipos de experimento. No laboratório, os participantes recebiam goles d’água com diferentes quantidades de sal, para determinar quantos níveis diferentes de salinidade seriam capazes de distinguir. Pedia-se a eles que detectassem distinções entre notas de diferente tonalidade ou volume. Mostravam-se a eles padrões de pontos, rapidamente projetados numa tela, pedindo a seguir que dissessem quantos eram (se fossem menos que sete, quase sempre o palpite era correto; mais que sete, quase sempre uma estimativa). De uma maneira ou de outra, o número sete voltava a aparecer como um limiar. “Esse número assume uma variedade de disfarces”, escreveu ele, “sendo às vezes um pouco maior e às vezes um pouco menor do que o habitual, mas nunca mudando a ponto de ser irreconhecível.”

Tratava-se obviamente de algum tipo de simplificação grosseira. Como destacou Miller, as pessoas são capazes de identificar rostos e palavras específicos dentre milhares de possibilidades e podem memorizar longas sequências de símbolos. Para ver o tipo de simplificação envolvido, ele se voltou para a teoria da informação, e em especial para o modelo de Shannon, no qual a informação seria uma escolha dentre múltiplas alternativas. “O observador é considerado um canal de comunicação”, anunciou ele — uma formulação que certamente deixaria horrorizados os behavioristas que dominavam a profissão. Há informação sendo transmitida e armazenada — sobre o volume, ou a

salinidade, ou a quantidade. A respeito dos bits, explicou:

> Um bit de informação é a informação de que precisamos para tomar uma decisão entre duas alternativas de igual probabilidade. Se precisamos decidir se um homem tem mais de 1,80 metro de altura ou se tem menos, e se sabemos que as chances são de 50-50, então precisamos de um bit de informação. […]
>
> Dois bits de informação nos permitem decidir entre quatro alternativas de igual probabilidade. Três bits de informação nos possibilitam decidir entre oito alternativas igualmente prováveis […] e assim por diante. Ou seja, se há 32 alternativas de igual probabilidade, precisamos tomar cinco decisões binárias sucessivas, valendo um bit cada, antes de sabermos qual é a alternativa correta. Assim, a regra geral é simples: toda vez que o número de alternativas aumentar à razão de dois, acrescenta-se um bit de informação.

O mágico número sete é na verdade pouco menos de três bits. Experimentos simples mediam a discriminação, ou capacidade do canal, numa única dimensão. Medidas mais complexas surgem a partir de combinações de variáveis em múltiplas dimensões — tamanho, por exemplo, brilho e matiz. E as pessoas se dedicam a ações que os teóricos da informação chamam de “recodificação”, o agrupamento da informação em pedaços cada vez maiores — a organização de pontos e traços do telégrafo sob a forma de letras, das letras na forma de palavras, e das palavras em frases, por exemplo. A essa altura o raciocínio de Miller tinha se tornado algo de natureza mais semelhante à de um manifesto. Ele declarou que a recodificação “me parece ser o fluido vital dos processos do pensamento”.

> Os conceitos e as medidas oferecidos pela teoria da informação proporcionam uma forma quantitativa de investigar algumas dessas questões. A teoria nos dá uma medida para calibrar nossos materiais de estímulo e para avaliar o desempenho dos participantes. […] Os conceitos informacionais já mostraram seu valor no estudo da distinção e da linguagem; parecem muito promissores para o estudo do aprendizado e da memória; e foi até proposta a possibilidade de serem úteis no estudo da formação de conceitos. Muitas perguntas que pareciam infrutíferas vinte ou trinta anos atrás podem agora merecer uma nova visita.

Era o início do movimento chamado revolução cognitiva na psicologia,

estabelecendo a base para a disciplina chamada ciência cognitiva, combinando psicologia, ciência da computação e filosofia. Posteriormente, alguns filósofos que observaram esse momento o chamaram de virada informacional. “Aqueles que experimentam a virada informacional passam a enxergar a informação como o ingrediente básico da construção de uma mente”, escreveu Frederick Adams. “A informação tem de contribuir com a origem do mental.”[61] Como o próprio Miller gostava de dizer, a mente entrou montada nas costas da máquina.[62]

Shannon estava longe de ser um nome conhecido — ele nunca chegou a se tornar famoso para o público geral —, mas ganhou estatura de ícone em suas próprias comunidades acadêmicas, e às vezes promovia debates públicos sobre a “informação” em universidades e museus. Ele explicava as ideias básicas; fazia uma travessura ao citar Mateus 5:37: “Seja vossa comunicação, Sim, sim; Não, não: pois aquilo que disto passar terá vindo do mal”, como esquema para a noção de bits e da codificação redundante; e especulava a respeito do futuro dos computadores e autômatos. “Bem, para concluir”, disse ele na Universidade da Pensilvânia, “creio que num certo sentido o século atual será testemunha de um acentuado aumento e desenvolvimento de todo esse ramo da informação; a atividade de reunir informação e a atividade de transmiti-la de um ponto a outro, e, talvez ainda mais importante, a atividade de processá-la.”[63]

Com psicólogos, antropólogos, linguistas, economistas e todo tipo de cientista social embarcando no bonde da teoria da informação, alguns matemáticos e engenheiros se sentiram desconfortáveis. O próprio Shannon identificou aquilo como uma moda. Em 1956, escreveu um breve recado de alerta — quatro parágrafos:

> Nossos colegas cientistas de muitos campos diferentes, atraídos pela fanfarra e pelas novas avenidas abertas à análise científica, estão usando tais ideias em seus próprios problemas. […] Por mais agradável e animadora que essa onda de popularidade possa ser para aqueles de nós que trabalham na área, ela traz ao mesmo tempo um elemento perigoso.[64]

Ele lembrou a todos que, em seu núcleo duro, a teoria da informação era um

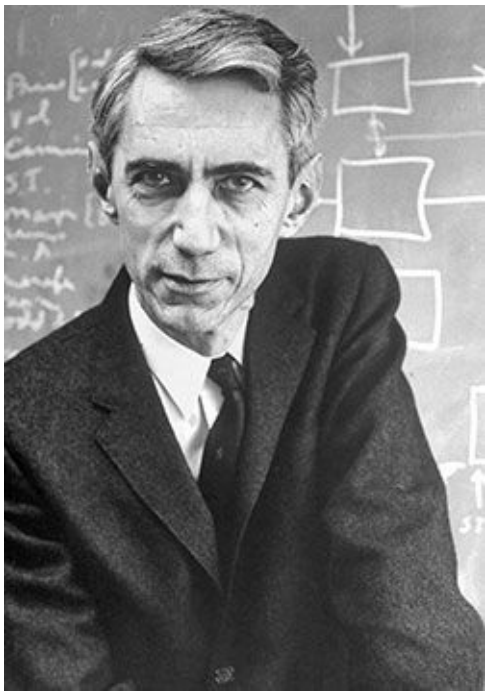
ramo da matemática. Pessoalmente, acreditava que seus conceitos se mostrariam úteis em outros campos, mas não em toda parte nem que seria fácil sua adaptação: “A definição de tais aplicações não é uma questão trivial de traduzir palavras para um novo domínio, e sim o lento e tedioso processo do estabelecimento de hipóteses e sua verificação experimental”. Além disso, Shannon achava que o trabalho duro mal tinha começado “em nossa própria casa”. Ele insistia em mais pesquisa e menos exposição.

Quanto à cibernética, a palavra começou a perder destaque. Os cibernéticos da Macy fizeram sua última reunião em 1953, no Nassau Inn, em Princeton; Wiener tinha brigado com vários membros do grupo, que agora mal falavam com ele. Incumbido de fazer um resumo dos trabalhos, McCulloch soou melancólico. “Nunca houve entre nós um consenso unânime”, disse. “E, mesmo que tivesse havido, não vejo motivo pelo qual Deus deveria ter concordado conosco.”[65]

Durante toda a década de 1950, Shannon permaneceu sendo o líder intelectual do campo que havia fundado. Suas pesquisas produziram estudos densos, repletos de teoremas, prenhes de possibilidades de desenvolvimento, estabelecendo as bases para amplos campos de estudo. Aquilo que Marshall McLuhan chamou posteriormente de “meio” era para Shannon o canal, e o canal estava sujeito a um rigoroso tratamento matemático. As aplicações eram imediatas e os resultados, férteis: canais de transmissão e canais de escuta, canais ruidosos e sem ruído, canais gaussianos, canais com limitações de entrada e limitações de custo, canais com retorno e canais com memória, canais multiusuário e canais multiacesso. (Quando McLuhan anunciou que o meio era a mensagem, estava sendo brincalhão. O meio é oposto à mensagem ao mesmo tempo que está misturado a ela.)

Um dos resultados essenciais de Shannon, o ruidoso teorema da codificação, ganhou importância cada vez maior, mostrando que a correção de erros pode de fato combater o ruído e a corrupção. Inicialmente, tratava-se apenas de uma tantalizante amenidade teórica — a correção de erros exigia computação, que ainda não era barata. Mas, durante os anos 1950, o trabalho com métodos de correção de erros começou a cumprir a promessa de Shannon, e a necessidade de

tais métodos se tornou aparente. Uma de suas aplicações era a exploração do espaço com satélites e foguetes — seria preciso enviar mensagens por distâncias muito longas usando uma força limitada. A teoria da codificação se tornou uma parte crucial da ciência da computação, com a correção de erros e a compressão de dados avançando lado a lado. Sem ela, modems, cds e televisão digital não existiriam. Para os matemáticos interessados em processos aleatórios, os teoremas da codificação são também medidas da entropia.



*Claude Shannon (1963).*

Enquanto isso, Shannon fez outros avanços teóricos que plantaram sementes para a futura constituição dos computadores. Uma de suas descobertas mostrou como maximizar o fluxo de informações numa rede de muitos ramos, num modelo no qual a rede poderia ser um canal de comunicação ou uma estrada de ferro ou uma rede elétrica ou um sistema de tubulação. Outra descoberta recebeu o apropriado título de “Circuitos confiáveis feitos com relés toscos” (embora tenha sido alterado para “… relés menos confiáveis” no momento da publicação[66]). Ele estudou as funções alternadoras, a teoria da proporção de distorção e a entropia diferencial. Tudo isso era invisível para o público, mas os abalos sísmicos que vieram com a aurora da computação foram amplamente sentidos, e Shannon também fazia parte disso.

Já em 1948, Shannon completara o primeiro estudo de um problema que ele mesmo afirmou “não ter, é claro, nenhuma importância em si”:[67] como programar uma máquina para jogar xadrez. Isso já tinha sido tentado antes, nos séculos xviii e xix, quando vários autômatos jogadores de xadrez viajaram pela Europa, revelando com certa frequência humanos de baixa estatura escondidos em seu interior. Em 1910, o matemático e inventor espanhol Leonardo Torres y Quevedo construiu uma verdadeira máquina de xadrez, inteiramente mecânica, chamada El Ajedrecista, capaz de jogar os lances finais de uma partida envolvendo três peças, rei e torre contra rei.

Shannon mostrava agora que computadores capazes de cálculos numéricos poderiam jogar uma partida inteira de xadrez. Como ele explicou, tais dispositivos, “contendo vários milhares de válvulas termiônicas, relés e outros elementos”, retinham números na “memória”, e um processo de tradução inteligente poderia fazer com que esses números representassem os quadrados e as peças de um tabuleiro. Os princípios expostos por ele foram empregados em todos os programas de xadrez desde então. Naquela época de entusiasmo e inexperiência na computação, muitas pessoas logo supuseram que o xadrez poderia ser *solucionado*: totalmente conhecido em todos os seus rumos e combinações. Imaginaram que um computador eletrônico de alta velocidade seria capaz de jogar um xadrez perfeito, assim como previsões meteorológicas confiáveis para o longo prazo. Shannon fez um cálculo aproximado, no entanto, e indicou que o número de partidas de xadrez possíveis seria superior a $10^{120}$ — um número algumas ordens de magnitude maior do que a idade do universo em nanossegundos. Portanto, os computadores não podem jogar xadrez recorrendo à força bruta. Eles precisavam raciocinar de acordo com o pensamento humano, como constatou Shannon.

Ele visitou o campeão americano Edward Lasker em seu apartamento, na East 23rd Street, em Nova York, e Lasker sugeriu alguns aprimoramentos.[68] Quando a *Scientific American* publicou uma versão simplificada de seu estudo, em 1950, Shannon não resistiu à tentação de fazer a pergunta que estava na cabeça de todos: “Será que uma máquina de jogar xadrez desse tipo é capaz de ‘pensar’?”.

> Do ponto de vista do behaviorismo, a máquina age como se estivesse pensando. Sempre se supôs que a habilidade no xadrez exige a faculdade do raciocínio. Se considerarmos o pensamento uma propriedade de ações externas, e não um método interno, então a máquina está sem dúvida pensando.

Independentemente disso, já em 1952 ele estimou que seriam necessários três programadores trabalhando por seis meses para permitir que um computador de grande escala fosse capaz de jogar uma partida num nível aceitável para um amador. “O problema de um jogador de xadrez capaz de aprender está mais no futuro do que o do tipo pré-programado. Os métodos indicados são, obviamente, de uma lentidão mortificante. A máquina deixaria de funcionar por puro desgaste antes de ser capaz de vencer uma única partida.”[69] A ideia, entretanto, era olhar no maior número possível de direções para entender o que um computador de propósito geral seria capaz de fazer.

Ele estava também exercitando seu senso de humor. Shannon projetou e até construiu uma máquina capaz de operar a aritmética com numerais romanos: iv vezes xii, por exemplo, é igual a xlviii. Ele a batizou de throbac 1, acrônimo para Thrifty Roman-numeral Backward-looking Computer. Criou também uma “máquina leitora de mentes” com o objetivo de fazê-la jogar o jogo infantil conhecido como Par ou Ímpar. O que todos esses voos da imaginação tinham em comum era a extensão dos processos algorítmicos a novos domínios — o mapeamento abstrato de ideias em objetos matemáticos. Posteriormente, Shannon escreveu milhares de palavras a respeito dos aspectos científicos do malabarismo[70] — com teoremas e corolários —, incluindo uma citação de e. e. cummings que lembrava de cabeça: “Algum filho da puta vai inventar uma máquina para medir a primavera”.

Nos anos 1950, Shannon também estava tentando criar uma máquina capaz de reparar a si mesma.[71] Se um relé apresentasse defeito, a máquina o localizaria e substituiria. Ele especulou a respeito da possibilidade de uma máquina capaz de se reproduzir, coletando peças nos arredores e montando-as. Os Laboratórios Bell ficavam contentes em vê-lo viajar e fazer palestras sobre tais temas, com frequência demonstrando sua máquina capaz de aprender a percorrer o labirinto,

mas nem todas as plateias ficavam impressionados com aquilo. A palavra “Frankenstein” foi mencionada. “Me pergunto se os rapazes sabem com o que é que estão brincando”, escreveu um colunista de jornal de Wyoming.

> O que ocorre se ligarmos um desses computadores mecânicos e esquecermos de desligá-lo antes de sair para o almoço? Ora, vou lhes dizer. Com os computadores, ocorreria na América o mesmo que ocorreu com os coelhos na Austrália. Antes que pudéssemos multiplicar 701 945 240 por 879 030 546, cada família no país teria seu próprio computadorzinho. […]
>
> Não quero desmerecer seus experimentos, sr. Shannon, mas, francamente, não estou nem remotamente interessado em nenhum computador, e creio que reagirei mal se uma turma deles se reunir ao meu redor para multiplicar, dividir ou seja lá o que eles façam melhor.72

Dois anos depois de Shannon ter feito seu alerta sobre o bonde, um teórico da informação mais jovem, Peter Elias, publicou uma nota criticando a existência de um estudo intitulado “Teoria da informação, fotossíntese e religião”.[73] É claro que tal estudo não existia. Mas tinham sido publicados estudos em teoria da informação, vida e topologia; teoria da informação e os efeitos físicos do dano nos tecidos; e sistemas clericais; e psicofarmacologia; e interpretação de dados geofísicos; e a estrutura dos cristais; e a melodia. Elias, cujo pai tinha trabalhado para Edison como engenheiro, era ele próprio um especialista sério — um dos maiores contribuintes para a teoria da codificação. Desconfiava do trabalho mais leve, fácil e banal que inundava as fronteiras disciplinares. De acordo com ele, o estudo típico

> debate o relacionamento de surpreendente proximidade entre o vocabulário e a estrutura conceitual da teoria da informação e aqueles da psicologia (ou da genética, da linguística, da psiquiatria, da organização empresarial). […] Os conceitos de estrutura, padrão, entropia, ruído, transmissor, receptor e código são (quando devidamente interpretados) centrais a ambas.

Ele declarou que aquilo não passava de um furto. “Depois de instalar pela primeira vez a disciplina da psicologia numa base científica razoável, o autor, modesto, deixa aos psicólogos a tarefa de preencher os contornos.” Sugeriu que seus colegas abandonassem o furto em troca de uma vida de trabalho honesto.

Esses alertas de Shannon e Elias apareceram em meio a um crescente número de novas publicações dedicadas inteiramente à teoria da informação.

Nesses círculos, uma das palavras do momento era *entropia*. Outro pesquisador, Colin Cherry, queixou-se: “Ouvimos falar em ‘entropias’ de linguagens, sistemas sociais e sistemas econômicos, e em seu uso em vários estudos carentes de método. Trata-se do tipo de generalidade abrangente à qual as pessoas se agarram inutilmente”.[74] Como isso ainda não tinha se tornado aparente, ele não disse que a teoria da informação estava começando a mudar o curso da física teórica e das ciências da vida, nem que a entropia era um dos motivos por trás disso.

Nas ciências sociais, a influência direta dos teóricos da informação havia passado de seu auge. A matemática especializada tinha cada vez menos a contribuir com a psicologia e cada vez mais com a ciência da computação. Mas suas contribuições foram reais. Elas catalisaram as ciências sociais e as prepararam para a nova era que tinha início. O trabalho havia começado; a virada informacional não poderia ser revertida.

---

a Como destaca Jean-Pierre Dupuy: “Tratava-se no fundo de uma situação perfeitamente corriqueira, na qual os cientistas culpavam os não cientistas por terem-nos interpretado ao pé da letra. Depois de trazer à consciência do público a ideia de que as máquinas pensantes estariam ao alcance, os cibernéticos se apressaram em se dissociar de qualquer pessoa ingênua o bastante para acreditar em algo como aquilo”. Jean-Pierre Dupuy, *The Mechanization of the Mind: On the Origins of Cognitive Science*. Trad. de M. B. DeBevoise. Princeton, N.J.: Princeton University Press, 2000. p. 89.

# 9. A entropia e seus demônios
## (*Não se pode separar as coisas agitando-as*)

> *O pensamento interfere na probabilidade dos eventos e, portanto, na entropia a longo prazo.*
>
> David L. Watson, 19301

Seria um exagero dizer que ninguém conhecia o significado de *entropia*. Ainda assim, não deixava de ser uma daquelas palavras polêmicas. Nos Laboratórios Bell, os boatos diziam que Shannon tinha tomado emprestado o termo de John von Neumann, que teria dado a ele o conselho de que seria possível usá-lo para ganhar qualquer debate porque ninguém o compreenderia.[2] Falso, mas plausível. A palavra já chegou a significar até o oposto de si mesma. Continua penosamente difícil de definir. Fugindo às próprias características, o *Oxford English Dictionary* arrisca:

> 1. Nome dado a um dos elementos quantitativos que determinam a condição termodinâmica de uma porção de matéria.

Rudolf Clausius cunhou a palavra em 1865, durante o processo de criação da ciência termodinâmica. Ele precisava dar nome a uma certa quantidade que tinha descoberto — uma quantidade relacionada à energia, mas diferente dela.

A termodinâmica surgiu de mãos dadas com os motores a vapor; era a princípio nada mais do que "o estudo teórico do motor a vapor".[3] Seu objeto era a conversão do calor, ou energia, em trabalho. À medida que isso ocorre — o calor impulsiona o motor —, Clausius observou que o calor não se perde de fato, ele é simplesmente transferido de um corpo mais quente para um corpo mais frio. Nesse percurso, realiza algo. Funciona como uma roda-d'água, como insistia em apontar Nicolas Sadi Carnot, na França: a água começa no alto e termina no fundo, e nenhuma porção dela é ganhada ou perdida, mas a água realiza um trabalho no decorrer de sua descida. Carnot imaginou o calor como uma substância semelhante. A capacidade de produzir trabalho de um sistema

termodinâmico não depende do calor em si, e sim do contraste entre quente e frio. Uma pedra quente mergulhada em água fria pode gerar trabalho — ao criar, por exemplo, o vapor que impulsiona uma turbina —, mas o calor total no sistema (pedra mais água) se mantém constante. No fim, a pedra e a água chegam à mesma temperatura. Independentemente da quantidade de energia contida num sistema fechado, quando tudo chega à mesma temperatura, nenhum trabalho pode ser feito.

É a indisponibilidade dessa energia — sua inutilidade para o trabalho — que Clausius queria medir. Ele chegou à palavra *entropia*, formada a partir do grego para significar "conteúdo transformacional". Seus pares ingleses imediatamente enxergaram o conceito proposto, mas decidiram que Clausius o tinha invertido ao se concentrar na parte negativa. Em sua *Teoria do calor*, James Clerk Maxwell sugeriu que seria "mais conveniente" fazer com que a entropia significasse o oposto: "a parte que *pode* ser convertida em trabalho mecânico". Assim:

> Quando a pressão e a temperatura do sistema se tornam uniformes podemos dizer que a entropia se exauriu.

Mas, em questão de poucos anos, Maxwell virou a casaca e decidiu seguir Clausius.[4] Reescreveu o próprio livro e acrescentou uma constrangida nota de rodapé:

> Nas edições anteriores deste livro o significado do termo "entropia", conforme apresentado por Clausius, foi equivocadamente descrito como a parte da energia que não pode ser convertida em trabalho. O livro então passou a usar a palavra como equivalente à energia disponível, trazendo assim grande confusão para a linguagem da termodinâmica. Nesta edição agi no sentido de usar a palavra "entropia" de acordo com a definição original de Clausius.

O problema não estava apenas em escolher entre positivo e negativo. A questão era mais sutil. Maxwell tinha inicialmente imaginado a entropia como um subtipo de energia: a energia disponível para o trabalho. Reconsiderando,

reconheceu que a termodinâmica precisava de uma medida diferente. A entropia não era um tipo de medida nem uma quantidade de energia; era, como tinha dito Clausius, a *indisponibilidade* de energia. Por mais abstrata que fosse, ela se revelou uma quantidade tão passível de ser medida quanto a temperatura, o volume e a pressão.

Ela se tornou um conceito totêmico. Com a entropia, as "leis" da termodinâmica podiam ser expressas organizadamente:

> Primeira lei: A energia do universo é constante.
>
> Segunda lei: A entropia do universo sempre aumenta.

Há muitas outras formulações dessas leis, passando da matemática à imprevisibilidade, por exemplo, "1. Não se pode vencer; 2. Não se pode sair sem perder".[5] Mas esta é a mais cósmica e fatalista. O universo está se esgotando. Trata-se de uma via degenerativa de mão única. O estado final de entropia máxima é nosso destino.

William Thomson, o lorde Kelvin, gravou a segunda lei na imaginação popular ao festejar seu lado sombrio: "Por mais que a energia mecânica seja *indestrutível*", declarou ele em 1862, "existe uma tendência universal à dissipação, que produz o aumento gradual e a difusão do calor, o fim do movimento e a exaustão da energia potencial em todo o universo material. O resultado disso seria um estado de repouso universal e morte".[6] Assim, a entropia ditou o destino do universo no romance *A máquina do tempo*, de H. G. Wells: a vida se esgotando, o sol moribundo, a "abominável desolação que pesava sobre o mundo". A morte do calor não é fria, e sim morna e monótona. Freud pensou ter enxergado algo de útil aqui em 1918, embora tenha expressado isso com pouca clareza: "Ao pensar na conversão da energia psíquica tanto como na da física, devemos recorrer ao conceito de uma entropia, que se opõe à reversão daquilo que já ocorreu".[7]

Thomson gostava de aplicar a isso a palavra *dissipação*. A energia não se perde; é dissipada. A energia dissipada está presente, mas é inútil. Foi Maxwell,

no entanto, quem começou a se concentrar na própria confusão — a desordem — como qualidade essencial da entropia. A desordem parecia estranhamente não física. Ela implicava que uma parte da equação deveria ser algo como o conhecimento, ou a inteligência, ou o juízo. “A ideia da dissipação da energia depende da extensão de nosso conhecimento”, afirmou Maxwell. “A energia disponível é a energia que pode ser dirigida a qualquer canal desejado. A energia dissipada é a energia da qual não podemos nos apoderar nem dirigir conforme nossos anseios, como a energia da confusa agitação das moléculas à qual damos o nome de calor.” Aquilo que *nós* podemos fazer, ou aquilo que sabemos, tornou-se parte da definição. Pareceu impossível falar em ordem e desordem sem envolver um agente ou um observador — sem falar a respeito da consciência:

> A confusão, como a ordem, termo correlacionado, não é uma propriedade das coisas materiais em si, e sim algo associado à consciência que as percebe. Desde que seja escrito com clareza, um livro-memorando não parece confuso para uma pessoa iletrada nem para o dono que o compreende por inteiro, mas, para qualquer outra pessoa capaz de ler, a obra parece ser complexa e confusa. Da mesma maneira, a noção de energia dissipada não poderia ocorrer para alguém que não conseguisse transformar nenhuma das energias da natureza por conta própria, nem para alguém que pudesse rastrear o movimento de cada molécula e apreendê-lo no momento certo.8

A ordem é subjetiva — está no olhar do observador. Ordem e confusão não são o tipo de coisa que um matemático tentaria definir nem medir. Ou são? Se a desordem corresponde à entropia, talvez ela estivesse afinal pronta para receber tratamento científico.

Como caso ideal, os pioneiros da termodinâmica pensaram numa caixa contendo gás. Composta de átomos, tal substância está longe da simplicidade e da calmaria. Trata-se de um vasto conjunto de partículas agitadas. Os átomos nunca tinham sido vistos, e sua existência era hipotética, mas esses teóricos — Clausius, Kelvin, Maxwell, Ludwig Boltzmann, Willard Gibbs — aceitaram a natureza atômica de um fluido e tentaram desvendar suas consequências: mistura, violência, movimento contínuo. Eles compreenderam então que tal

movimento constitui o calor. O calor não é uma substância, nem um fluido, nem um “flogisto” — apenas o movimento das moléculas.

Individualmente as moléculas precisam obedecer às leis de Newton — e cada ação e cada colisão são, em teoria, passíveis de serem medidas e calculadas. Mas elas eram numerosas demais para serem medidas e calculadas uma a uma. A probabilidade entrou em cena. A nova ciência da mecânica estatística fez uma ponte entre os detalhes microscópicos e o comportamento macroscópico. Suponhamos que uma caixa de gás seja dividida por um diafragma. O gás no lado A é mais quente do que o gás no lado B — ou seja, as moléculas do lado A estão se movendo mais rápido, com mais energia. Assim que a divisória é removida, as moléculas começam a se misturar; as rápidas colidem com as lentas; a energia é trocada; e, depois de algum tempo, o gás atinge uma temperatura uniforme. O mistério é o seguinte: por que o processo não pode ser revertido? Nas equações newtonianas do movimento, o tempo pode ter um sinal negativo ou positivo — a matemática funciona em ambos os sentidos. No mundo real, o intercâmbio entre passado e futuro não se dá com tamanha facilidade.

“O tempo segue adiante, nunca recua”, afirmou Léon Brillouin em 1949. “Quando o físico é confrontado com esse fato, sente-se muito perturbado.”[9] Maxwell tinha ficado um pouco perturbado. Ele escreveu a lorde Rayleigh:

> Se este mundo é um sistema puramente dinâmico, e se revertermos com precisão o movimento de cada partícula dele no mesmo instante, então todas as coisas ocorrerão de trás para a frente até o início de tudo, os pingos de chuva se erguerão do chão e voltarão para as nuvens etc. etc., e os homens verão seus amigos passando da tumba para o berço até que todos nós nos tornemos o inverso de nascidos, seja lá o que isso for.

O que ele queria dizer era que, nos detalhes microscópicos, se observarmos o movimento de moléculas individuais, seu comportamento é o mesmo avançando ou recuando no tempo. Podemos exibir o filme no sentido contrário. Mas, ao nos afastarmos e observarmos a caixa de gás como um conjunto, o processo de mistura se torna estatisticamente uma via de mão única. Podemos observar o fluido por toda a eternidade, e ele jamais se dividirá em moléculas quentes de

um lado e moléculas frias do outro. Em *Arcádia*, de Tom Stoppard, a inteligente jovem Thomasina diz: “Não se pode separar as coisas agitando-as”, e isso é exatamente o mesmo que “O tempo segue adiante, nunca recua”. Processos como esses só ocorrem numa direção. O motivo disso é a probabilidade. O que é notável — algo que os físicos levaram muito tempo para aceitar — é o fato de cada processo irreversível ter necessariamente que ser explicado da mesma maneira. O próprio tempo depende do acaso, ou dos “acidentes da vida”, como Richard Feynman gostava de dizer: “Bem, vemos que tudo não passa do fato de a irreversibilidade ser causada pelos acidentes da vida em geral”.[10] Fazer com que a caixa de gás se desmisture não é fisicamente impossível, é apenas improvável ao extremo. Assim sendo, a segunda lei é apenas probabilística. Do ponto de vista estatístico, tudo tende à máxima entropia.

Mas a probabilidade é o bastante: o suficiente para que a segunda lei se mantenha como um pilar da ciência. Nas palavras de Maxwell:

> *Moral*. A 2a lei da Termodinâmica tem o mesmo grau de verdade da afirmação que diz que, se jogarmos uma jarra de água no mar, não se pode recuperar a mesma água novamente.11

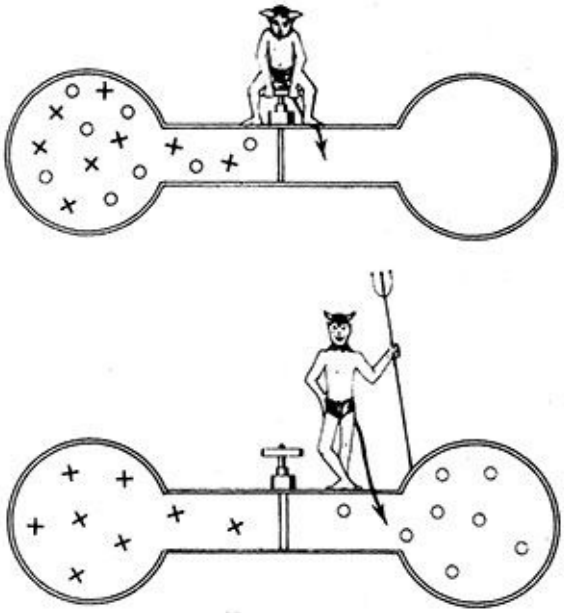
A improbabilidade de o calor passar de um corpo mais frio para um corpo mais quente (sem ajuda externa) é idêntica à improbabilidade do surgimento espontâneo da ordem a partir da desordem (sem ajuda externa). Fundamentalmente, ambas decorrem da estatística. Ao contarmos todas as maneiras possíveis segundo as quais um sistema pode ser disposto, as moléculas desorganizadas somam um número muito maior do que as organizadas. Há muitos arranjos, ou “estados”, nos quais as moléculas se encontram todas amontoadas, e poucos nos quais elas se mostram cuidadosamente distribuídas. Os estados ordenados apresentam uma probabilidade baixa e uma entropia igualmente baixa. Para os graus mais impressionantes de organização, as probabilidades podem ser *muito* baixas. Certa vez Alan Turing propôs caprichosamente um número *N*, definido como “a probabilidade de um pedaço de giz saltar para o outro lado de um cômodo e escrever um verso de Shakespeare na lousa”.[12]

Com o passar do tempo, os físicos começaram a falar em microestados e macroestados. Um macroestado pode ser: todo o gás na metade superior da caixa. Os microestados correspondentes seriam todos os arranjos possíveis de todas as partículas — posições e velocidades. Assim, a entropia se tornou uma equivalente física da probabilidade: a entropia de um determinado macroestado é o logaritmo do número de seus possíveis microestados. Dessa maneira, a segunda lei é a tendência do universo de fluir dos macroestados menos prováveis (organizados) para os mais prováveis (desordenados).

Mas ainda parecia surpreendente deixar que tamanha parte da física dependesse da mera probabilidade. Seria correto afirmar que nada na física impede o gás de se dividir em quente e frio — que tudo não passa de uma questão de acaso e estatística? Maxwell ilustrou essa charada com um experimento de raciocínio. Imaginemos, sugeriu ele, "um ser finito" que vigie um pequeno buraco no diafragma que divide a caixa de gás. Essa criatura pode ver as moléculas vindo, pode perceber se são rápidas ou lentas, e pode escolher deixá-las passar ou não. Assim, ele poderia alterar a probabilidade. Separando as rápidas das lentas, ele poderia tornar o lado A mais quente e o lado B mais frio — "e ainda assim, nenhum trabalho foi feito, sendo empregada apenas a inteligência de um ser extremamente observador e de dedos hábeis".[13] Esse ser desafia as probabilidades comuns. A tendência é que as coisas se misturem. Para separá-las, é necessária a informação.

Thomson adorou a ideia. Ele rotulou a criatura conceitual como demônio: "O demônio inteligente de Maxwell", "o demônio organizador de Maxwell" e, em pouco tempo, simplesmente "o demônio de Maxwell". Thomson discorria com eloquência a respeito da pequena criatura: "Ele difere dos animais vivos somente [*somente!*] em sua extrema agilidade e pequenez".[14] Falando a uma plateia noturna no Instituto Real da Grã-Bretanha, com a ajuda de tubos de líquidos tingidos de duas cores diferentes, Thomson demonstrou o processo aparentemente irreversível da difusão e declarou que somente o demônio poderia revertê-lo:

Ele pode fazer com que metade de um frasco fechado de ar, ou de uma barra de ferro, se torne cada vez mais quente enquanto a outra se torna gelada; pode dirigir as moléculas de uma bacia hidrográfica de modo a fazer a água subir e deixá-la ali proporcionalmente resfriada; pode "separar" as moléculas numa solução com sal ou numa mistura de dois gases, de modo a reverter o processo natural da difusão, e produzir uma concentração da solução numa porção da água, deixando a água pura no restante do espaço ocupado; ou, no outro caso, separar os gases em partes diferentes do recipiente que os contém.



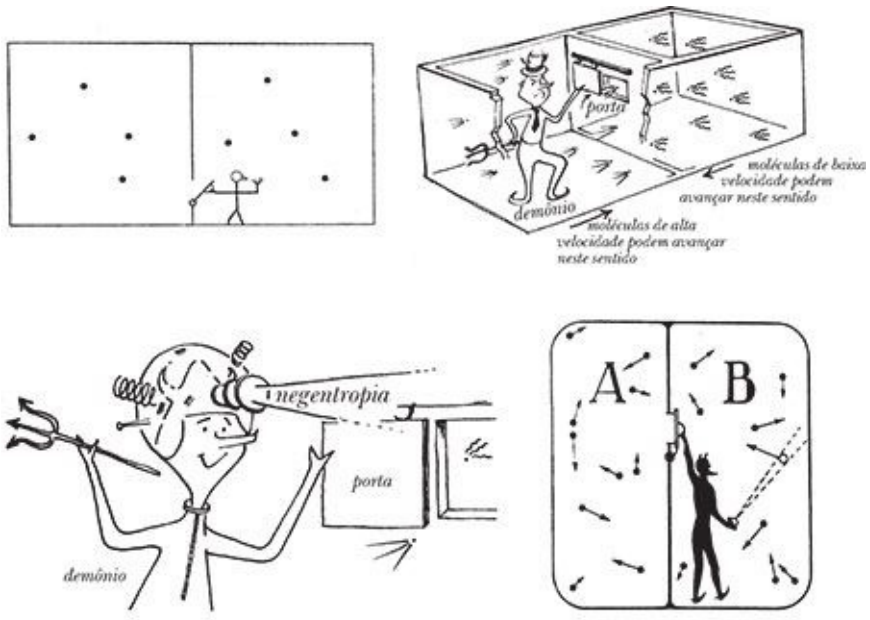
O repórter da *The Popular Science Monthly* considerou isso ridículo. "Devemos acreditar que a natureza está cheia de enxames infinitos de pequenos diabinhos microscópicos e absurdos", caçoou ele. "Quando homens como Maxwell, de Cambridge, e Thomson, de Glasgow, sancionam um capricho hipotético tão grosseiro quanto o dos pequenos demônios que arremessam os átomos para lá e para cá […] podemos nos perguntar: o que virá a seguir?"[15] Ele não entendeu o raciocínio. Maxwell não quis dizer que seus demônios existiam, era apenas uma ferramenta pedagógica.

O demônio enxerga aquilo que não podemos ver — porque somos demasiadamente grosseiros e lentos —, ou seja, que a segunda lei é estatística, e não mecânica. No nível das moléculas, ela é violada o tempo inteiro, aqui e ali, simplesmente pelo acaso. O demônio substitui o acaso pelo propósito. Usa a informação para reduzir a entropia. Maxwell nunca imaginou o quanto seu demônio se tornaria popular, nem o quanto sobreviveria. Henry Adams, que

queria incorporar alguma versão da entropia à sua teoria da história, escreveu para seu irmão Brooks em 1903: “O demônio de Clerk Maxwell, que administra a segunda lei da termodinâmica, deveria ser eleito presidente”.[16] O demônio presidia um portal — inicialmente, um portal mágico — que levava do mundo da física ao mundo da informação.

Os cientistas invejavam os poderes do demônio. Ele se tornou um personagem conhecido nos desenhos que ilustravam as revistas de física. É claro que a criatura não passava de uma fantasia, mas o próprio átomo já parecera fantástico, e o demônio tinha ajudado a domá-lo. Por mais implacáveis que as leis da natureza parecessem, o demônio as desafiava. Tratava-se de um gatuno, que arrombava a fechadura de molécula em molécula. Ele tinha “sentidos de uma sutileza infinita”, escreveu Henri Poincaré, era “capaz de reverter o rumo do universo”.[17] Não era justamente isso que os humanos sonhavam fazer?

Por meio de seus microscópios cada vez mais aperfeiçoados, os cientistas do início do século xx examinaram os processos ativos e seletivos das membranas biológicas. Descobriram que as células vivas funcionavam como bombas, filtros e fábricas. Processos propositais pareciam operar em escalas minúsculas. Quem ou o que estava no controle? A própria vida parecia ser uma força organizadora. “Não devemos agora introduzir a demonologia na ciência”, escreveu o biólogo britânico James Johnstone em 1914. Na física, afirmou ele, as moléculas individuais devem permanecer além do nosso controle. “Esses movimentos e rumos não são coordenados — caóticos — se nos agradar denominá-los assim. A física leva em consideração apenas a *média* estatística das velocidades.” É por isso que os fenômenos da física são irreversíveis, “de modo que, para a ciência posterior, os demônios de Maxwell não existem”. Mas e quanto à vida? E à psicologia? Os processos da vida terrestre *são* reversíveis, argumentou ele. “Precisamos, portanto, buscar provas de que o organismo *é capaz* de controlar os movimentos naturalmente descoordenados das moléculas individuais.”[18]




Não é estranho que, embora vejamos que a maior parte de nosso esforço humano corresponde a *dirigir* agências e energias naturais no sentido de rumos que elas não tomariam por si mesmas, teríamos ainda assim falhado em pensar nos organismos primitivos, ou mesmo nos elementos de tecido nos corpos dos organismos superiores, como possuidores também do poder de dirigir os processos físico-químicos?

Quando a vida se mantinha tão misteriosa, talvez o demônio de Maxwell fosse mais do que um desenho.

Então o demônio começou a assombrar Leó Szilárd, um físico húngaro extremamente jovem dono de uma imaginação produtiva que mais tarde conceberia o microscópio de elétrons e, não por acaso, a reação em cadeia nuclear. Numa manifestação de instinto protetor digna de um tio, um de seus professores mais famosos, Albert Einstein, aconselhou-o a aceitar um emprego remunerado no escritório de patentes, mas Szilárd ignorou o conselho. Ele estava pensando, na década de 1920, em como a termodinâmica deveria lidar com as incessantes flutuações moleculares. Por definição, as flutuações funcionavam no sentido contrário das médias, como peixes nadando momentaneamente contra a corrente e, como não podia deixar de ser, as pessoas se perguntavam: como seria se pudéssemos aproveitar a força delas? Essa ideia irresistível levou a uma versão da máquina de movimento perpétuo, *perpetuum mobile*, o santo graal dos

inventores excêntricos e vendedores picaretas. Tratava-se de outra forma de dizer: “Tanto calor — por que não podemos usá-lo?”.

Era também outro dos paradoxos engendrados pelo demônio de Maxwell. Num sistema fechado, um demônio capaz de apanhar as moléculas rápidas e deixar passar as moléculas mais lentas teria uma fonte de energia útil, continuamente renovada. Ou, se não o quimérico diabinho, talvez algum outro “ser inteligente”? Um físico experimental, quem sabe? Uma máquina de movimento perpétuo deveria ser possível, declarou Szilárd, “se enxergarmos o homem responsável pelo experimento como uma espécie de *deus ex machina*, alguém continuamente informado quanto ao estado existente da natureza”.[19] Para sua versão do experimento de raciocínio, Szilárd deixou claro que não queria invocar um demônio vivo, dono de, digamos, um cérebro — a biologia trazia seus próprios problemas. “A própria existência de um sistema nervoso”, declarou ele, “depende da contínua dissipação de energia.” (Seu amigo Carl Eckart reelaborou isso de maneira sentenciosa: “Pensamento gera entropia”.[20]) Em vez disso ele propôs um “dispositivo não vivo”, que interviria num modelo de sistema termodinâmico, operando um pistão num cilindro de fluido. Ele destacou que tal dispositivo exigiria, na prática, “algum tipo de faculdade de memória”. (Naquela época, em 1929, Alan Turing era um adolescente. Nos termos de Turing, Szilárd estava tratando a consciência do demônio como um computador dotado de uma memória de dois estados.)

Szilárd mostrou que até sua máquina de movimento perpétuo estaria destinada a falhar. Qual seria o problema? Em termos simples: a informação não é gratuita. Maxwell, Thomson e o restante tinham implicitamente falado como se o conhecimento estivesse à disposição de quem por ele se interessasse — o conhecimento das velocidades e trajetórias das moléculas indo e vindo diante dos olhos do demônio. Eles não levaram em consideração o custo dessa informação, nem poderiam fazê-lo. Para eles, numa época mais simples, era como se a informação pertencesse a um universo paralelo, um plano astral, dissociado do universo da matéria e da energia, das partículas e forças, cujo comportamento eles estavam aprendendo a calcular.

Mas a informação é física. O demônio de Maxwell faz o elo. O demônio

realiza a conversão entre informação e energia ao ritmo de uma partícula por vez. Szilárd — que ainda não empregava a palavra *informação* — descobriu que, se registrasse com precisão cada medida e memória, a conversão poderia ser computada com exatidão. Sendo assim, ele a computou. Calculou que cada unidade de informação traz um aumento correspondente na entropia — especificamente um aumento de *k* unidades do logaritmo 2. Cada vez que o demônio faz uma escolha entre uma e outra partícula, isso tem o custo de um bit de informação. A compensação ocorre no fim do ciclo, quando é preciso limpar a memória (Szilárd não especificou esse último detalhe em palavras, mas em termos matemáticos). Registrar tudo isso devidamente é a única maneira de eliminar o paradoxo do movimento perpétuo, de devolver a harmonia ao universo, de "restaurar a conformidade com a Segunda Lei".

Szilárd tinha assim fechado um ciclo que conduzia à concepção de Shannon da entropia como informação. De sua parte, Shannon não sabia ler alemão e não acompanhou a *Zeitschrift für Physik*. "Acho que Szilárd estava de fato pensando nisso", disse ele muito depois, "e conversou com Von Neumann a esse respeito, e Von Neumann pode ter comentado isso com Wiener. Mas nenhum deles chegou a falar comigo a respeito."[21] Independentemente de tudo isso, Shannon reinventou a matemática da entropia.

Para o físico, a entropia é a medida da incerteza em relação ao estado de um sistema físico: um dentre todos os estados possíveis que o sistema pode apresentar. Esses microestados podem não apresentar a mesma probabilidade e, por isso, o físico escreve $S = -\Sigma\, pi \log pi$.

Para o teórico da informação, a entropia é uma medida da incerteza em relação a uma mensagem: uma mensagem dentre todas as mensagens possíveis que uma fonte de comunicação pode produzir. As mensagens possíveis podem não ser igualmente prováveis e, assim sendo, Shannon escreveu $H = -\Sigma\, pi \log pi$.

Não é apenas uma coincidência nem um formalismo, como se a natureza oferecesse respostas semelhantes para problemas semelhantes. Trata-se de um único problema. Para reduzir a entropia numa caixa de gás, para realizar trabalho

útil, é preciso pagar um preço em termos de informação. Da mesma maneira, uma mensagem específica reduz a entropia do conjunto de mensagens possíveis — em termos de sistemas dinâmicos, um espaço fásico.

Era assim que Shannon enxergava o problema. A versão de Wiener era um pouco diferente. Parecia adequado — tratando-se de uma palavra que surgiu significando o oposto daquilo que era — que colegas e rivais colocassem sinais opostos em suas formulações da entropia. Enquanto Shannon identificava a informação com a entropia, Wiener dizia que se tratava de entropia *negativa*. Wiener estava dizendo que informação significava ordem, mas algo ordenado não traz em si necessariamente muita informação. O próprio Shannon destacou a diferença entre eles e minimizou-a, descrevendo-a como uma espécie de "trocadilho matemático". Ele destacou que ambos obtêm o mesmo resultado numérico:

> Penso em quanta informação é *produzida* quando uma escolha é feita a partir de um conjunto — quanto maior o conjunto, *mais* informação. Você trata a incerteza maior inerente a um conjunto maior como representando menos conhecimento da situação e, portanto, *menos* informação.22

Em outras palavras, *H* é uma medida da surpresa. De outra maneira ainda, *H* é o número médio de perguntas do tipo sim-não necessárias para adivinhar a mensagem desconhecida. Shannon estava correto — ao menos, sua abordagem se mostrou fértil para os matemáticos e físicos das gerações seguintes —, mas a confusão perdurou por alguns anos. Ordem e desordem ainda precisavam de mais separação.

Todos nós nos comportamos como o demônio de Maxwell. Os organismos organizam. Na experiência do dia a dia jaz o motivo pelo qual físicos sérios mantiveram viva essa fantasia cartunesca ao longo de dois séculos. Organizamos o correio, construímos castelos de areia, resolvemos quebra-cabeças, separamos o joio do trigo, rearranjamos as peças no tabuleiro de xadrez, colecionamos selos, dispomos os livros em ordem alfabética, criamos simetria, compomos sonetos e sonatas, arrumamos nossos cômodos, e para fazer tudo isso não é

necessária muita energia, desde que possamos recorrer à inteligência. Propagamos estruturas (não apenas nós, os humanos, mas nós, os vivos). Perturbamos a tendência ao equilíbrio. Seria absurdo tentar fazer um registro termodinâmico de tais processos, mas não é absurdo dizer que estamos reduzindo a entropia, pedaço por pedaço. Bit por bit. O demônio original, identificando uma molécula de cada vez, distinguindo entre rápido e lento, e operando seu pequeno portal, é às vezes descrito como "superinteligente", mas, comparado a um organismo real, ele não passa de um erudito idiota. Além de diminuírem a desordem em seus ambientes, os seres vivos são, em si mesmos, em seu esqueleto e em sua carne, suas vesículas e membranas, conchas e carapaças, folhas e brotos, sistemas circulatórios e rumos metabólicos — milagres de padrões e estruturas. Às vezes é como se limitar a entropia fosse nosso propósito quixotesco neste universo.

Em 1943, Erwin Schrödinger, o fumante inveterado de gravata-borboleta, pioneiro da física quântica e incumbido de lecionar as Palestras Públicas Obrigatórias do Trinity College, em Dublin, decidiu que tinha chegado a hora de responder a uma das grandes perguntas sem resposta: o que é a vida? A equação que traz seu nome era a formulação essencial da mecânica quântica. Ao olhar para além de seu campo, como fazem com frequência os premiados com o Nobel na meia-idade, Schrödinger trocou o rigor pela especulação e começou pedindo desculpas pelo fato "de alguns de nós ousarem embarcar numa síntese dos fatos e teorias, embora dispondo de um conhecimento incompleto e de segunda mão a seu respeito — e correndo o risco de fazer papel de bobos".[23] Apesar disso, o pequeno livro que ele elaborou a partir dessas aulas se tornou influente. Sem descobrir nem afirmar nada de novo, a obra estabelecia as bases para uma ciência nascente, ainda sem nome, que combinava genética e bioquímica. "O livro de Schrödinger se tornou uma espécie de *A cabana do pai Tomás* da evolução da biologia que, depois que a poeira assentou, deixou como legado a biologia molecular",[24] escreveu posteriormente um dos fundadores da disciplina. Os biólogos nunca tinham lido algo como aquilo antes, e os físicos viram a obra como um sinal de que o próximo grande problema a ser encarado poderia estar na biologia.

Schrödinger partiu daquilo que chamou de enigma da estabilidade biológica. Num notável contraste com a caixa de gás, com seus caprichos de probabilidade e flutuação, e aparentemente deixando de lado a própria mecânica de onda de Schrödinger, na qual a incerteza é a regra, as estruturas de uma criatura viva exibem uma impressionante permanência. Elas persistem, tanto na vida do organismo como nas diferentes gerações, por meio da hereditariedade. Para Schrödinger, isso parecia exigir uma explicação.

"Quando dizemos que uma matéria está viva?",[25] indagou ele. O autor pulou as sugestões habituais — crescimento, alimentação, reprodução — e respondeu da maneira mais simples possível: "Quando ela continua a 'fazer algo', movimentar-se, trocar material com seu meio ambiente, e assim por diante, durante um período muito mais longo do que seria de esperar que uma matéria inanimada 'continuasse a fazer' sob circunstâncias semelhantes". Em geral, um pedaço de matéria chega à imobilidade; uma caixa de gás atinge temperatura uniforme; um sistema químico "perde força até se tornar uma quantidade inerte e morta de matéria" — de uma maneira ou de outra, a segunda lei é obedecida, e a entropia máxima é atingida. As coisas vivas conseguem se manter instáveis. Norbert Wiener explorou esse raciocínio em *Cibernética*: as enzimas, escreveu ele, podem ser demônios de Maxwell "metaestáveis" — significando não exatamente estáveis, ou precariamente estáveis. "O estado estável de uma enzima é o de ser descondicionada", escreveu ele, "e o estado estável de um organismo vivo é estar morto."[26]

Schrödinger sentiu que a fuga temporária à segunda lei, ou a aparência de fuga, seria exatamente o motivo pelo qual uma criatura viva "parece tão enigmática". A habilidade do organismo de fingir um movimento perpétuo leva muitos a crer numa especial e sobrenatural *força vital*. Ele caçoou dessa ideia — *vis viva* ou entelequia —, e também da noção popular segundo a qual os organismos "se alimentam de energia". Energia e matéria eram apenas dois lados da mesma moeda e, seja como for, uma caloria vale tanto quanto qualquer outra. Não, afirmou ele: o organismo se alimenta de entropia negativa.

"Em termos menos paradoxais", acrescentou Schrödinger, paradoxalmente, "o elemento essencial no metabolismo é o fato de o organismo conseguir se

libertar de toda a entropia que é incapaz de deixar de produzir enquanto está vivo.”[27]

Em outras palavras, o organismo suga o caráter ordenado de seus arredores. Herbívoros e carnívoros se alimentam de uma variedade de tipos de estruturas; alimentam-se de compostos orgânicos, matéria num estado bem ordenado, e a devolvem “numa forma muito degradada — mas não completamente degradada, entretanto, pois as plantas são capazes de utilizá-la”. As plantas, por sua vez, retiram não apenas a energia como também a entropia negativa da luz solar. Em termos de energia, o registro pode ser feito de maneira mais ou menos rigorosa. Em termos de ordem, os cálculos não são tão simples. O cálculo matemático da ordem e do caos continua sendo mais delicado, com suas definições mais suscetíveis a seus próprios ciclos de retroalimentação.

Haveria ainda muito mais a ser aprendido, segundo Schrödinger, a respeito de como a vida armazena e perpetua a ordem que obtém da natureza. Com seus microscópios, os biólogos aprenderam muita coisa sobre as células. Eram capazes de enxergar os gametas — células de espermatozoide e de óvulo. Dentro delas havia as fibras tubulares chamadas cromossomos, dispostas em pares, das quais se sabia que eram as portadoras das características hereditárias. Como Schrödinger agora expressava, o interior delas continha de alguma forma o “padrão” do organismo: “São esses cromossomos, ou provavelmente apenas uma fibra axial do esqueleto daquilo que de fato vemos sob o microscópio como cromossomo, que contêm em algum tipo de código-instrução o padrão completo do desenvolvimento futuro do indivíduo”. Ele considerou incrível — misterioso, mas sem dúvida fundamental de alguma maneira ainda desconhecida — que cada uma das células de um organismo “estivesse de posse de uma cópia completa (dupla) do código-instrução”.[28] Schrödinger comparou isso a um exército no qual cada soldado conhece cada detalhe dos planos do general.

Tais detalhes consistiam nas muitas “propriedades” distintas de um organismo, embora não estivessem nada claras as consequências de tais propriedades. (“Não parece adequado nem possível dissecar em ‘propriedades’ distintas o padrão de um organismo que é, essencialmente, uma unidade, um ‘todo’”,[29] brincou Schrödinger.) A cor dos olhos de um animal, azul ou castanha,

pode ser uma propriedade, mas é mais útil concentrar-se na *diferença* entre um indivíduo e outro, e essa diferença seria controlada por algo transmitido nos cromossomos. Ele usou o termo *gene*: "o hipotético material de transporte de uma característica hereditária definida". Ninguém era então capaz de enxergar esses genes hipotéticos, mas, sem dúvida, esse momento não estaria longe. As observações microscópicas tornavam possível estimar seu tamanho: talvez cem ou 150 distâncias atômicas; talvez mil átomos ou menos. Ainda assim, de algum modo essas entidades devem encapsular o padrão completo de uma criatura viva — uma mosca ou um rododendro, um camundongo ou um humano. E precisamos entender esse padrão como um objeto quadridimensional: a estrutura do organismo durante a totalidade de seu desenvolvimento ontogenético, cada estágio do embrião até o adulto.

Na busca por um indício da estrutura molecular do gene, pareceu natural voltar-se para as mais organizadas formas da matéria, os cristais. Os sólidos em forma cristalina têm uma permanência relativa; podem começar com um pequeno germe e construir estruturas cada vez maiores; e a mecânica quântica estava começando a proporcionar um entendimento mais profundo das forças envolvidas em sua associação. Mas Schrödinger teve a sensação de que havia algo faltando. Os cristais são ordenados *demais* — construídos de acordo com "a maneira comparativamente simplória da repetição da mesma estrutura em três direções, de novo e de novo". Por mais que pareçam elaborados, os sólidos cristalinos contêm apenas alguns poucos tipos de átomos. A vida precisa depender de um nível maior de complexidade, uma estrutura sem repetição previsível, argumentou ele. Schrödinger inventou um termo: *cristais aperiódicos*. Esta era a sua hipótese: *Acreditamos que um gene — ou talvez toda a fibra cromossômica — seja um sólido aperiódico*.[30] Não era fácil enfatizar suficientemente a glória dessa diferença entre periódico e aperiódico:

> A diferença em termos de estrutura é do mesmo tipo que aquela existente entre um papel de parede comum, no qual o mesmo padrão é repetido de novo e de novo com periodicidade regular, e uma obra de arte do bordado, como uma tapeçaria de Rafael, que não apresenta uma repetição simplória, e sim um desenho elaborado, coerente e *pleno de significado*.31

Alguns dos leitores que mais o admiravam, como Léon Brillouin, físico francês que tinha se mudado recentemente para os Estados Unidos, disseram que Schrödinger era inteligente demais para ser totalmente convincente, apesar de demonstrarem em suas próprias obras o quanto estavam convencidos. Brillouin em especial ficou impressionado com a comparação com os cristais, com sua estrutura elaborada e inanimada. Os cristais são dotados de certa capacidade de autorreparo, destacou ele — sob estresse, seus átomos podem se transferir para novas posições em nome do equilíbrio. Isso pode ser compreendido em termos de termodinâmica e, agora, de mecânica quântica. O autorreparo no organismo é muito mais exaltado: "O organismo vivo cicatriza suas próprias feridas, cura suas doenças e pode reconstruir grandes partes de sua estrutura quando estas são destruídas por algum acidente. Trata-se do comportamento mais notável e inesperado".[32] Ele também seguiu Schrödinger no uso da entropia para ligar as menores e maiores escalas.

> A Terra não é um sistema fechado, e a vida se alimenta de energia e entropia negativa que vazam para dentro do sistema da Terra. […] O ciclo segue da seguinte maneira: primeiro, a criação de equilíbrios instáveis (combustíveis, alimento, quedas-d'água etc.); então o uso dessas reservas por parte de todas as criaturas vivas.

As criaturas vivas confundem a computação habitual da entropia. De uma maneira mais geral, o mesmo ocorre com a informação. "Tomemos um exemplar do *New York Times*, o livro sobre a cibernética e um peso equivalente de sobras de papel", sugeriu Brillouin. "Eles apresentam a mesma entropia?" Se os estamos usando para abastecer uma fornalha, sim. Mas não para um leitor. Há entropia na disposição das manchas de tinta.

Por esse motivo, os próprios físicos se dão ao trabalho de transformar a entropia negativa em informação, disse Brillouin. A partir das observações e medidas, o físico deriva as leis científicas. Com essas leis, as pessoas criam máquinas jamais vistas na natureza, usando as estruturas mais improváveis. Ele escreveu isso em 1950, quando estava deixando Harvard para se juntar à ibm Corporation em Poughkeepsie.[33]

Não foi o fim do demônio de Maxwell — longe disso. O problema não pôde ser realmente solucionado, nem era possível banir para sempre o demônio na ausência de um entendimento mais aprofundado de um domínio bem distante da termodinâmica: a computação mecânica. Tempos depois, Peter Landsberg escreveu seu obituário da seguinte maneira: “O demônio de Maxwell morreu aos 62 anos (quando surgiu um estudo de Leó Szilárd), mas continua a assombrar os castelos da física como um espírito inquieto e adorável”.[34]

# 10. O código da própria vida
## (*O organismo está inscrito no ovo*)

> *Aquilo que jaz no coração de cada ser vivo não é uma chama, nem um hálito quente nem uma "faísca de vida". É a informação, palavras, instruções. Se quiser uma metáfora, não pense em fogos, faíscas ou hálitos. Pense em vez disso num bilhão de caracteres distintos gravados em tabuletas de cristal.*
>
> Richard Dawkins, 19861

Os cientistas amam suas partículas fundamentais. Se determinadas características são transmitidas de uma geração à seguinte, tais características devem assumir alguma forma primordial ou ter algo que as transporte. Daí deriva-se a suposta partícula do protoplasma. "O biólogo deve ter o direito de fazer o mesmo uso científico da imaginação que é permitido ao físico", explicou a *The Popular Science Monthly* em 1875. "Se um deles pode ter seus átomos e suas moléculas, o outro precisa ter suas unidades fisiológicas, suas moléculas plásticas, suas 'plastículas'."[2]

O termo *plastícula* não emplacou e, fosse como fosse, quase todos tinham uma ideia errada a respeito da hereditariedade. Assim, em 1910, um botânico dinamarquês, Wilhelm Johannsen, inventou conscientemente a palavra *gene*. Ele estava se esforçando para corrigir certa mitologia bastante difundida e pensou que uma palavra pudesse ajudar. O mito era o seguinte: as "qualidades pessoais" seriam transmitidas dos pais à prole. Essa é "a mais ingênua e antiga concepção da hereditariedade",[3] disse Johannsen num discurso à Sociedade Americana de Naturalistas. Era compreensível. Se pai e filha são gordos, as pessoas poderiam se sentir tentadas a pensar que a gordura dele levou à dela, ou que ele teria transmitido a ela tal característica. Mas isso é um engano. Como declarou Johannsen:

> As *qualidades pessoais* de qualquer organismo individual não são de maneira nenhuma causadoras das qualidades de seus descendentes; mas as qualidades do ancestral e do descendente são igualmente determinadas pela natureza das "substâncias sexuais" — ou seja, os gametas — a partir das quais eles se desenvolveram.

Aquilo que é herdado é mais abstrato, algo de natureza mais ligada à potencialidade.

Para afastar o raciocínio falacioso, ele propôs uma nova terminologia, começando com o *gene*: "nada além de uma palavra bastante aplicável, facilmente combinada a outras".[a] Pouco importava que ninguém, nem mesmo ele, soubesse o que era um gene de fato; "pode ser mais útil como expressão para os 'fatores-unidade', 'elementos' ou 'alelomorfos'. […] Quanto à natureza dos 'genes', esta ainda não tem valor para a proposição de uma hipótese". Os anos de pesquisa de Gregor Mendel com as ervilhas verdes e amarelas mostravam que algo do tipo necessariamente existiria. Cores e outras características variam de acordo com muitos fatores, como temperatura e conteúdo do solo, mas *alguma coisa* era preservada na íntegra; ela não se misturava nem se tornava difusa; precisava ser quantizada.[4] Mendel tinha descoberto o gene, embora não o tivesse nomeado. Para ele, tratava-se mais de uma conveniência algébrica do que de uma entidade física.

Quando Schrödinger contemplou o gene, viu-se diante de um problema. Como poderia tal "minúscula migalha de material" conter todo o complexo código-instrução que determina o elaborado desenvolvimento do organismo? Para resolver a dificuldade, Schrödinger invocou um exemplo que não vinha da mecânica de onda nem da física teórica, e sim da telegrafia: o código Morse. Ele destacou que dois sinais, ponto e traço, podiam ser combinados em grupos bem organizados para gerar toda a linguagem humana. Ele sugeriu que também os genes deveriam empregar um código: "O código em miniatura deve corresponder precisamente a um plano bastante complicado e específico de desenvolvimento, e deve conter de alguma forma os meios de colocá-lo em ação".[5]

Códigos, instruções, sinais — toda essa linguagem, que cheirava às máquinas e à engenharia, impôs-se aos biólogos como os normandos franceses que invadiram os ingleses medievais. Nos anos 1940, o jargão transmitia uma sensação de artificialidade, mas isso logo passou. A nova biologia molecular começou a examinar o armazenamento e a transferência da informação. Os

biólogos eram capazes de contar em termos de “bits”. Alguns dos físicos que agora se voltavam para a biologia viram a informação exatamente como o conceito necessário para debater e medir as qualidades biológicas para as quais não havia ferramentas disponíveis: complexidade e ordem, organização e especificidade.[6] Henry Quastler, de Viena, um dos primeiros radiologistas, então na Universidade de Illinois, estava aplicando a teoria da informação tanto à biologia como à psicologia; ele estimou que um aminoácido traria o conteúdo informacional de uma palavra, e uma molécula de proteína conteria tanta informação quanto um parágrafo. Seu colega Sidney Dancoff sugeriu a ele em 1950 que um fio cromossômico seria “uma fita linear de informação codificada”:[7]

> O fio inteiro constitui uma “mensagem”. Essa mensagem pode ser repartida em subunidades que podem ser chamadas de “parágrafos”, “palavras” etc. A menor unidade de uma mensagem deve ser talvez um interruptor capaz de tomar uma decisão do tipo sim-não.

Em 1952, Quastler organizou um simpósio sobre a teoria da informação na biologia, com o único propósito de explorar essas novas ideias — entropia, ruído, mensagens, diferenciação — em áreas abrangendo desde a estrutura celular e a catálise enzimática aos “biossistemas” de larga escala. Um pesquisador construiu uma estimativa do número de bits representados por uma única bactéria: chegava a $10^{13.8}$ (Mas esse era o número necessário para descrever toda a sua estrutura molecular em três dimensões — talvez houvesse uma descrição mais econômica.) O crescimento da bactéria poderia ser analisado como uma redução da entropia em sua parte do universo. O próprio Quastler quis medir os organismos superiores em termos de seu conteúdo informacional: não em termos de átomos (“isso seria um grande desperdício”), mas em termos de “instruções hipotéticas para a construção de um organismo”.[9] Isso o levou, é claro, aos genes.

Todo o conjunto de instruções — situadas “em algum lugar nos cromossomos” — é o genoma. Trata-se de um “catálogo”, disse ele, contendo, se não toda ela, ao menos “uma fração substancial de toda a informação a respeito

de um organismo adulto". Ele enfatizou, no entanto, o quão pouco era conhecido a respeito dos genes. Seriam eles entidades físicas distintas ou se sobrepunham? Seriam "fontes independentes de informação" ou afetavam uns aos outros? Quantos haveria? Ao multiplicar todos esses fatores desconhecidos, ele chegou a um resultado:

> a complexidade essencial tanto de uma única célula como de um humano inteiro não pode ser maior do que 1012 nem menor do que 105 bits; trata-se de uma estimativa extremamente grosseira, mas é melhor do que nenhuma estimativa.10

Tais esforços grosseiros não levaram a nada, diretamente. A teoria da informação de Shannon não podia ser enxertada de forma integral à biologia. Isso pouco importava. Uma mudança sísmica já estava em andamento: do pensamento em termos de energia para o pensamento em termos de informação.

Do outro lado do Atlântico, uma estranha e breve carta chegou à sede da revista *Nature*, em Londres, na primavera de 1953, com uma lista de signatários de Paris, Zurique, Cambridge e Genebra, incluindo principalmente Boris Ephrussi, o primeiro professor de genética da França.[11] Os cientistas se queixavam "do que nos parece ser um crescimento algo caótico no vocabulário técnico". Em especial, tinham visto a recombinação genética nas bactérias descrita como "transformação", "indução" e até "infecção". Propuseram uma simplificação do problema:

> Como solução para essa situação confusa, gostaríamos de sugerir o uso do termo "informação interbacteriana" como substituto para os acima citados. Ele não implica necessariamente a transferência de substâncias materiais, e reconhece a possível importância futura da cibernética no nível bacteriano.

Isso foi o produto de um almoço regado a vinho em Lucarno, Suíça — cuja intenção era ser uma piada, mas que pareceu inteiramente plausível para os editores da *Nature*, que o publicaram a seguir.[12] O mais jovem dos participantes

do almoço e signatários era um americano de 25 anos chamado James Watson.

A edição seguinte da *Nature* trouxe outra carta de Watson, em parceria com seu colaborador, Francis Crick. Ela os tornou famosos. Eles tinham encontrado o gene.

Havia emergido um consenso segundo o qual os genes, fossem o que fossem e como funcionassem, seriam provavelmente proteínas: gigantescas moléculas orgânicas feitas de longas cadeias de aminoácidos. Num raciocínio alternativo, alguns geneticistas dos anos 1940 tinham se concentrado em vez disso nos simples vírus — fagos. Mas os experimentos envolvendo a hereditariedade nas bactérias tinham convencido alguns pesquisadores, entre eles Watson e Crick, de que os genes poderiam estar numa substância diferente, a qual, por alguma razão, era encontrada no núcleo de cada célula, tanto das plantas como dos animais, e inclusive nos fagos.[13] Essa substância era um ácido nucleico, particularmente o ácido desoxirribonucleico, ou dna. Aqueles que trabalhavam com os ácidos nucleicos, em geral químicos, não tinham sido capazes de aprender muito a respeito deles, exceto pelo fato de que suas moléculas eram compostas a partir de unidades menores, chamadas nucleotídeos. Watson e Crick pensaram que esse deveria ser o segredo, e correram para desvendar sua estrutura no Laboratório Cavendish, em Cambridge. Eles não conseguiam enxergar essas moléculas — eram capazes apenas de buscar pistas nas sombras projetadas pela difração de raios X. Por outro lado, sabiam muito a respeito das subunidades. Cada nucleotídeo continha uma "base", e havia apenas quatro bases diferentes, designadas A, C, G e T. Estas apareciam de acordo com proporções bastante previsíveis. Deveriam ser as letras do código. O restante foi tentativa e erro, estimulados pela imaginação.

Aquilo que eles descobriram se tornou um ícone: a dupla hélice, anunciada nas capas de revistas, emulada em esculturas. O dna é formado por duas longas sequências de bases, como cifras codificadas num alfabeto de quatro letras, cada sequência complementar à outra, enroladas juntas. Quando abertos, cada fio deve servir como modelo para a replicação. (Seria o "cristal aperiódico" de Schrödinger? Em termos de estrutura física, a difração de raios X mostrou que o dna era absolutamente regular. A aperiodicidade jaz no nível abstrato da

linguagem — a sequência de “letras”.) No bar local, Crick, animado, anunciava a quem se dispusesse a ouvir que eles tinham descoberto “o segredo da vida”. Já na nota de uma página que escreveram para a *Nature*, eles se mostraram mais circunspectos. Encerraram com um comentário que foi descrito como “uma das afirmações mais tímidas da história da ciência”:[14]

> Não escapou à nossa atenção o fato de que o par específico que postulamos sugere diretamente um possível mecanismo para a cópia do material genético.[15]

Eles deixaram a timidez de lado num outro estudo publicado algumas semanas depois. Em cada cadeia, a sequência de bases parecia ser irregular — qualquer sequência era possível, observaram. “Segue-se que, numa molécula longa, muitas permutações diferentes são possíveis.”[16] Muitas permutações — muitas mensagens possíveis. O comentário seguinte fez soar os alarmes em ambos os lados do Atlântico: “Portanto, parece provável que a sequência precisa das bases seja o código que contém a informação genética”. Ao empregar esses termos, *código* e *informação*, eles não estavam mais falando metaforicamente.

As macromoléculas da vida orgânica encarnam a informação numa estrutura intrincada. Uma única molécula de hemoglobina compreende quatro cadeias de polipeptídeos, duas com 141 aminoácidos e duas com 146, numa rigorosa sequência linear, ligadas e dobradas juntas. Átomos de hidrogênio, oxigênio, carbono e ferro poderiam se misturar durante toda a existência do universo sem jamais apresentar uma probabilidade maior de formar a hemoglobina do que a probabilidade de um chimpanzé datilografar as obras de Shakespeare. Sua gênese exige energia — elas são formadas com base em partes mais simples, menos padronizadas, e a lei da entropia se aplica nesse caso. Para a vida na Terra, a energia chega sob a forma de fótons vindos do Sol. A informação chega por meio da evolução.

A molécula do dna era especial: a informação que ela contém é sua única

função. Ao reconhecer isso, os microbiologistas se voltaram para o problema de decifrar o código. Crick, que fora inspirado a trocar a física pela biologia ao ler *O que é a vida?*, de Schrödinger, enviou ao autor uma cópia do estudo, mas não recebeu resposta.

Por outro lado, George Gamow viu o relatório de Watson-Crick quando estava visitando o Laboratório de Radiação em Berkeley. Gamow era um cosmólogo nascido na Ucrânia — um dos pensadores originais por trás da teoria do big bang — e sabia reconhecer uma grande ideia ao vê-la diante de si. Ele mandou uma carta:

> Caros doutores Watson & Crick,
>
> Sou um físico, não um biólogo. […] Mas fiquei muito entusiasmado com o artigo dos senhores publicado na edição de 30 de maio da *Nature*, e creio que ele traz a biologia para o grupo das ciências "exatas". […] Se o ponto de vista dos senhores estiver correto, cada organismo será caracterizado por um longo número escrito num sistema quadrucal (?) com os números 1, 2, 3, 4 representando diferentes bases. […] Isso abriria uma possibilidade muito animadora de pesquisa teórica com base na matemática combinatória e na teoria dos números! […] Me parece que isso pode ser feito. O que os senhores acham?17

Durante a década seguinte, a luta para compreender o código genético consumiu um conjunto variado das melhores mentes do mundo, muitas das quais, como Gamow, careciam de qualquer conhecimento útil na área da bioquímica. Para Watson e Crick, o problema inicial dependera de um mar de particularidades especializadas: elos de hidrogênio, pontes de sal, cadeias de açúcar-fosfato com resíduos de desoxirribofuranose. Eles tiveram de aprender como íons inorgânicos poderiam ser organizados em três dimensões; tiveram de calcular ângulos exatos de elos químicos. Fizeram modelos usando papelão e pratos de estanho. Àquela altura, no entanto, o problema estava sendo transformado num jogo abstrato de manipulação simbólica. Intimamente ligado ao dna, seu primo de cadeia única, o rna, parecia desempenhar o papel de mensageiro ou tradutor. Gamow afirmou explicitamente que as questões químicas subjacentes pouco importavam. Ele e outros que o seguiram compreendiam a situação como um jogo matemático — um mapeamento entre

mensagens de alfabetos diferentes. Se esse era um problema de codificação, as ferramentas de que eles necessitavam viriam da matemática combinatória e da teoria da informação. Além dos físicos, eles consultaram analistas criptográficos.

O próprio Gamow começou a desenhar impulsivamente um código combinatório. Na perspectiva dele, o problema estava em passar das quatro bases do dna para os vinte aminoácidos conhecidos das proteínas — um código, portanto, com quatro letras e vinte palavras.[b] A matemática combinatória pura o fez pensar em trios de nucleotídeos: palavras de três letras. Ele chegou a uma solução detalhada — que logo se tornou conhecida como seu "código diamante" — e a publicou na *Nature* poucos meses depois. Alguns meses mais tarde, Crick mostrou que aquilo estava completamente errado: dados experimentais envolvendo sequências de proteínas excluíram a possibilidade do código diamante. Mas Gamow não pretendia desistir. A ideia dos trios era sedutora. Um inesperado grupo de cientistas participou da caçada: Max Delbrück, ex-físico que estudava biologia na Caltech; seu amigo Richard Feynman, teórico quântico; Edward Teller, famoso criador da bomba; outro ex-aluno de Los Alamos, o matemático Nicholas Metropolis; e Sydney Brenner, que se juntou a Crick no Cavendish.

Todos eles tinham ideias diferentes quanto à codificação. Matematicamente, o problema parecia desafiador até mesmo para Gamow. "Como no trabalho de decifrar as mensagens inimigas durante a guerra", escreveu ele em 1954,

> o sucesso depende do comprimento disponível do texto codificado. Como qualquer oficial do serviço de informações e espionagem pode afirmar, o trabalho é muito árduo, e seu sucesso depende principalmente da sorte. […] Temo que o problema não possa ser solucionado sem a ajuda do computador eletrônico.18

Gamow e Watson decidiram transformar o grupo num clube: o Clube das Gravatas de rna, contendo exatamente vinte membros. Cada um deles recebeu uma gravata de lã nas cores verde e preta, feita a pedido de Gamow por uma camisaria de Los Angeles. Deixando de lado os jogos, Gamow queria criar um canal de comunicação mais ágil do que as publicações científicas. Na ciência, as

notícias nunca circulavam com rapidez. “Muitos dos conceitos essenciais foram propostos pela primeira vez em discussões informais em ambos os lados do Atlântico, sendo então rapidamente transmitidas aos entendidos no assunto”, afirmou outro membro, Gunther Stent, “por meio dos rumores e boatos entre particulares.”[19] Houve falsos começos, palpites extravagantes e impasses, e a comunidade bioquímica já estabelecida nem sempre acompanhava tudo de bom grado.

“As pessoas não *acreditavam* necessariamente no código”, disse Crick mais tarde. “A maioria dos bioquímicos simplesmente não estava pensando de acordo com essa lógica. Tratava-se de uma ideia completamente nova e, além disso, estávamos inclinados a crer que ela seria simplificada em demasia.”[20] Eles pensaram que a maneira de compreender as proteínas seria por meio do estudo dos sistemas enzimáticos e da associação das unidades de peptídeos. O que parecia bem razoável.

> Eles pensaram que a síntese proteica não poderia ser uma simples questão de codificar alguma coisa sob outra forma; aquilo soava demasiadamente como algo que um *físico* tivesse inventado. Para *eles* não parecia ser bioquímica. […] Assim, houve certa resistência a ideias simples como a de três nucleotídeos codificando um aminoácido; as pessoas encaravam aquilo como um tipo de trapaça.

Gamow, no outro extremo, estava deixando de lado os detalhes bioquímicos para levar adiante uma ideia de chocante simplicidade: a de que todo organismo vivo seria determinado por “um número longo escrito num sistema de quatro dígitos”.[21] Ele chamou isso de “número da besta” (do Apocalipse). Se duas bestas têm o mesmo número, são gêmeas idênticas.

Àquela altura a palavra *código* já estava tão profundamente inserida no debate que as pessoas quase nem paravam para pensar no quão extraordinário era encontrar algo do tipo — símbolos abstratos representando outros símbolos abstratos arbitrariamente diferentes — no funcionamento da química, no nível das moléculas. O código genético desempenhava uma função que mostrava uma incrível semelhança com a do código metamatemático inventado por Gödel para seus propósitos filosóficos. O código de Gödel substitui expressões matemáticas

e operações por números simples; o código genético usa trios de nucleotídeos para representar aminoácidos. Douglas Hofstadter foi o primeiro a fazer essa conexão de maneira explícita, nos anos 1980: “entre o complexo maquinário de uma célula viva que permite a autorreplicação da molécula de dna e o inteligente maquinário de um sistema matemático que permite a uma fórmula que diga coisas a seu próprio respeito”.[22] Em ambos os casos, ele enxergou um tortuoso ciclo de retroalimentação. “Ninguém tinha nem mesmo suspeitado que um conjunto de substâncias químicas seria capaz de servir como *código* para outro conjunto”, escreveu Hofstadter.

> De fato, a própria ideia é algo capaz de nos deixar perplexos: se existe um código, então quem o inventou? Que tipos de mensagens estão escritos nele? Quem as escreve? Quem as lê?

O Clube das Gravatas reconheceu que o problema não estava apenas no armazenamento, mas também na transferência de informação. O dna desempenha duas funções diferentes. Primeiro, ele preserva a informação, copiando a si mesmo de geração em geração, abrangendo eras — uma Biblioteca de Alexandria que mantém seus dados a salvo ao produzir bilhões de cópias de si mesma. Independentemente da notável dupla hélice, esse armazenamento de informação é unidimensional: uma série de elementos dispostos em linha. No dna humano, as unidades de nucleotídeos somam mais de 1 bilhão, e essa detalhada mensagem na ordem do gigabit precisa ser conservada com perfeição, ou quase isso. Segundo, no entanto, o dna também envia essa informação para seu exterior, para que seja empregada na construção do organismo. Os dados armazenados num fio unidimensional precisam florescer em três dimensões. Essa transferência de informação ocorre por meio de mensagens que passam dos ácidos nucleicos para as proteínas. Assim, o dna não apenas reproduz a si mesmo; em paralelo, ele dita a fabricação de algo totalmente diferente. Essas proteínas, com sua enorme complexidade, servem como material para o corpo, os tijolos e a argamassa, e também como sistema de controle, o encanamento e a fiação e os sinais químicos que controlam o crescimento.

A replicação do dna é um processo de cópia de informação. A fabricação de

proteínas é a transferência da informação: o envio de uma mensagem. Os biólogos àquela altura já conseguiam enxergar isso com clareza, porque a *mensagem* tinha sido bem definida e abstraída de um substrato particular. Se as mensagens podiam ser carregadas por ondas sonoras ou impulsos elétricos, por que não poderiam ser transportadas pelos processos químicos?

Gamow enquadrou a questão com simplicidade: “O núcleo de uma célula viva é um armazém de informações”.[23] Além disso, comentou ele, é um transmissor de informação. A continuidade de toda a vida emana desse “sistema de informação”; o verdadeiro estudo da genética é “a linguagem das células”.

Quando o código diamante de Gamow se mostrou equivocado, ele tentou um “código triangular”, e mais variações se seguiram — todas erradas. Os trios de códons continuaram ocupando uma posição central, e uma solução parecia estar extremamente próxima, mas ainda fora do alcance. Um dos problemas estava em como a natureza pontuava as cadeias aparentemente contínuas de dna e rna. Ninguém conseguia enxergar um equivalente biológico para as pausas que separam as letras no código Morse, nem os espaços que separam as palavras. Talvez cada base ao fim de uma sequência de quatro bases representasse uma vírgula. Ou talvez (sugeriu Crick) as vírgulas fossem desnecessárias se alguns trios fizessem “sentido” enquanto outros não tivessem “significado”.[24] Mas talvez uma espécie de reprodutor de fita precisasse apenas começar num determinado ponto, contando os nucleotídeos três a três. Entre os matemáticos atraídos pelo problema estavam os membros de um grupo do novo Laboratório de Propulsão a Jato em Pasadena, na Califórnia, designado para o estudo da pesquisa aeroespacial. Para eles, aquilo parecia ser um problema clássico da teoria da codificação de Shannon: “a sequência de nucleotídeos como uma mensagem infinita, escrita sem pontuação, a partir da qual uma determinada porção finita poderia ser decodificável na forma de aminoácidos pela inserção adequada de vírgulas”.[25] Eles construíram um *dicionário* de códigos. Para eles, o problema parecia estar nos *erros de impressão*.

A bioquímica era importante. Nem que se reunissem todos os analistas criptográficos do mundo, distantes das placas de Petri e dos laboratórios, seria possível produzir uma dedução a partir do universo de respostas possíveis.

Quando o código genético foi desvendado, no início dos anos 1960, ele se revelou cheio de redundâncias. Boa parte do mapeamento dos nucleotídeos em aminoácidos parecia arbitrária — muito distante do padrão organizado de qualquer uma das propostas de Gamow. Alguns aminoácidos correspondiam a apenas um códon, outros a dois, quatro ou seis. Partículas chamadas ribossomos percorriam a cadeia de rna e a traduziam, ao ritmo de três bases por vez. Alguns códons são redundantes; outros funcionam de fato como pontos de partida e sinais de pare. A redundância serve exatamente ao propósito que um teórico da informação teria esperado. Ela proporciona a tolerância aos erros. O ruído afeta as mensagens biológicas assim como ocorre com as outras. Erros no dna — falhas de impressão — consistem em mutações.

Mesmo antes que se chegasse à resposta exata, Crick cristalizou seus princípios fundamentais numa afirmação que ele chamou (o nome dura até hoje) de Dogma Central. Trata-se de uma hipótese a respeito da direção da evolução e da origem da vida, e é comprovável nos termos da entropia de Shannon nos possíveis alfabetos químicos:

> Uma vez que a "informação" é transmitida para a proteína ela *não pode mais sair*. Numa descrição mais detalhada, a transferência da informação de ácido nucleico para ácido nucleico — ou de ácido nucleico para proteína — pode ser possível, mas a transferência de proteína para proteína — ou de proteína para ácido nucleico — é impossível. Nesse caso a informação significa a determinação *precisa* de uma sequência.26

A mensagem genética é independente e impenetrável: nenhuma informação dos eventos exteriores pode alterá-la.

A informação nunca tinha sido escrita numa escala tão pequena. Eis a escritura na proporção do angstrom, publicada onde ninguém pode ver, o Livro da Vida no olho da agulha.

*Omne vivum ex ovo*. "A descrição completa do organismo já está escrita no ovo",[27] disse Sydney Brenner a Horace Freeland Judson, o grande cronista da

biologia molecular, em Cambridge, no inverno de 1971.

> Dentro de cada animal existe uma descrição interna deste animal. […] A dificuldade está na imensidão dos detalhes que terão de ser levados em consideração. A linguagem de descrição mais econômica é a molecular, a descrição genética que já está ali. Ainda não sabemos, nessa linguagem, quais são os *nomes*. O que é que o organismo nomeia *para si*? Não podemos dizer que o organismo tenha, por exemplo, um nome para um dedo. Nada garante que, ao fazer uma mão, a explicação possa ser dada nos termos que usamos para fazer uma luva.

Brenner estava num clima pensativo, bebendo xerez antes do jantar no King's College. Quando começou a trabalhar com Crick, menos de duas décadas antes, a biologia molecular não tinha nem mesmo um nome. Duas décadas mais tarde, no fim dos anos 1990, cientistas do mundo todo se dedicariam ao mapeamento de todo o genoma humano: possivelmente 20 mil genes, 3 bilhões de pares de bases. Qual foi a mudança mais fundamental? Tratou-se de um salto no enquadramento, da energia e da matéria para a informação.

"Toda a bioquímica até os anos 1950 se preocupou com a origem da energia e dos materiais para as funções celulares", disse Brenner.

> Os bioquímicos pensaram apenas no fluxo de energia e no fluxo da matéria. Os biólogos moleculares começaram a falar no fluxo da informação. Retrospectivamente, podemos ver que a dupla hélice trouxe a percepção de que a informação nos sistemas biológicos poderia ser estudada de uma maneira semelhante àquela aplicada à energia e à matéria. […]

"Ouça", disse ele a Judson, "permita-me dar-lhe um exemplo. Se procurássemos um biólogo vinte anos atrás e perguntássemos a ele como se faz uma proteína, ele teria dito: 'Céus, trata-se de uma questão terrível, não sei…, mas a pergunta importante é de onde vem a energia para fazer a ligação peptídica'. Já o biólogo molecular poderia responder: 'Esse não é o problema, o que importa é onde obter as instruções para montar a sequência de aminoácidos, e ao diabo com a energia; a energia pode cuidar de si mesma'."

Àquela altura, o jargão técnico dos biólogos incluía as palavras *alfabeto*,

*biblioteca, edição, revisão, transcrição, tradução, falta de sentido, sinônimo* e *redundância*. A genética e o dna tinham atraído a atenção não apenas dos criptógrafos como também dos linguistas clássicos. Certas proteínas, capazes de alternar de um estado relativamente estável a outro, foram identificadas com os relés, aceitando comandos cifrados e transmitindo-os aos seus vizinhos — estações alternadoras em redes tridimensionais de comunicação. Brenner, olhando para o futuro, concluiu que o foco se voltaria também para a ciência da computação. Ele vislumbrou uma ciência — embora esta ainda não tivesse um nome — do caos e da complexidade. “Creio que nos próximos 25 anos teremos de ensinar aos biólogos outra nova linguagem”, afirmou. “Ainda não sei como ela se chama; ninguém sabe. Mas creio que aquilo que estamos buscando seria o problema fundamental da teoria dos sistemas elaborados.” Ele se lembrou de John von Neumann, na aurora da teoria da informação e da cibernética, propondo que os processos biológicos e mentais fossem entendidos nos termos do funcionamento de uma máquina computadora. “Em outras palavras”, disse Brenner, “se uma ciência como a física funciona em termos de leis, ou uma ciência como a biologia molecular é agora descrita em termos de mecanismos, talvez agora estejamos começando a pensar em termos de algoritmos. Receitas. Procedimentos.”

Àqueles que desejam saber o que é um camundongo, é melhor perguntar, em vez disso, como seria possível construir um camundongo. Como o camundongo constrói a si mesmo? Os genes do roedor ativam e desativam uns aos outros, realizando uma computação passo a passo. “Tenho a sensação de que essa nova biologia molecular precisa ir nessa direção — explorando os computadores lógicos de alto nível, os programas, os algoritmos do desenvolvimento. […]”

“Seria desejável fundir as duas coisas — ser capaz de circular entre o hardware molecular e o software *lógico* da maneira como tudo é organizado, sem ter a sensação de que seriam ciências diferentes.”

Mesmo a essa altura — ou especialmente a essa altura — o gene não era aquilo que parecia ser. Depois de começar como o palpite de um botânico e uma

conveniência algébrica, ele foi rastreado de volta ao cromossomo e revelado sob a forma de fitas moleculares enroladas. Foi decodificado, enumerado e catalogado. E então, no grande momento da biologia molecular, a ideia do gene se libertou das amarras mais uma vez.

Quanto mais se sabia sobre o gene, mais difícil parecia sua definição. Seria o gene nada mais do que o dna, ou menos do que ele? Seria *feito* de dna, ou algo *transportado* no dna? Estaria devidamente estabelecido nos termos de algo material de fato?

Nem todos concordavam que havia um problema. Gunther Stent declarou em 1977 que um dos grandes triunfos da área tinha sido a "identificação inequívoca" do gene mendeliano como um determinado comprimento de dna. "É nesse sentido que todos aqueles que trabalham com a genética empregam atualmente o termo 'gene'",[28] escreveu ele. Em termos técnicos e sucintos: "O gene é, na verdade, um conjunto linear de nucleotídeos de dna que determina um conjunto linear de aminoácidos proteicos". Foi Seymour Benzer, segundo Stent, quem estabeleceu isso definitivamente.

Mas o próprio Benzer não tinha se mostrado tão seguro. Ele argumentou já em 1957 que o gene clássico estava morto. Tratava-se de um conceito que tentava servir a três propósitos ao mesmo tempo — como unidade de recombinação, de mutação e de função —, e ele já tinha fortes motivos para suspeitar que fossem incompatíveis. Uma fita de dna transporta muitos pares de bases, como contas num colar ou letras numa frase — como objeto físico, não seria possível chamá-lo de unidade elementar. Benzer ofereceu um grupo de novos nomes de partículas: "récon", para a menor unidade que poderia ser intercambiada pela recombinação; "múton", para a menor unidade de mudança mutacional (um único par de bases); e "cístron" para a unidade da função — a qual, por sua vez, ele próprio reconheceu que era difícil de definir. "Depende do nível de função que desejamos significar", escreveu ele — talvez apenas a especificação de um aminoácido, ou talvez toda uma série de passos "levando a *um* determinado efeito final fisiológico".[29] O *gene* não ia desaparecer, mas havia muito peso para ser suportado por uma única palavrinha.

Parte do que estava ocorrendo era uma colisão entre biologia molecular e

biologia evolucionária, conforme estudadas em campos que iam da botânica à paleontologia. Tratava-se de uma das colisões mais frutíferas na história da ciência — em pouco tempo, nenhum dos dois lados era capaz de avançar sem o outro — mas, no percurso, algumas faíscas se acenderam. Um bom número delas foi provocado por um jovem zoólogo de Oxford, Richard Dawkins. Para Dawkins, parecia que seus colegas estavam encarando a vida com uma perspectiva invertida.

À medida que a biologia molecular aperfeiçoou seu conhecimento a respeito dos detalhes do dna e se tornou mais habilidosa na manipulação desses prodígios moleculares, era natural enxergá-los como a resposta para a grande questão da vida: como os organismos se reproduzem? Usamos o dna, assim como usamos os pulmões para respirar e os olhos para ver. Nós os *usamos*. Trata-se de "uma atitude profundamente equivocada",[30] escreveu Dawkins. "É uma completa inversão." O dna veio primeiro — bilhões de anos à frente — e o dna *vem* primeiro, defendeu ele, quando a vida é vista da perspectiva correta. Encarados dessa maneira, os genes são o foco, o sine qua non, os astros do espetáculo. Em seu primeiro livro — publicado em 1976, destinado a um público amplo, com o provocante título de *O gene egoísta* —, ele deu início a décadas de debate ao declarar: "Nós somos máquinas de sobrevivência — robôs cegamente programados para preservar as moléculas egoístas conhecidas como 'genes'".[31] Ele disse que essa era uma verdade que ele conhecia fazia anos.

Os genes, e não os organismos, são as verdadeiras unidades da seleção natural. Eles começaram como "replicadores" — moléculas formadas acidentalmente no caldo primordial, com a incomum propriedade de fazerem cópias de si mesmas.

> Eles […] são mestres antigos na arte de sobreviver. Mas não espere encontrá-los no mar, flutuando à deriva; há muito que desistiram dessa liberdade altiva. Hoje em dia, eles se agrupam em colônias imensas, seguros no interior de gigantescos e desajeitados robôs, guardados do mundo exterior, e com ele se comunicam por caminhos indiretos e tortuosos, manipulando-o por controle remoto. Eles estão dentro do leitor e de mim. Eles nos criaram, o nosso corpo e a nossa mente, e a preservação deles é a razão última da nossa existência. Percorreram um longo caminho, esses replicadores. Agora, respondem pelo nome de genes, e nós somos suas máquinas de sobrevivência.[32]

Era certo que isso deixaria de cabelo em pé os organismos que se considerassem mais do que robôs. “O biólogo inglês Richard Dawkins me deixou de cabelos em pé recentemente”, escreveu Stephen Jay Gould em 1977, “com sua afirmação de que os próprios genes são unidades de seleção, e os indivíduos são apenas seus receptáculos temporários.”[33] Gould foi acompanhado por muitos. Falando em nome de diversos biólogos moleculares, Gunther Stent desmereceu Dawkins descrevendo-o como “um estudante do comportamento animal de 36 anos” e classificando-o na categoria “da antiga tradição pré-científica do animismo, de acordo com a qual os objetos naturais seriam dotados de alma”.[34]

O livro de Dawkins, porém, era brilhante e transformador. A obra estabelecia uma nova compreensão do gene, abrangendo múltiplas camadas. De início, a ideia do gene egoísta parecia um truque de perspectiva, ou uma piada. Samuel Butler dissera um século antes — sem afirmar ser o primeiro a fazê-lo — que uma galinha seria apenas a maneira encontrada pelo ovo de fazer outro ovo. Butler era bastante sério, a seu modo:

> Toda criatura deve ter permissão para “rodar” seu próprio desenvolvimento à sua própria maneira; a forma encontrada pelo ovo pode ser um jeito bastante oblíquo de fazer as coisas; mas é a *sua* maneira, da qual o homem, no geral, não tem grandes motivos para se queixar. Por que dizemos que a ave é considerada mais viva do que o ovo, e por que dizemos que é a galinha que põe o ovo, e não o ovo que põe a galinha, são questões que estão além do poder da explicação filosófica, mas talvez sejam mais passíveis de resposta se pensarmos na vaidade do homem, e em seu hábito, comprovado durante muitas eras, de ignorar tudo aquilo que não o lembre de si mesmo.35

Ele acrescentou: “Mas, talvez, no fim das contas, o verdadeiro motivo seja o fato de o ovo não cacarejar depois de ter posto a galinha”. Algum tempo depois, o molde de Butler, *X é apenas a forma com a qual Y produz outro X*, começou a reaparecer de variadas formas. “Um estudioso”, afirmou Daniel Dennett em 1995, “é apenas a forma encontrada por uma biblioteca de fazer outra biblioteca.”[36] Dennett era outro que não estava apenas brincando.

Butler foi presciente em 1878 ao caçoar de uma visão da vida centrada no

homem, mas ele tinha lido Darwin e podia ver que a criação toda não tinha sido desenhada em nome do *Homo sapiens*. “O antropocentrismo é um incapacitante vício do intelecto”,[37] apontou Edward O. Wilson um século mais tarde, mas Dawkins estava anunciando uma mudança de perspectiva ainda mais radical. Ele não estava apenas colocando de lado o humano (e a galinha), mas o organismo, em toda a sua variada glória. Como poderia a biologia *não* ser o estudo dos organismos? Ele só pôde subestimar a dificuldade ao escrever: “É necessário um esforço mental deliberado para voltar a colocar a biologia de cabeça para cima e para nos lembrarmos de que os replicadores vêm em primeiro lugar, não apenas na história como também em importância ”.[38]

Uma parte do propósito de Dawkins era explicar o altruísmo: um comportamento que vai contra os próprios interesses dos indivíduos. A natureza está cheia de exemplos de animais que arriscam a própria vida em nome de descendentes, primos ou colegas de clube genético. Além disso, eles partilham o alimento, cooperam na construção de colmeias e represas, protegem obstinadamente seus ovos. Para explicar tal comportamento — para explicar toda adaptação, aliás — é preciso perguntar aos detetives forenses: *cui bono*? Quem se beneficia quando um pássaro vê um predador e emite o alerta, avisando o grupo, mas, ao mesmo tempo, atraindo a atenção para si? É tentador pensar em termos do bem coletivo — da família, da tribo ou da espécie —, mas a maioria dos teóricos concorda que a evolução não funciona dessa maneira. A seleção natural quase nunca opera no nível dos grupos. Parece, no entanto, que muitas explicações se encaixam no devido lugar se pensamos no indivíduo empenhado em propagar seu conjunto particular de genes pelo futuro. Sua espécie partilha da maioria desses genes, é claro, e seus parentes compartilham um número ainda maior deles. Certamente o indivíduo não tem consciência de seus genes. Ele não está *tentando* fazer isso de forma intencional. Nem seria possível imputar uma intenção ao próprio gene — minúscula entidade descerebrada. Mas, como demonstrou Dawkins, funciona muito bem a inversão de perspectiva que nos leva a dizer que o gene trabalha no sentido de maximizar sua própria replicação. Um gene, por exemplo, “poderia assegurar a sua sobrevivência pela tendência a dotar com pernas compridas os corpos em que ele sucessivamente se encontrasse, ajudando-os a escapar de predadores”.[39] Um gene pode maximizar

seus próprios números ao dar a um organismo o impulso instintivo de sacrificar sua vida para salvar os filhotes: o gene em si, o conjunto particular de dna, morre com sua criatura, mas suas cópias sobrevivem. O processo é cego. Não há antecipação, nem intenção, nem conhecimento. Os genes também são cegos — "Não fazem planos de antemão",[40] segundo Dawkins. "Eles simplesmente *existem*, alguns mais numerosos do que outros — e isso é tudo."

A história da vida começa com o aparecimento acidental de moléculas complexas o bastante para servir como blocos de construção — os replicadores. O replicador é um transportador de informação. Ele sobrevive e se espalha fazendo cópias de si mesmo. As cópias devem ser coerentes e confiáveis, mas não precisam ser perfeitas. Pelo contrário, para que a evolução possa ocorrer, os erros precisam aparecer. Os replicadores podiam existir muito antes do dna, antes mesmo das proteínas. Num cenário proposto pelo biólogo escocês Alexander Cairns-Smith, os replicadores teriam aparecido em camadas pegajosas de cristais de argila: moléculas complexas de minerais de silicato. Em outros modelos, o parquinho evolucionário é o "caldo primordial" mais tradicional. Seja qual for o caso, algumas dessas macromoléculas portadoras de informação se desintegram mais rapidamente do que outras; algumas produzem cópias melhores ou piores; algumas têm o efeito químico de desfazer moléculas concorrentes. Absorvendo a energia dos fótons como os demônios de Maxwell em miniatura que são, as moléculas de ácido ribonucleico, ou rna, catalisam a formação de moléculas maiores e mais ricas em informação. O dna, minimamente mais estável, possui a capacidade dupla de copiar a si mesmo enquanto fabrica em paralelo outro tipo de molécula, e isso lhe confere uma vantagem especial. Ele é capaz de se proteger ao construir em torno de si uma concha de proteínas. Essa é a "máquina de sobrevivência" de Dawkins — primeiro as células, depois corpos cada vez maiores, com um crescente inventário de membranas e tecidos e membros e órgãos e habilidades. Eles são os requintados veículos dos genes, concorrendo contra outros veículos, convertendo energia e até processando informação. No jogo da sobrevivência, alguns veículos têm mais destreza, capacidade de manobra e alcance de propagação do que outros.

Levou algum tempo, mas a perspectiva centrada no gene que tinha por base a informação conduziu a um novo tipo de trabalho de investigação no rastreamento da história da vida. Se os paleontólogos analisam o registro do fóssil em busca dos precursores ósseos de asas e caudas, os biólogos moleculares e biofísicos buscam relíquias reveladoras do dna na hemoglobina, nos oncogenes e em todo o resto da biblioteca de proteínas e enzimas. “Existe uma arqueologia molecular em construção”,[41] segundo Werner Loewestein. A história da vida está escrita em termos de entropia negativa. “Aquilo que de fato evolui é a informação em todas as suas formas ou transformações. Se houvesse algo como um guia para as criaturas vivas, creio que a primeira linha soaria um pouco como um mandamento bíblico: *Torna tua informação maior*.”

Nenhum gene individual constrói um organismo. Insetos e plantas e animais são coletividades, veículos comunais, reuniões cooperativas de uma multidão de genes, cada qual desempenhando seu papel no desenvolvimento do organismo. Trata-se de um conjunto complexo no qual cada gene interage com milhares de outros numa hierarquia de efeitos que se estendem no espaço e no tempo. O corpo é uma colônia de genes. É claro que ele age e se move e procria como uma unidade e, além disso, no caso de pelo menos uma espécie, percebe a si mesmo como uma unidade com uma certeza impressionante. A perspectiva centrada no gene ajudou os biólogos a reconhecer que os genes que compõem o genoma humano são apenas uma fração dos genes transportados numa pessoa, porque os humanos (como outras espécies) hospedam todo um ecossistema de micróbios — bactérias, em especial, que habitam desde nossa pele até nosso sistema digestivo. Nossos “microbiomas” nos ajudam a digerir o alimento e combater doenças, ao mesmo tempo que evoluem com rapidez e flexibilidade para servir aos próprios interesses. Todos esses genes se envolvem num processo maior de coevolução mútua — concorrendo uns com os outros com seus alelos alternativos no vasto conjunto genético da natureza, mas não mais concorrendo sozinhos. Seu sucesso ou fracasso ocorre por meio da interação. “A seleção favorece aqueles genes que prosperam *na presença de outros genes*”, afirmou

Dawkins, "*os quais por sua vez prosperam na presença deles.*"[42]

O efeito de qualquer gene individual depende dessas interações e também dos efeitos do meio ambiente e do mais puro acaso. De fato, a mera referência ao *efeito* de um gene se tornou uma questão complexa. Não bastava dizer apenas que é a proteína que ele sintetiza. Podemos querer dizer que uma ovelha ou um corvo possuem um gene para a cor preta. Este pode ser um gene que fabrica uma proteína para a pigmentação preta na lã ou nas penas. Mas ovelhas e corvos e todas as demais criaturas capazes de serem pretas exibem essa qualidade em variados graus e circunstâncias; mesmo uma qualidade a princípio tão simples raramente tem um interruptor biológico de liga-desliga. Dawkins sugere o caso de um gene que sintetiza uma proteína que age como uma enzima com muitos efeitos indiretos e distantes, um dos quais é facilitar a síntese da pigmentação preta.[43] Num grau ainda mais remoto, suponhamos um gene que encoraja o organismo a buscar a luz do sol, que por sua vez é necessário para a pigmentação preta. Tal gene atua apenas como cúmplice na conspiração, mas seu papel pode ser indispensável. Chamá-lo de gene *para* a cor preta, no entanto, torna-se difícil. E é ainda mais difícil especificar genes para qualidades mais complexas — para a obesidade, a agressividade, a construção de ninhos, a inteligência ou a homossexualidade.

Será que existem genes para tais características? Não se um gene for uma cadeia particular de dna que expressa uma proteína. Rigorosamente falando, não se pode dizer que há genes *para* uma determinada característica — nem mesmo para a cor dos olhos. Em vez disso, deveríamos dizer que as diferenças nos genes tendem a causar diferenças no fenótipo (o organismo em sua versão individual). Mas desde os primórdios do estudo da hereditariedade os cientistas vêm falando nos genes de maneira mais ampla. Se uma população apresenta uma variação numa determinada característica — a altura, digamos — e se a variação está sujeita à seleção natural, então ela é por definição ao menos em parte genética. Existe um componente genético na variação de altura. Não há gene para as pernas compridas; não há gene para nenhum tipo de perna.[44] A construção de uma perna exige muitos genes, cada um deles emitindo instruções sob a forma de proteínas, alguns produzindo matérias-primas, alguns criando dispositivos de

tempo e botões de liga-desliga. Alguns desses genes certamente têm o efeito de fazer as pernas serem mais compridas do que seriam em sua ausência, e são esses genes que poderíamos chamar, numa espécie de abreviação, de genes *para* as pernas compridas — desde que nos lembremos de que o comprimento das pernas não está diretamente representado nem codificado no gene.

Assim, geneticistas, zoólogos, etólogos e paleontologistas adquiriram o hábito de dizer "um gene para X", em vez de "uma contribuição genética para a variação de X".[45] Dawkins os estava obrigando a enfrentar as consequências lógicas. Se existe uma variação genética numa determinada categoria — cor dos olhos ou obesidade —, então deve haver um gene para tal característica. Não importa que a aparência real da característica dependa de um conjunto insondável de outros fatores, que podem ser ambientais ou até casuais. A título de ilustração, ele ofereceu um exemplo deliberadamente extremo: um gene para a leitura.

A ideia parece absurda por vários motivos. A leitura é um comportamento adquirido. Ninguém nasce sabendo ler. Se existe uma capacidade que depende de fatores ambientais, como o ensino, essa seria a leitura. Poucos milênios atrás, o comportamento não existia, de modo que não poderia ser sujeito à seleção natural. Poderíamos igualmente dizer (como fez o geneticista John Maynard Smith, numa brincadeira) que existe um gene para amarrar os cadarços. Mas Dawkins estava determinado. Ele destacou que os genes dizem respeito às *diferenças*, no fim das contas. Assim, partiu de um simples contraponto: não haveria por acaso um gene para a dislexia?

> Tudo que precisaríamos para determinar a existência de um gene para a leitura é descobrir o gene para a incapacidade de ler, um gene que, digamos, introduzisse uma lesão no cérebro causando uma dislexia específica. Uma pessoa portadora de tal dislexia poderia ser normal e inteligente sob todos os aspectos, exceto pela incapacidade de ler. Nenhum geneticista ficaria particularmente surpreso se esse tipo de dislexia se revelasse o fruto de algum processo mendeliano. Obviamente, nesse caso o gene só exibiria seu efeito num ambiente que incluísse o ensino normal. Num ambiente pré-histórico, suas consequências podem ter sido indetectáveis, levando talvez a um efeito diferente que fosse conhecido pelos geneticistas das cavernas, como, por exemplo, a incapacidade de ler as pegadas de animais. […]
>
> Apreende-se das convenções normais da terminologia genética que o gene variante na mesma posição, o gene que a maioria da população possui em dose dupla, seria adequadamente chamado de

> gene “para a leitura”. Quem se opõe a isso deve também recusar os comentários que falam num gene para a altura nas ervilhas de Mendel. […] Em ambos os casos a característica que nos interessa é uma *diferença* e, em ambos os casos, a diferença se revela apenas num ambiente específico. O motivo pelo qual algo tão simples quanto a diferença de um gene pode ter um efeito tão complexo […] é basicamente a seguinte. Por mais complexo que seja um dado estado do mundo, a *diferença* entre tal estado e algum estado alternativo pode ser causada por algo bastante simples.46

Poderia haver um gene para o altruísmo? Sim, segundo Dawkins, se isso significar “qualquer gene que influencie o desenvolvimento dos sistemas nervosos de modo a aumentar sua probabilidade de se comportarem de maneira altruísta”.47 Tais genes — esses replicadores, esses sobreviventes — nada sabem do altruísmo nem da leitura, é claro. Sejam o que for e onde quer que estejam, seus efeitos fenotípicos só são relevantes na medida em que ajudam os genes a se propagar.

A biologia molecular, com seu avanço em termos de sinais, tinha localizado o gene num pedaço de dna responsável pela codificação de proteínas. Essa era a definição de seu hardware. A definição do software era mais antiga e mais confusa: a unidade de hereditariedade; o transmissor de uma diferença fenotípica. Com as duas definições numa tensa coexistência, Dawkins olhou para além de ambas.

Se os genes são mestres da sobrevivência, é difícil que sejam fragmentos de ácido nucleico. Coisas desse tipo são passageiras. Dizer que um replicador consegue sobreviver por eras significa definir o replicador como *todas as suas cópias consideradas como uma mesma coisa*. Assim o gene não “se torna senil”, declarou Dawkins.

> Sua probabilidade de morrer ao chegar a 1 milhão de anos de idade não é maior do que aos cem. Ele salta de corpo em corpo ao longo das gerações, manipulando corpo após corpo à sua própria maneira e de acordo com seus próprios fins, abandonando uma sucessão de corpos mortais antes que afundem na senilidade e na morte.48

“O que estou fazendo”, afirmou ele, “é enfatizar a quase imortalidade potencial do gene, sob a forma de cópias, como sua propriedade definidora.” É

aqui que a vida se liberta de suas amarras materiais. (A não ser para aqueles que já acreditavam na alma imortal.) O gene não é uma macromolécula portadora de informação. O gene é a informação. O físico Max Delbrück escreveu em 1949: “Hoje a tendência é dizer que os ‘genes são apenas moléculas, ou partículas hereditárias’, afastando assim as abstrações”.[49] E naquele momento as abstrações retornavam.

Onde, então, estaria um gene em particular — o gene para as pernas compridas dos humanos, por exemplo? Isso é um pouco como perguntar onde está a Sonata de Beethoven para Piano em mi bemol. Estaria no manuscrito da partitura original? Na pauta musical impressa? Numa de suas execuções num concerto — ou talvez na soma de todas as execuções, históricas e potenciais, reais e imaginárias?

As notas e os tempos marcados no papel não são a música. A música não é uma série de ondas de pressão ressoando pelo ar; nem os sulcos impressos em vinil nem as marcas queimadas em cds; nem mesmo as sinfonias nervosas agitadas nos neurônios do cérebro do ouvinte. A música é a informação. Da mesma forma, os pares de bases do dna não são genes. Eles codificam genes. Os genes em si são feitos de bits.

---

a Ele acrescentou: “Termos antigos são em geral comprometidos por sua aplicação em teorias e sistemas antiquados ou errôneos, dos quais carregam lascas de ideias inadequadas que nem sempre são inofensivas para o desenvolvimento de novas noções”.

b Ao listar vinte aminoácidos, Gamow estava indo além daquilo que era de fato conhecido. O número vinte revelou-se correto, por mais que a lista de Gamow estivesse errada.

# 11. Um mergulho no caldo dos memes (*Você é como um parasita no meu cérebro*)

> *Quando penso nos memes, muitas vezes me pego imaginando um padrão efêmero de faíscas inconstantes saltando de um cérebro para o outro, gritando "Eu, eu!".*
>
> Douglas Hofstadter, 19831

"Agora, pela própria universalidade de suas estruturas, a começar pelo código, a biosfera parece ser o produto de um acontecimento único",[2] escreveu Jacques Monod em 1970. "O universo não estava prenhe de vida, nem a biosfera gestava o homem. Nosso número foi tirado num jogo de azar. Será mesmo surpreendente que, como uma pessoa que acaba de ganhar 1 milhão no cassino, nós nos sintamos um pouco estranhos e irreais?"

Monod, biólogo parisiense que foi um dos ganhadores do prêmio Nobel em 1965 por ter desvendado o papel desempenhado pelo rna mensageiro na transmissão das informações genéticas, não era o único a pensar na biosfera não como uma construção mental, mas como uma entidade, composta de todas as formas de vida da Terra, simples e complexas, transbordando de informação, replicando e evoluindo, codificando em sucessivos níveis de abstração. Essa visão da vida era mais abstrata — mais matemática — do que qualquer coisa que Darwin tivesse imaginado, mas ele teria reconhecido os princípios elementares da ideia. A seleção natural dirige o espetáculo. E os biólogos, depois de terem absorvido os métodos e o vocabulário da ciência da comunicação, deram um passo à frente para fazer sua própria contribuição ao entendimento da informação em si. Monod propôs uma analogia: assim como a biosfera paira sobre o mundo da matéria não viva, um "reino abstrato" paira sobre a biosfera. E quem seriam os habitantes desse reino? As ideias.

> As ideias retiveram algumas das propriedades dos organismos. Assim como eles, as ideias tendem a perpetuar sua estrutura e a se reproduzir; elas também podem se fundir, se recombinar, segregar seu conteúdo; de fato, também elas podem evoluir e, nessa evolução, a seleção sem dúvida desempenha um papel importante.3

As ideias têm “poder de contágio”, destacou ele — “uma capacidade de infectar, por assim dizer” —, e nesse sentido algumas são mais fortes do que outras. Um exemplo de ideia infecciosa pode ser uma ideologia religiosa que passe a influenciar um grande grupo de pessoas. O neurofisiologista norte-americano Roger Sperry apresentara uma ideia parecida muitos anos antes, defendendo que as ideias seriam “tão reais” quanto os neurônios que habitam. As ideias têm poder, disse ele:

> As ideias geram ideias e podem ajudar na evolução de novas ideias. Elas interagem umas com as outras e com outras forças mentais no mesmo cérebro, em cérebros vizinhos e, graças à comunicação global, em cérebros estrangeiros e muito distantes. E também interagem com o meio externo que as cerca para produzir *in toto* um rápido e imediato surto evolutivo que supera em muito qualquer coisa que já tenha chegado à cena evolucionária.4

Monod acrescentou: “Não me arrisco a propor uma teoria de seleção das ideias”. Não havia necessidade. Havia outros dispostos a fazê-lo.

Richard Dawkins deu à sua própria maneira o salto da evolução dos genes para a evolução das ideias. Para ele, o papel de protagonista cabe ao replicador, e pouco importa que esse replicador seja constituído de ácido nucleico. De acordo com sua regra: “toda a vida evolui pela sobrevivência diferencial das entidades replicadoras”. Onde quer que haja vida, deve haver replicadores. Talvez em outros mundos os replicadores possam emergir numa química que tenha como base o silício — ou talvez na ausência de qualquer base química.

Para um replicador, o que significaria existir sem uma química? “Penso que um novo tipo de replicador surgiu recentemente neste mesmo planeta”,[5] proclamou Dawkins perto da conclusão de seu primeiro livro, de 1976. “Está bem diante de nós. Está ainda na sua infância, flutuando ao sabor da corrente no seu caldo primordial, porém já está alcançando uma mudança evolutiva a uma velocidade de deixar o velho gene, ofegante, muito para trás.” Esse “caldo” é a cultura humana, o vetor de transmissão é a linguagem, e o ambiente de reprodução é o cérebro.

Dawkins propôs um nome para esse replicador etéreo. Ele o chamou de *meme*, e essa se tornou a mais memorável de suas invenções, muito mais influente do que seus genes egoístas e mesmo seu posterior proselitismo contra a religiosidade. “Os memes também se propagam no pool de memes saltando de cérebro para cérebro através de um processo que, num sentido amplo, pode ser chamado de imitação”, escreveu ele. Eles concorrem uns com os outros por recursos limitados: tempo de atividade cerebral ou largura de banda. Disputam principalmente a *atenção*. Por exemplo:

*Ideias*. Independentemente do fato de uma ideia surgir uma única vez ou reaparecer muitas vezes, ela pode prosperar no *pool* de memes ou perder força e desaparecer. A crença em Deus é um exemplo oferecido por Dawkins — uma ideia antiga, replicando-se não apenas em palavras, mas também na música e na arte. A crença de que a Terra orbita o Sol é também um meme, e disputa sua sobrevivência com os demais. (A qualidade de ser verdadeiro pode ser uma característica útil a um meme, mas é apenas uma dentre muitas.)

*Melodias*. Esta melodia



foi disseminada durante séculos por vários continentes. Esta aqui,



uma conhecida invasora de cérebros de curto reinado, alcançou uma população imensa a um ritmo muitas vezes mais rápido.

*Frases de efeito*. Um pequeno trecho de um texto, “Que coisas Deus tem feito”, surgiu há muito tempo e se espalhou rapidamente por mais de um suporte. Outra expressão, “Leia meus lábios”, trilhou um caminho peculiar nos Estados Unidos do fim do século xx. “Só os mais fortes sobrevivem” é um meme que, como tantos outros, sofre mutações rápidas e imprevisíveis (“só os mais gordos sobrevivem”; “só os mais loucos sobrevivem”; “só os mais falsos sobrevivem”; “só os mais tuiteiros sobrevivem”…).

*Imagens*. Durante a vida de Isaac Newton, não mais do que poucos milhares

de pessoas tinham ideia de como era sua aparência, muito embora ele fosse um dos homens mais famosos da Inglaterra. Hoje, no entanto, milhões de pessoas têm uma ideia bastante clara das feições do físico — com base em reproduções de cópias de retratos de qualidade duvidosa. Ainda mais onipresentes e indeléveis são o sorriso da *Mona Lisa*, *O Grito* de Edvard Munch e as silhuetas de uma série de alienígenas fictícios. Trata-se de memes, que têm uma vida própria, independentes de uma realidade física. "Talvez não fosse essa a aparência de George Washington naquela época", dizia um orientador aos visitantes do Metropolitan Museum of Art a respeito do retrato pintado por Gilbert Stuart, "mas é a aparência dele hoje."[6] Exatamente.

Os memes emergem nos cérebros e viajam para longe deles, estabelecendo pontes no papel, no celuloide, no silício e onde mais a informação possa chegar. Não devemos pensar neles como partículas elementares, e sim como organismos. O número três não é um meme; nem a cor azul, nem um pensamento qualquer, assim como um único nucleotídeo não pode ser um gene. Os memes são unidades complexas, distintas e memoráveis — unidades com poder de permanência. Da mesma maneira, um objeto não é um meme. O bambolê não é um meme — é feito de plástico, e não de partículas de informação. Quando essa espécie de brinquedo se multiplicou pelo mundo numa louca epidemia em 1958, ela consistiu no produto, na manifestação física de um meme ou conjunto de memes: a ânsia pelos bambolês; o conjunto das habilidades necessárias para bambolear. O próprio bambolê é um veículo de memes. Por conseguinte, o mesmo se aplica a cada ser humano bamboleante — um veículo notavelmente eficaz para os memes, na explicação simples e inteligente do filósofo Daniel Dennett: "Uma carroça de rodas com aro transporta mais do que os grãos ou a carga de lugar para lugar; transporta também, de mente para mente, a brilhante ideia de uma carroça de rodas com aro".[7] Os bamboleadores fizeram isso pelos memes do bambolê — e, em 1958, encontraram um novo vetor de transmissão, as emissoras de tv de grande alcance, enviando suas mensagens imensuravelmente mais depressa e mais além do que qualquer carroça. A imagem em movimento do bamboleador seduziu novas mentes às centenas, e

depois aos milhares, e por fim aos milhões. Mas o meme não é o dançarino, e sim a dança.

Somos seus veículos, e também aquilo que possibilita sua existência. Durante a maior parte de nossa história biológica, os memes tiveram uma existência breve. Sua principal forma de transmissão era a que chamamos de "boca a boca". Posteriormente, no entanto, eles conseguiram aderir a substâncias sólidas: placas de argila, paredes de cavernas, folhas de papel. Eles alcançam a longevidade por meio de nossas canetas, nossas rotativas, nossas fitas magnéticas e nossos discos ópticos. Espalham-se por meio das torres de transmissão e das redes digitais. Os memes podem ser histórias, receitas, habilidades, lendas e modas. Nós os copiamos, uma pessoa de cada vez. Ou, na perspectiva meme-cêntrica de Dawkins, eles copiam a si mesmos. De início, alguns dos leitores de Dawkins se indagaram até que ponto isso deveria ser interpretado literalmente. Teria ele a intenção de conferir aos memes desejos, intenções e metas antropomórficas? Era um retorno ao gene egoísta. (Crítica típica: "Os genes não podem ser egoístas ou altruístas, assim como os átomos não podem sentir inveja, nem os elefantes são abstratos, nem os biscoitos são teleológicos".[8] Resposta típica: um lembrete de que o *egoísmo* é definido pelo geneticista como a tendência a ampliar as próprias chances de sobrevivência em relação aos concorrentes.)

Os termos escolhidos por Dawkins para expressar essa ideia não traduziam uma intenção de sugerir que os memes fossem atores conscientes, mas entidades com interesses que podem ser perenizados pela seleção natural. Os interesses dos memes não coincidem com os nossos. "Um meme", diz Dennett, "é um pacote de informação dotado de atitude."[9] Quando falamos em *lutar por um princípio* ou *morrer por uma ideia*, talvez o significado seja mais literal do que possamos perceber. "Morrer por uma ideia é uma atitude de nobreza inquestionável",[10] escreveu H. L. Mencken. "Mas seria ainda mais nobre se os homens morressem por ideias verdadeiras!"

*Ciranda, cirandinha…* A rima e o ritmo ajudam as pessoas a se lembrar de trechos de um texto. Ou: a rima e o ritmo ajudam trechos de um texto a serem lembrados. Rima e ritmo são qualidades que facilitam a sobrevivência de um

meme, assim como força e velocidade facilitam a sobrevivência de um animal. A linguagem padronizada traz em si uma vantagem evolutiva. Rima, ritmo e sentido — pois o sentido também consiste numa forma de padronização. *A mim foi prometida uma razão para meus versos em rima; desde então até agora, nem rima nem razão foram entregues sem demora*.[11]

Assim como os genes, os memes afetam o mundo que os envolve. Em certos casos (memes como fazer fogo, usar roupas, a história da ressurreição de Jesus), os efeitos podem ser de fato muito poderosos. Na medida em que transmitem sua influência pelo mundo, os memes influenciam as condições que afetam suas próprias chances de sobrevivência. O meme, ou conjunto de memes, referente ao código Morse gerou efeitos poderosos de retroalimentação positiva. "Acredito que, nas condições apropriadas, os replicadores se juntam automaticamente para criar sistemas, ou máquinas, que os transportem e que trabalhem para favorecer a sua replicação contínua",[12] escreveu Dawkins. Alguns memes têm benefícios evidentes para seus hospedeiros humanos (olhar para os dois lados antes de atravessar a rua, o conhecimento das manobras básicas de reanimação cardiovascular, a noção de que é preciso lavar as mãos antes de cozinhar), mas o sucesso memético e o sucesso genético não são a mesma coisa. Os memes podem se replicar com virulência impressionante ao mesmo tempo que deixam um amplo rastro de danos colaterais — remédios patenteados e cirurgias espirituais, astrologia e satanismo, mitos racistas, superstições e (um caso especial) vírus de computador. Sob certo aspecto, esses são os mais interessantes — os memes que prosperam em detrimento de seus hospedeiros, como a ideia de que os homens-bomba encontrarão sua recompensa no paraíso.

Quando Dawkins sugeriu pela primeira vez o meme do *meme*, Nicholas Humphrey, um psicólogo evolucionário, apressou-se em afirmar que tais entidades deveriam ser consideradas "estruturas vivas, não apenas metafórica como tecnicamente":

> Quando alguém planta um meme fértil na minha mente, essa pessoa está agindo como um parasita no meu cérebro, transformando-o num veículo para a propagação do meme exatamente como um vírus poderia agir como parasita no mecanismo genético de uma célula hospedeira. E não se trata apenas de uma forma de expressão — o meme da "crença na vida após a morte", por exemplo, é de fato encarnado

> fisicamente, por milhões e milhões de vezes, sob a forma de uma estrutura nos sistemas nervosos de indivíduos espalhados por todo o mundo.13

A maioria dos primeiros leitores de *O gene egoísta* passou pelo trecho dos memes sem considerar o conceito mais do que um floreio de raciocínio, mas o etologista pioneiro W. D. Hamilton, ao escrever uma resenha do livro para a revista *Science*, arriscou a seguinte previsão:

> Por mais difícil que seja enxergar as delimitações do termo — trata-se certamente de algo mais complexo que o já complicado gene —, suspeito que ele logo se tornará de uso corrente entre os biólogos e, como seria de esperar, também entre os filósofos, linguistas e outros, sendo absorvido no vocabulário cotidiano assim como ocorreu com a palavra "gene".14

Os memes eram capazes de transitar até mesmo na ausência das palavras, antes do surgimento da linguagem. A simples mímica é suficiente para replicar conhecimento — ensinar como afiar a ponta de uma flecha ou como fazer fogo. Entre os animais, chimpanzés e gorilas são conhecidos por adquirir comportamentos por meio da imitação. Algumas espécies de pássaros que cantam *aprendem* as melodias, ou ao menos variações delas, depois de ouvi-las do bico de aves vizinhas (ou, mais recentemente, dos gravadores dos ornitólogos). Os pássaros desenvolvem repertórios de melodias e dialetos de canções — em resumo, demonstram uma *cultura* do canto que antecede em eras a cultura humana.[15] Apesar desses casos específicos, durante a maior parte da história da humanidade a linguagem caiu como uma luva para os memes. (Clichês são memes.) A linguagem serviu como o primeiro catalisador da cultura. Ela substitui a mera imitação, transmitindo o conhecimento por meio da abstração e da codificação.

Talvez a analogia com a doença fosse inevitável. Antes que alguém compreendesse minimamente a epidemiologia, sua linguagem era aplicada a tipos de informação. Um sentimento pode ser *transmissível*, uma música pode ser *contagiante*, um hábito pode ser *adquirido*. "De olhar em olhar, contagiando

a multidão/ O pânico se espalha”,[16] escreveu o poeta James Thomson em 1730. De acordo com Milton, o mesmo se aplica à luxúria: “Eva, que bem o entende, está vibrando/ Dos meigos olhos contagioso lume”.[17] Mas foi somente no novo milênio, na era da transmissão global eletrônica, que a identificação se tornou natural. Nossa era é marcada pela viralidade: educação viral, marketing viral, e-mail viral, vídeos e redes virais. Os pesquisadores que estudam a internet como suporte — *crowdsourcing*, atenção coletiva, redes sociais e alocação de recursos — empregam não apenas a linguagem como também os princípios matemáticos da epidemiologia.

Um dos primeiros a usar os termos *texto viral* e *frases virais* parece ter sido um leitor de Dawkins chamado Stephen Walton, de Nova York, em correspondência de 1981 com Douglas Hofstadter. Pensando logicamente — talvez à maneira de um computador —, Walton propôs frases simples e autorreplicantes nos moldes de “Fale-me!”, “Copie-me!” e “Se me copiar, eu lhe concederei três desejos!”.[18] Hofstadter, então colunista da *Scientific American*, considerou o próprio termo *texto viral* ainda mais sedutor.

> Ora, como podemos ver diante de nossos olhos, o próprio texto viral de Walton foi capaz de comandar os recursos de um hospedeiro bastante poderoso — toda uma revista com suas rotativas e seus sistemas de distribuição. Ele embarcou num salto e agora — mesmo enquanto você lê esta frase viral — está se propagando loucamente pela ideiasfera!

(No início dos anos 1980, uma revista com tiragem de 700 mil exemplares ainda parecia ser uma poderosa plataforma de comunicação.) Hofstadter declarou-se alegremente infectado pelo meme do *meme*.

Uma fonte de resistência — ou ao menos de inquietação — foi o fato de nós, seres humanos, termos sido afastados do primeiro plano. Já era ruim o bastante dizer que uma pessoa era simplesmente o veículo por meio do qual um gene produz mais genes. Agora os humanos devem também ser considerados veículos para a propagação dos memes. Ninguém gosta de ser chamado de marionete. Dennett resumiu o problema da seguinte maneira:

> Não sei quanto a vocês, mas eu não me sinto inicialmente atraído pela ideia segundo a qual meu cérebro seria uma espécie de pilha de excremento onde as larvas das ideias de outras pessoas se renovam antes de enviar cópias de si mesmas numa diáspora informacional. […] De acordo com essa visão, quem está no comando: nós ou nossos memes?19

Ele respondeu à própria pergunta lembrando-nos de que, quer gostemos ou não, raramente estamos "no comando" de nossas próprias mentes. Dennett poderia ter citado Freud; em vez disso, citou Mozart (ou assim acreditou fazer):

> À noite, quando não consigo dormir, os pensamentos me invadem a mente. […] Como e de onde eles vêm? Não sei, e nada tenho a ver com isso. Os que me agradam, mantenho na cabeça e cantarolo para mim mesmo.

Dennett foi posteriormente informado de que essa conhecida citação não era de Mozart, no fim das contas. Ela havia ganhado vida própria — era um meme relativamente bem-sucedido.

Para quem quer que tivesse se interessado pela ideia dos memes, o panorama estava se transformando mais rapidamente do que Dawkins imaginara ser possível em 1976, quando escreveu que "os computadores onde os memes habitam são os cérebros humanos".[20] Em 1989, época da segunda edição de *O gene egoísta*, depois de ter se tornado ele próprio um programador experiente, Dawkins teve de acrescentar que: "Era perfeitamente previsível que também os computadores eletrônicos viessem, por fim, a servir de hospedeiros para padrões autorreplicadores de informação".[21] A informação estava passando de um computador ao outro "quando seus usuários passam disquetes adiante", e ele já enxergava outro fenômeno despontando no horizonte próximo: computadores ligados a redes. "Muitos deles", escreveu Dawkins, "estão literalmente ligados uns aos outros em trocas de correio eletrônico. […] É um meio perfeito para o florescimento e a disseminação de programas autorreplicadores." De fato, a internet estava sentindo as dores do próprio parto. Além de proporcionar aos memes um suporte cultural rico em nutrientes, ela também deu asas à *ideia* dos memes. A palavra *meme* logo se tornou um termo popular associado à internet. Nossa consciência dos memes fomentou sua difusão.

Um exemplo notório de um meme que não poderia ter emergido na cultura pré-internet é a frase “pular o tubarão”. Um *looping* autorreferencial caracterizou cada fase de sua existência. “Pular o tubarão” significa atingir um auge de qualidade ou popularidade e então começar um declínio irreversível. Imaginou-se que a frase teria sido usada pela primeira vez em 1985 por um universitário chamado Sean J. Connolly, em referência a um certo seriado de tv. A origem da frase exige certa dose de explicação sem a qual ela não poderia ter sido inicialmente compreendida. Talvez por esse motivo não exista nenhum registro de seu emprego até 1997, quando o colega de quarto de Connolly, Jon Hein, registrou o domínio *jumptheshark.com* e criou o site dedicado à sua promoção. O site logo publicou uma lista de perguntas frequentes:

> P: A expressão “pular o tubarão” teve origem neste site ou vocês criaram o site para lucrar em cima dela?
>
> R: O site foi ao ar no dia 24 de dezembro de 1997 e deu origem à expressão “pular o tubarão”. Conforme a popularidade do site cresceu, o termo se tornou cada vez mais popular. O site é a galinha, o ovo e agora um Ardil-22.

A expressão se difundiu para suportes mais tradicionais no ano seguinte. Maureen Dowd dedicou uma coluna à tentativa de explicá-la no *New York Times* em 2001. Em 2002, o colunista William Safire, responsável pela seção “On Language” do mesmo jornal, chamou-a de “expressão do ano na cultura popular”. Pouco depois, as pessoas começaram a usar a frase na linguagem oral e escrita de forma inconsciente — sem usar aspas nem fornecer explicações — e por fim, inevitavelmente, vários observadores culturais perguntaram: “Será que ‘pular o tubarão’ já pulou o tubarão?”. Como todo bom meme, ele deu origem a mutações. O verbete da Wikipédia que explicava o que significa “pular o tubarão” sugeria em 2009: “Ver também: pular no sofá; detonar a geladeira”.

Será isso uma forma de ciência? Em sua coluna publicada em 1983, Hofstadter propôs o óbvio rótulo memético para uma disciplina como essa: a *memética*. O estudo dos memes atraiu pesquisadores de campos tão distantes quanto a ciência da computação e a microbiologia. Na bioinformática, as

correntes de cartas são um objeto de estudo. Elas são memes, e têm históricos evolutivos. O próprio propósito das correntes é a replicação. Qualquer que seja o texto das cartas, elas encarnam uma mensagem: *Copie-me*. Um estudioso da evolução das correntes, Daniel W. VanArsdale, listou muitas variantes, tanto nas correntes como em textos anteriores: “Faça sete cópias da carta exatamente como ela foi escrita” [1902]; “Copie integralmente e envie para nove amigos” [1923]; “E se alguém tirar algo das palavras do livro desta profecia, Deus lhe tirará também a sua parte da árvore da Vida e da Cidade santa, que estão descritas neste livro” [Apocalipse 22:19].[22] As correntes prosperaram com a ajuda de uma nova tecnologia do século xix: o “papel-carbono”, ensanduichado entre as folhas de um bloco de papel. Mais tarde o papel-carbono estabeleceu uma parceria simbiótica com outra tecnologia, a máquina de escrever. Epidemias virais de correntes ocorreram ao longo de todo o início do século xx.

“Uma incomum corrente de cartas chegou a Quincy durante a última parte de 1933”,[23] escreveu um historiador de Illinois. “A moda das correntes desenvolveu sintomas de histeria de massa, espalhando-se pelos Estados Unidos com tamanha rapidez que, em 1935-6, o Departamento dos Correios e as agências de opinião pública tiveram de agir para suprimir o movimento.” Ele nos deu uma amostra — um meme motivando seus portadores humanos com promessas e ameaças:

> Confiamos em Deus. Ele nos garante o necessário.
>
> Sra. F. Streuzel.....Mich.
>
> Sra. A. Ford.....Chicago, Ill.
>
> Sra. K. Adkins.....Chicago, Ill.
>
> etc.
>
> Copie os nomes acima, omitindo o primeiro. Acrescente seu nome no fim. Envie pelo correio a cinco pessoas a quem deseje prosperidade. A corrente foi iniciada por um coronel americano e deve ser remetida dentro de 24 horas após a leitura. Isso trará a prosperidade em questão de nove dias após o envio.
>
> A sra. Sanford ganhou 3 mil dólares. A sra. Andres ganhou mil dólares.
>
> A sra. Howe, que rompeu a corrente, perdeu tudo que tinha.
>
> A corrente exerce um poder claro sobre as palavras esperadas.
>
> não quebre a corrente.

Quando seu uso se tornou generalizado, duas tecnologias subsequentes trouxeram benefícios que ampliaram em muitas ordens de magnitude a fecundidade da corrente: as fotocópias (surgidas perto de 1950) e o e-mail (criado em torno de 1995). Inspirados por uma conversa casual durante uma caminhada pelas montanhas de Hong Kong, os cientistas da informação Charles H. Bennett, da ibm de Nova York, Ming Li e Bin Ma, de Ontário, Canadá, começaram a analisar um conjunto de correntes reunidas durante a era da fotocopiadora. Eles reuniram 33 cartas, todas elas variantes de uma mesma carta original, com mutações sob a forma de erros de ortografia, omissões, e palavras e frases transpostas. “Essas cartas passaram de hospedeiro para hospedeiro, sofrendo mutações e evoluindo”,[24] relataram eles.

Como um gene, seu comprimento médio é de aproximadamente 2 mil caracteres. Como um potente vírus, a carta ameaça matar o destinatário e o induz a repassá-la a seus “amigos e parceiros” — alguma variante dessa carta deve provavelmente ter chegado a milhões de pessoas. Como uma característica herdada, ela promete benefícios ao destinatário e às pessoas às quais for repassada. Como os genomas, as correntes sofrem seleção natural e às vezes partes delas chegam a ser transferidas entre “espécies” coexistentes.

Indo além dessas metáforas sedutoras, os três pesquisadores se propuseram a usar as cartas como “plataforma de experimentos” para os algoritmos usados na biologia evolucionária. Os algoritmos tinham sido projetados para partir dos genomas de várias criaturas contemporâneas e traçar seu percurso anterior, com base na inferência e na dedução, para reconstruir sua filogenia — suas árvores evolucionárias. Se esses métodos matemáticos funcionaram com os genes, sugeriram os cientistas, deveriam funcionar também com as correntes. Em ambos os casos, os pesquisadores foram capazes de verificar taxas de mutação e decifrar graus de parentesco.

Ainda assim, a maioria dos elementos culturais muda e se obscurece com demasiada facilidade para que possam ser classificados como replicadores estáveis. Raras vezes eles se mostram tão organizadamente constantes quanto uma sequência de dna. O próprio Dawkins enfatizou que jamais imaginara

fundar algo parecido com uma nova ciência memética. Uma publicação destinada à revisão paritária chamada *Journal of Memetics* ganhou vida em 1997 — nas páginas da internet, claro — e então desapareceu gradualmente após oito anos gastos em sua maior parte num debate autocentrado envolvendo questões de status, missão e terminologia. Mesmo quando comparados aos genes, os memes são difíceis de compreender em termos matemáticos e até de ser definidos com precisão rigorosa. Se a analogia entre genes e memes já provoca inquietação, a analogia entre genética e memética inquieta ainda mais.

Os genes contam ao menos com um alicerce numa substância física. Os memes são abstratos, intangíveis e imensuráveis. Os genes se replicam com fidelidade quase perfeita, e a evolução depende disso — algum grau de variação é essencial, mas as mutações precisam ser raras. Os memes raramente são copiados com exatidão — suas fronteiras são sempre pouco claras, e eles sofrem mutações com uma flexibilidade que seria fatal na biologia. O termo *meme* poderia ser aplicado a uma nada confiável cornucópia de entidades, grandes e pequenas. Para Dennett, as primeiras quatro notas da Quinta Sinfonia de Beethoven foram "claramente" um meme, bem como a *Odisseia* de Homero (ou ao menos a *ideia* da *Odisseia*), a roda, o antissemitismo e a escrita.[25] "Os memes ainda não encontraram sua dupla Watson e Crick", afirmou Dawkins; "não tiveram nem mesmo seu Mendel."[26]

Ainda assim, aqui estão eles. À medida que o arco do fluxo da informação se curva na direção de uma conectividade cada vez maior, os memes evoluem mais rápido e chegam mais longe. Sua presença é sentida, ainda que não seja vista, no comportamento de manada, nas corridas aos bancos, nas cascatas de informações e nas bolhas financeiras. As dietas ganham e perdem popularidade, e seus próprios nomes se tornam expressões corriqueiras — a Dieta de South Beach e a Dieta do dr. Atkins, a Dieta de Scarsdale, a Dieta dos Cookies e a Dieta do Beberrão se replicam de acordo com uma dinâmica a respeito da qual a ciência da nutrição nada tem a dizer. A prática da medicina também passa por "cirurgias da moda" e "iatroepidemias" — epidemias causadas por tendências de tratamento, como a iatroepidemia de extrações de amídalas que varreu os Estados Unidos e partes da Europa em meados do século xx, com resultados tão

positivos quanto uma circuncisão ritual. Os memes foram vistos nas janelas dos carros quando losangos amarelos com a frase bebê a bordo brotaram num instante de pânico coletivo em 1984, primeiro nos Estados Unidos e depois na Europa e no Japão, seguidos logo depois pelo surgimento de mutações irônicas (suba a bordo, baby, a ex está no porta-malas). O efeito dos memes foi sentido com toda força no último ano do milênio passado, quando se espalhou em escala global a crença de que os computadores de todo o mundo gaguejariam ou engasgariam assim que seus relógios internos chegassem a um número redondo.

Na concorrência pelo espaço em nossos cérebros e nossa cultura, os combatentes mais eficazes são as mensagens. A visão dos genes e memes — nova, oblíqua, em looping — nos enriqueceu. Ela nos oferece paradoxos que podem ser escritos sobre fitas de Möbius. “O mundo humano é feito de histórias, e não de pessoas”,[27] escreveu o romancista David Mitchell. “As pessoas que as histórias usam para contar a si mesmas não devem ser responsabilizadas.” Margaret Atwood escreveu: “Assim como ocorre com todo tipo de conhecimento, depois que tomamos consciência dele, não somos mais capazes de imaginar como foi possível não tê-lo conhecido antes. Como acontece no ilusionismo, antes de ser apreendido por nós o conhecimento era revelado diante de nossos próprios olhos, mas nosso olhar estava voltado para outra coisa”.[28] Perto da morte, John Updike refletiu a respeito de

> Uma vida vertida em palavras — aparente desperdício
> dedicado à preservação daquilo que foi consumido.29

Fred Dretske, filósofo da mente e do conhecimento, escreveu em 1981: “No princípio havia a informação. O verbo veio depois”.[30] Ele acrescentou a seguinte explicação: “A transição foi obtida por meio do desenvolvimento de organismos com a capacidade de explorar seletivamente essa informação para sobreviver e perpetuar a espécie”. Agora poderíamos acrescentar, graças a Dawkins, que a transição foi possibilitada pela própria informação, sobrevivendo e perpetuando sua espécie e explorando seletivamente os organismos.

A maior parte da biosfera não consegue enxergar a infosfera. Ela é invisível,

um universo paralelo zumbindo com seus habitantes etéreos. Mas eles não são etéreos para nós — não mais. Nós humanos, sozinhos entre as criaturas orgânicas, vivemos em ambos os mundos simultaneamente. É como se, depois de coexistir durante muito tempo com o invisível, tenhamos começado a desenvolver a percepção extrassensorial necessária. Temos consciência das muitas espécies de informação. Nomeamos seus tipos sardonicamente, como se quiséssemos nos assegurar de que os compreendemos: *lendas urbanas* e *mentiras deslavadas*. Nós os mantemos vivos em torres de servidores com ar-condicionado. Mas não podemos controlá-los. Quando um jingle gruda em nosso ouvido, ou uma nova tendência vira o mundo da moda de cabeça para baixo, ou uma farsa domina o debate em escala mundial durante meses e então desaparece com a mesma rapidez com que surgiu, quem é o senhor e quem é o escravo?

# 12. A sensação de aleatoriedade (*Cometendo um pecado*)

*"Andei pensando", disse ela. "Está ficando mais difícil* enxergar *os padrões, não acha?"*

Michael Cunningham, 20051

Em 1958, Gregory Chaitin, um garoto precoce nova-iorquino de onze anos, filho de emigrados argentinos, encontrou na biblioteca um pequeno livro mágico e o carregou consigo por algum tempo tentando explicá-lo a outras crianças — o que o fez admitir que também tentava entendê-lo.[2] Tratava-se de *Gödel's Proof*, escrito por Ernest Nagel e James R. Newman. Expandido a partir de um artigo publicado na *Scientific American*, o livro analisava o renascimento da lógica que teve início com George Boole; o processo de "mapeamento", codificando afirmações sobre a matemática na forma de símbolos e até números inteiros; e a ideia da metamatemática, uma linguagem sistematizada *a respeito* da matemática e, portanto, *além* da matemática. Tratava-se de um assunto complexo para o menino, que acompanhou os autores por sua exposição simplificada e rigorosa da "impressionante e melancólica" demonstração de Gödel da impossibilidade de a matemática formal se libertar da autocontradição.[3]

A esmagadora maioria da comunidade da matemática conforme praticada naquela época não se importava nem um pouco com a demonstração de Gödel. Por mais que a incompletude fosse certamente inquietante, aquilo parecia de alguma maneira incidental — não contribuía em nada com o trabalho dos matemáticos, que seguiram fazendo descobertas e demonstrando teoremas. Mas as almas de inclinação filosófica continuaram profundamente perturbadas por aquela demonstração, e era esse tipo de gente que Chaitin gostava de ler. Um deles era John von Neumann — que estivera presente na origem de tudo, em Königsberg, 1930, e assumira nos Estados Unidos o papel central no desenvolvimento da computação e da teoria da computação. Para Von Neumann, a prova de Gödel era um ponto sem retorno:

Tratava-se de uma crise conceitual muito séria, a respeito do rigor e da maneira apropriada de levar

> adiante uma comprovação matemática correta. Em vista das noções anteriores do rigor absoluto da matemática, é surpreendente que algo do tipo pudesse ocorrer, e ainda mais surpreendente que tivesse ocorrido nos tempos recentes, quando a ocorrência de milagres não era mais esperada. Mas de fato ocorreu.4

*Por quê?*, indagou Chaitin. Ele se perguntou se em algum nível a incompletude de Gödel poderia estar ligada àquele novo princípio da física quântica, a incerteza, que por algum motivo tinha um cheiro parecido.[5] Posteriormente, o já adulto Chaitin teve a oportunidade de apresentar essa pergunta ao oracular John Archibald Wheeler. Haveria um parentesco entre a incompletude de Gödel e a incerteza de Heisenberg? Wheeler respondeu dizendo que certa vez havia feito a mesma pergunta ao próprio Gödel, em seu escritório do Instituto de Estudos Avançados — Gödel tinha as pernas embrulhadas num cobertor, ao lado de um aquecedor elétrico de brilho incandescente, para amenizar o vento do inverno. Gödel se recusou a responder. À sua maneira, Wheeler se negou a responder a Chaitin.

Quando Chaitin descobriu a demonstração de Turing da incomputabilidade, concluiu que ela devia ser a chave. Ele também conheceu o livro de Shannon e Weaver, *A teoria matemática da comunicação*, e ficou perplexo com sua reformulação da entropia, que parecia apresentar o conceito de cabeça para baixo: uma entropia de bits, medindo a informação num extremo e a desordem no outro. O elemento comum era a aleatoriedade, pensou Chaitin subitamente. Shannon a associava à informação, de maneira perversa. Os físicos tinham encontrado a aleatoriedade no interior do átomo — o tipo de aleatoriedade que Einstein deplorou ao se queixar de Deus e seus dados. Todos esses heróis da ciência falavam da aleatoriedade ou de seus arredores.

Trata-se de uma palavra simples, *aleatório*, e todos conhecem seu significado. Quer dizer, todos e ninguém. Filósofos e matemáticos se debateram com sua definição. Wheeler chegou a dizer o seguinte: “A probabilidade, como o tempo, é um conceito inventado pelos humanos, e cabe aos humanos assumir a responsabilidade pelas obscuridades associadas a tal ideia”.[6] O arremesso de uma moeda é aleatório, por mais que cada detalhe da trajetória da moeda possa ser determinado à moda de Newton. Num dado momento, a população da França

pode ser um número par ou ímpar, aleatório, mas é claro que a população da França em si *não é* aleatória — ela é um fato definido, ainda que não seja possível conhecê-lo.[7] John Maynard Keynes abordou a aleatoriedade em termos de seus opostos, escolhendo três deles: conhecimento, causalidade e intenção.[8] Aquilo que é conhecido de antemão, determinado por uma causa ou organizado de acordo com um plano, não pode ser aleatório.

"O acaso é apenas a medida de nossa ignorância",[9] diz a célebre frase de Henri Poincaré. "Por definição, os fenômenos fortuitos são aqueles cujas leis desconhecemos." Imediatamente ele se retratou: "Seria essa definição de fato satisfatória? Quando os primeiros pastores caldeus observaram o movimento das estrelas, eles ainda não conheciam as leis da astronomia, mas teriam ousado dizer que as estrelas se moviam aleatoriamente?". Para Poincaré, que compreendeu o caos muito antes de se tornar uma ciência, exemplos de aleatoriedade incluíam fenômenos como a distribuição dos pingos de chuva, causas fisicamente determinadas mas tão numerosas e complexas a ponto de serem imprevisíveis. Na física — ou seja qual for o processo natural que pareça imprevisível —, a aleatoriedade aparente pode ser ruído ou pode emanar de dinâmicas de uma complexidade profunda.

A ignorância é subjetiva. Trata-se de uma qualidade do observador. Supõe-se que a aleatoriedade — se existir de fato — deveria ser uma qualidade do objeto em si. Excluindo os humanos do quadro, gostaríamos de chamar de aleatório um evento, uma escolha, uma distribuição, um jogo ou, de forma ainda mais elementar, um número.

A ideia de um número aleatório é repleta de dificuldades. Poderá existir algo como um número aleatório *em especial*; um *determinado* número aleatório? Este número é chamado de aleatório:

1009732533765201358634673548768095909117392927494 5…[10]

Mas, além disso, é um número especial. Trata-se do número que abre um livro publicado em 1955 com o título de *Um milhão de dígitos aleatórios*. A Corporação rand criou os dígitos usando aquilo que é descrito como roleta eletrônica: um gerador de pulso emitindo 100 mil pulsos por segundo,

conduzidos por um contador binário de cinco espaços, e a seguir canalizados por um conversor de binários para decimais, transmitidos para um perfurador de cartões ibm e impressos por um ibm Cardatype modelo 856.[11] O processo consumiu anos. Quando o primeiro conjunto de números foi testado, os estatísticos descobriram vieses significativos: dígitos, grupos de dígitos ou padrões de dígitos apareciam com demasiada frequência ou com frequência insuficiente. No fim, entretanto, as tabelas foram publicadas. “Por causa da própria natureza das tabelas”, disseram os editores, ironicamente, “não pareceu necessário revisar cada página do manuscrito final para encontrar erros aleatórios do Cardatype.”

Havia mercado para o livro porque o trabalho dos cientistas exigia números aleatórios em grande quantidade, para o uso na criação de experimentos estatísticos e na construção de modelos realistas de sistemas complexos. O novo método de simulação Monte Carlo empregava a amostragem de números aleatórios para criar modelos de fenômenos que não poderiam ser solucionados analiticamente; a simulação Monte Carlo foi inventada e batizada pela equipe de Von Neumann no projeto da bomba atômica, tentando desesperadamente gerar números aleatórios para ajudar seus membros a calcular a difusão de nêutrons. Von Neumann percebeu que um computador mecânico, com seus algoritmos deterministas e sua capacidade finita de armazenamento, jamais poderia produzir números de fato aleatórios. Ele teria de se conformar com números *pseudoaleatórios*: números gerados de maneira determinista que se comportavam como se fossem aleatórios. Eram aleatórios o bastante para fins práticos. “Quem quer que leve em consideração métodos aritméticos para a produção de dígitos aleatórios estará, é claro, cometendo um pecado”,[12] disse Von Neumann.

A aleatoriedade pode ser definida em termos de ordem — quer dizer, de sua ausência. Esta pequena e ordenada sequência de números dificilmente poderia ser chamada de “aleatória”:

00000

Mas ela faz uma participação especial no meio do famoso milhão de dígitos

aleatórios. Em termos de probabilidade, isso é considerado esperado: “00000” apresenta a mesma probabilidade de ocorrer quanto qualquer uma das 99999 sequências possíveis de cinco dígitos. Em outro ponto do milhão de dígitos aleatórios encontramos:

010101

Isso também parece seguir um padrão.

A localização de fragmentos de um padrão em meio a essa selva de dígitos exige o trabalho de um observador inteligente. Dada uma sequência aleatória suficientemente longa, toda subsequência possível curta o bastante vai aparecer em algum ponto. Uma delas será a combinação que abre o cofre do banco. Outra será a forma codificada das obras completas de Shakespeare. Mas elas de nada servirão, pois ninguém é capaz de encontrá-las.

Talvez possamos dizer que números como 00000 e 010101 podem ser aleatórios num determinado contexto. Se uma pessoa arremessar uma moeda (um dos mecanismos mais simples de geração de números aleatórios) por tempo suficiente, em algum momento é provável que a moeda caia com a cara para cima dez vezes seguidas. Quando isso ocorrer, o incumbido de buscar números aleatórios vai provavelmente descartar o resultado e fazer uma pausa para o café. Trata-se de um dos motivos pelos quais os humanos apresentam um desempenho sofrível na geração de números aleatórios, mesmo com auxílio mecânico. Os pesquisadores estabeleceram que a intuição humana é inútil tanto na previsão da aleatoriedade como em sua identificação. Sem se dar conta, os humanos derivam na direção dos padrões. A Biblioteca Pública de Nova York comprou *Um milhão de dígitos aleatórios* e o arquivou na seção de Psicologia. Em 2010 ainda era possível adquirir o livro na Amazon por 81 dólares.

Um número é (agora o sabemos) informação. Quando nós, os modernos, herdeiros de Shannon, pensamos na informação em sua forma mais pura,

podemos imaginar uma sequência de 0s e 1s, um número binário. Eis aqui duas sequências binárias com cinquenta dígitos de comprimento:

A: 01010101010101010101010101010101010101010101010101

B: 10001010111110101110100110101000011000100111101111

Se Alice (A) e Bob (B) disserem que obtiveram suas sequências arremessando uma moeda, ninguém jamais acreditará em Alice. As sequências não apresentam a mesma aleatoriedade, certamente. A teoria clássica da probabilidade não oferece nenhum motivo sólido para que possamos afirmar que B é mais aleatória do que A, porque um processo aleatório *poderia* produzir ambas as sequências. A probabilidade lida com conjuntos, e não com eventos individuais. A teoria da probabilidade trata os eventos estatisticamente. Ela não gosta de perguntas do tipo “Qual é a probabilidade de isto ocorrer?”. Se ocorreu, ocorreu.

Para Claude Shannon, essas sequências teriam a aparência de mensagens. Ele indagaria: *Quanta informação* cada sequência contém? Na superfície, ambas contêm cinquenta bits. Um operador telegráfico que cobrasse por dígito mediria o comprimento das mensagens e apresentaria a Alice e Bob a mesma conta. Mas, na verdade, as duas mensagens parecem profundamente diferentes. A mensagem A logo se torna monótona: depois de enxergarmos o padrão, as repetições subsequentes não trazem nenhuma informação nova. Na mensagem B, cada bit é tão valioso quanto os demais. A primeira formulação da teoria da informação apresentada por Shannon tratava as mensagens estatisticamente, como escolhas a partir do conjunto de todas as mensagens possíveis — no caso de A e B, $2^{50}$ delas. Mas Shannon também levava em consideração a redundância numa mensagem: o padrão, a regularidade, a ordem que torna uma mensagem compreensível. Quanto maior a regularidade numa mensagem, mais previsível ela se torna. Quanto mais previsível, mais redundante. Quanto mais redundante é a mensagem, menos informação ela contém.

O operador telegráfico que envia a mensagem A tem um atalho: ele pode transmitir algo como “Repita ‘01’ vinte e cinco vezes”. Para mensagens mais longas de padrão fácil, a economia em toques se torna imensa. Uma vez que o

padrão se torna claro, os caracteres adicionais são gratuitos. O operador que envia a mensagem B deve se ocupar da tarefa completa, enviando cada um dos caracteres, pois cada caractere é uma completa surpresa; cada caractere custa um bit. Essas duas perguntas — *quão aleatória* e *quanta informação* — revelam-se a mesma coisa. Elas têm uma mesma resposta.

Chaitin não estava pensando nos telégrafos. O dispositivo que ele não conseguia tirar da cabeça era a máquina de Turing — aquela abstração de uma elegância impossível, marchando para a frente e para trás em sua infinita fita de papel, lendo e escrevendo símbolos. Livre de todas as complicações do mundo real, livre do ranger das engrenagens e da eletricidade detalhista, livre de toda necessidade de velocidade, a máquina de Turing era o computador ideal. Von Neumann também retornava com frequência às máquinas de Turing. Para a teoria da computação, elas eram os ratos de laboratório eternamente disponíveis. O conceito *U* de Turing tinha um poder transcendental: uma máquina de Turing universal pode simular qualquer outro computador digital, permitindo que os cientistas da computação pudessem desconsiderar os confusos detalhes de um determinado modelo ou fabricação. Era algo libertador.

Depois de se mudar dos Laboratórios Bell para o mit, Claude Shannon voltou a analisar a máquina de Turing em 1956. Ele a reduziu ao menor esqueleto possível, provando que o computador universal poderia ser construído com apenas dois estados internos, ou com apenas dois símbolos, 0 e 1, o equivalente a vazio e não vazio. Ele redigiu essa comprovação em palavras que soavam mais pragmáticas do que matemáticas: descreveu exatamente como a máquina de Turing de dois estados avançaria para a esquerda e para a direita, “quicando” para a frente e para trás para acompanhar o número maior de estados num computador mais complexo. Era tudo muito intrincado e específico, e parecia remeter a Babbage. Por exemplo:

> Quando o cabeçote de leitura se move, a informação de seu estado precisa ser transferida para a célula seguinte da fita para ser visitada usando apenas dois estados internos na máquina B. Se o estado seguinte na máquina A deve ser (digamos) o estado 17 (de acordo com algum sistema arbitrário de numeração) isso é transferido na máquina B ao fazer o cabeçote “quicar” para a frente e para trás entre a célula antiga e a nova 17 vezes (na verdade, 18 viagens à célula nova e 17 de volta à antiga).13

A “operação de quique” transporta a informação de célula em célula, e as células funcionam como “transmissores” e “controladores”.

Turing tinha intitulado seu estudo “Sobre os números computáveis”, mas é claro que o verdadeiro foco estava nos números *in*computáveis. Haveria alguma relação entre os números incomputáveis e os números aleatórios? Em 1965, Chaitin era um aluno de graduação na Universidade Municipal de Nova York, escrevendo uma descoberta que esperava apresentar a uma revista científica: aquele seria seu primeiro artigo publicado. Ele começava dizendo: “Neste estudo a máquina de Turing é considerada um computador de propósito genérico e são feitas algumas perguntas relativas à sua programação”. No ensino médio, como aluno do Programa de Ciência para Alunos de Destaque de Columbia, Chaitin tivera a oportunidade de praticar a programação usando a linguagem das máquinas nos gigantescos mainframes da ibm, utilizando conjuntos de cartões perfurados — um cartão para cada linha de um programa. Ele deixava seu conjunto de cartões no centro de computação e voltava no dia seguinte para apanhar o resultado produzido pelo computador. Também rodava máquinas de Turing em sua cabeça: *escreva 0, escreva 1, escreva vazio, rode a fita para a esquerda, rode a fita para a direita*… O computador universal deu a ele uma boa maneira de distinguir entre números como o A e o B de Alice e Bob. Era capaz de escrever um programa que fizesse uma máquina de Turing imprimir “010101…” 1 milhão de vezes, e também de escrever o comprimento daquele programa — bastante curto. Mas, diante de 1 milhão de dígitos aleatórios — sem padrão nem regularidade, nem nada mais de específico —, não poderia haver atalho. O programa de computador teria de incorporar o número inteiro. Para fazer o mainframe da ibm imprimir aquele milhão de dígitos, ele teria de inserir o milhão inteiro em cartões perfurados. Para levar a máquina de Turing a fazê-lo, ainda precisaria do milhão de dígitos como input.

Eis outro número (desta vez em decimais):

C: 3,14159265358979323846264338327950288419716939937 51…

Isso parece aleatório. Estatisticamente, cada dígito aparece com a frequência esperada (uma vez em dez); o mesmo ocorre com cada par de dígitos (uma vez em cem), cada trio e assim por diante. Um estatístico diria que o número parece "normal", até onde podemos detectar. O dígito seguinte é sempre uma surpresa. A obra completa de Shakespeare aparecerá ali, mais cedo ou mais tarde. Mas alguém pode reconhecer isso como um número familiar, π. De modo que, no fim, ele não é aleatório.

Mas por que dizemos que π não é aleatório? Chaitin propôs uma resposta clara: um número não é aleatório se for computável — se um programa de computador definível for capaz de gerá-lo. Assim, a computabilidade seria uma medida da aleatoriedade.

Para Turing, a computabilidade era uma qualidade do tipo sim-ou-não — um dado número é computável ou não é. Mas gostaríamos de dizer que alguns números são mais aleatórios do que outros — apresentam menos padrão, são menos ordenados. Chaitin disse que os padrões e a ordem expressam a computabilidade. Algoritmos geram padrões. Assim, podemos medir a computabilidade ao analisar *o tamanho do algoritmo*. Dado um número — representado na forma de uma sequência de qualquer tamanho —, indagamos: qual é o comprimento do menor programa capaz de gerá-lo? Usando a linguagem de uma máquina de Turing, essa pergunta pode ter uma resposta definida, medida em bits.

A definição algorítmica de Chaitin para a aleatoriedade também nos dá uma definição algorítmica da informação: o tamanho do algoritmo mede a quantidade de informação que uma sequência contém.

Buscar padrões — procurar a ordem em meio ao caos — é também aquilo que fazem os cientistas. Aos dezoito anos, Chaitin teve a sensação de que isso não seria obra do acaso. Ele concluiu seu primeiro estudo ao aplicar a teoria algorítmica da informação ao processo da própria ciência. "Pensemos num cientista", propôs ele, "que esteve observando um sistema fechado que, a cada segundo, emite um raio de luz ou não."

Ele resume suas observações numa sequência de 0s e 1s na qual um 0 representa “raio não emitido” e um 1 representa “raio emitido”. A sequência pode começar com

0110101110…

e continuar por mais alguns milhares de bits. O cientista examina então a sequência na esperança de enxergar algum tipo de padrão ou lei. O que ele pretende com isso? Parece plausível que uma sequência de 0s e 1s seja desprovida de padrão se não houver maneira melhor de calculá-la do que simplesmente escrevendo-a do começo ao fim de uma só vez a partir de uma tabela que registra a sequência completa.14

Mas se o cientista fosse capaz de descobrir uma maneira de produzir a mesma sequência usando um algoritmo, um programa de computador significativamente mais curto do que a sequência, então ele sem dúvida saberia que os eventos não foram aleatórios. Diria que tinha chegado a uma teoria. É isso que a ciência está sempre buscando: uma teoria simples que dê conta de um conjunto maior de fatos e permita a previsão de eventos futuros. Trata-se da famosa Navalha de Occam. “Não devemos admitir um número maior de causas para os fenômenos naturais do que aquele ao mesmo tempo verdadeiro e suficiente para explicar sua aparência”, afirmou Newton, “pois a natureza prefere a simplicidade.”[15] Newton quantificou *massa* e *força*, mas a *simplicidade* teve de esperar.

Chaitin enviou seu estudo ao *Journal of the Association for Computing Machinery*. Eles aceitaram publicá-lo, mas um membro da comissão julgadora mencionou ter ouvido rumores de um trabalho semelhante vindo da União Soviética. E, de fato, a primeira edição de uma nova revista chegou (após meses de jornada) no início de 1966: *Проблемы Передачи Информации*, *Problemas da Transmissão da Informação*. Ela continha um estudo intitulado “Três abordagens para a definição do conceito de ‘quantidade de informação’”, de autoria de A. N. Kolmogorov. Chaitin, que não sabia ler russo, só teve tempo de acrescentar uma nota de rodapé a seu artigo.

Andrei Nikolaievich Kolmogorov foi o grande matemático da era soviética. Nasceu em Tambov, a 480 quilômetros a sudeste de Moscou, em 1903. Sua mãe,

solteira, uma das três irmãs Kolmogorova, morreu durante o parto, e sua tia Vera o criou numa vila próxima ao rio Volga. Nos últimos anos da Rússia tsarista, essa mulher de mentalidade independente administrou uma escola no vilarejo e operou clandestinamente uma prensa de tipos móveis em sua casa, às vezes ocultando documentos proibidos sob o berço do pequeno Andrei.[16]

A Universidade de Moscou aceitou Andrei Nikolaievich como estudante de matemática pouco depois da revolução de 1917. Dez anos mais tarde, ele estava produzindo uma série de resultados influentes que tomaram forma dentro daquilo que se tornaria a teoria da probabilidade. Sua obra *Fundamentos da teoria da probabilidade*, publicada em russo em 1933 e em inglês em 1950, é até hoje um clássico moderno. Mas seus interesses eram muito variados, passando pela física e pela linguística, bem como por outros ramos da matemática em ascensão acelerada. Certa vez ele investigou a genética, mas recuou após um encontro com o pseudocientista favorito de Stálin, Trofim Lysenko. Durante a Segunda Guerra Mundial, Kolmogorov aplicou seus esforços à teoria estatística no fogo de artilharia e criou um esquema de distribuição estocástica de balões barragem para proteger Moscou dos bombardeiros nazistas. Além de seu trabalho na guerra, estudou a turbulência e os processos aleatórios. Foi um Herói do Trabalho Socialista e recebeu sete vezes a Ordem de Lênin.

Ele viu a versão russa da *Teoria matemática da comunicação* de Shannon pela primeira vez em 1953, expurgada de seus aspectos mais interessantes por um tradutor trabalhando sob a pesada sombra de Stálin. O título se tornou *Teoria estatística da transmissão dos sinais elétricos*. A palavra *informação*, информация, foi substituída em toda parte por данные, *dados*. A palavra *entropia* foi posta entre aspas para alertar o leitor no sentido de evitar que este inferisse algum elo com a entropia na física. A seção que aplicava a teoria da informação à estatística da linguagem natural foi integralmente omitida. O resultado era técnico, neutro, insosso e, desse modo, com pouca probabilidade de atrair interpretações em termos da ideologia marxista.[17] Estas eram preocupações sérias; “cibernética” foi inicialmente definida no *Pequeno dicionário filosófico* (referência-padrão em ortodoxia ideológica) como uma “pseudociência reacionária” e “uma arma ideológica da reação imperialista”.

Apesar disso, Kolmogorov mergulhou no estudo de Shannon; ele, ao menos, não tinha medo de usar a palavra *informação*. Trabalhando com seus estudantes em Moscou, propôs uma rigorosa formulação matemática da teoria da informação, com definições dos conceitos fundamentais, comprovações cuidadosas e novas descobertas — logo percebendo, para sua infelicidade, que algumas delas tinham aparecido no estudo original de Shannon e sido omitidas da versão russa.[18]

Na União Soviética, ainda em certa medida isolada da ciência do restante do mundo, Kolmogorov estava em boa posição para carregar o estandarte da informação. Ele era o encarregado de toda a matemática da *Grande enciclopédia soviética*, escolhendo os autores, editando os artigos e escrevendo ele próprio boa parte dos verbetes. Em 1956, apresentou um longo relatório plenário sobre a teoria da transmissão da informação à Academia Soviética de Ciências. Seus colegas acharam aquilo um pouco "confuso" — que o trabalho de Shannon era "mais tecnológico do que matemático",[19] como relatou Kolmogorov mais tarde. "É verdade", disse ele, "que Shannon deixou aos seus sucessores a 'justificação' de suas ideias em alguns casos difíceis. Entretanto, sua intuição matemática era incrivelmente precisa." Kolmogorov não demonstrou o mesmo entusiasmo em relação à cibernética. Norbert Wiener sentiu algum tipo de parentesco em relação a ele — ambos tinham trabalhado com processos estocásticos e com o movimento browniano. Em visita a Moscou, Wiener disse: "Quando leio a obra do acadêmico Kolmogorov, tenho a sensação de que esses também são meus pensamentos, que é isso que eu queria dizer. E sei que o acadêmico Kolmogorov tem a mesma sensação ao ler minhas obras".[20] Mas, evidentemente, a sensação não era partilhada. Em vez disso, Kolmogorov conduziu seus colegas na direção de Shannon. "É fácil compreender que, como disciplina matemática, a cibernética de acordo com o entendimento de Wiener carece de um caráter unitário", declarou ele, "sendo difícil imaginar um trabalho produtivo no treinamento de um especialista, como um estudante de pós-graduação, por exemplo, na cibernética conforme essa concepção."[21] Ele já tinha resultados reais para sustentar seus instintos: uma formulação útil e generalizada da entropia de Shannon, e uma extensão de sua medida de informação para os processos tanto no tempo distinto como no tempo contínuo.

Na Rússia, o prestígio estava enfim começando a fluir na direção de qualquer estudo que prometesse auxiliar a comunicação eletrônica e a computação. Tais trabalhos tiveram início praticamente num vácuo. A energia elétrica pragmática quase inexistia — a telefonia soviética era conhecida por sua precariedade, tema de piadas russas de uma amargura eterna. Em 1965, não havia nada parecido com chamadas diretas de longa distância. O número de chamadas nacionais a cobrar ainda não tinha superado o número de telegramas, marco alcançado nos Estados Unidos antes do fim do século anterior. Moscou tinha menos telefones per capita do que qualquer outra grande cidade do mundo. Apesar disso, Kolmogorov e seus estudantes geraram atividade suficiente para justificar uma nova publicação de periodicidade trimestral, *Problemas da transmissão da informação*, dedicada à teoria da informação, teoria da codificação, teoria das redes, e até à informação nos organismos vivos. A edição inaugural começava com o artigo de Kolmogorov, "Três abordagens para a definição do conceito de 'quantidade de informação'" — quase um manifesto —, que começou então sua lenta jornada até se tornar conhecido pelos matemáticos do Ocidente.

"A todo momento específico existe apenas uma tênue fronteira separando o 'trivial' do impossível",[22] meditou Kolmogorov em seu diário. "As descobertas matemáticas são feitas nessa fronteira." Na nova visão quantitativa da informação, ele viu uma maneira de atacar um problema que havia iludido a teoria da probabilidade, o problema da aleatoriedade. Quanta informação está contida num dado "objeto finito"? Um objeto poderia ser um número (uma série de dígitos) ou uma mensagem ou um conjunto de dados.

Ele descreveu três abordagens: a combinatorial, a probabilística e a algorítmica. A primeira e a segunda eram de Shannon, com alguns refinamentos. Concentravam-se na probabilidade de um objeto em meio a um conjunto de objetos — uma mensagem específica, digamos, selecionada a partir de um conjunto de mensagens possíveis. Como isso funcionaria, indagou-se Kolmogorov, quando o objeto não fosse simplesmente um símbolo de um alfabeto ou uma lanterna na janela de uma igreja, e sim algo grande e complicado — um organismo genético, ou uma obra de arte? Como seria possível medir a quantidade de informação contida em *Guerra e paz*, de Tolstói?

“Será possível incluir esse romance de maneira razoável entre o conjunto de ‘todos os romances possíveis’ e, além disso, postular a existência de certa distribuição probabilística nesse conjunto?”,[23] perguntou ele. Ou seria possível medir a quantidade de informação genética no cuco, por exemplo, ao considerar a distribuição probabilística no conjunto de todas as espécies possíveis?

Sua terceira abordagem para a medida da informação — a algorítmica — evitava as dificuldades de partir de conjuntos de objetos possíveis. Ela se concentrava no objeto em si.ª Kolmogorov introduziu uma nova palavra para aquilo que estava tentando medir: *complexidade*. Em sua definição do termo, a complexidade de um número, ou de uma mensagem, ou de um conjunto de dados, é o inverso da simplicidade e da ordem e, mais uma vez, corresponde à informação. Quanto mais simples for o objeto, menos informação ele transmite. Quanto maior sua complexidade, maior a quantidade de informação. E, assim como fez Gregory Chaitin, Kolmogorov instalou essa ideia num sólido alicerce matemático ao calcular a complexidade em termos de algoritmos. A complexidade de um objeto é o tamanho do menor programa de computador necessário para gerá-lo. Um objeto que possa ser produzido por um algoritmo curto tem pouca complexidade. Por outro lado, um objeto que exija um algoritmo do mesmo comprimento do objeto em si apresenta complexidade máxima.

Um objeto simples pode ser gerado — ou computado, ou descrito — com apenas alguns bits. Um objeto complexo exige um algoritmo de muitos bits. Apresentado dessa maneira, parecia óbvio. Mas, até então, aquilo não tinha sido entendido matematicamente. Kolmogorov o expôs da seguinte forma:

> A diferença intuitiva entre objetos “simples” e “complicados” parece ter sido percebida há muito tempo. No avanço de sua formalização, surge uma dificuldade óbvia: algo que possa ser descrito com simplicidade numa linguagem pode não ter descrição simples em outra, e não fica claro qual método de descrição deve ser escolhido.24

Essa dificuldade é resolvida por meio do uso da linguagem de computador. Não importa qual seja a linguagem de computador, pois são todas equivalentes,

passíveis de serem reduzidas à linguagem de uma máquina de Turing universal. Para Kolmogorov, a complexidade de um objeto é o tamanho, em bits, do menor algoritmo necessário para gerá-lo. Esta é também a quantidade de informação. E é também seu grau de aleatoriedade — Kolmogorov declarou "uma nova concepção da noção de 'aleatório' correspondente à suposição natural de que a aleatoriedade é a ausência de regularidade".[25] As três são fundamentalmente equivalentes: informação, aleatoriedade e complexidade — três poderosas abstrações, unidas em toda sua extensão como amantes secretos.

Para Kolmogorov, essas ideias pertenciam não apenas à teoria da probabilidade, mas também à física. Para medir a complexidade de um cristal ordenado ou de uma caótica caixa de gás, seria possível medir o menor algoritmo necessário para descrever o estado do cristal ou do gás. Mais uma vez, a entropia era a chave. Kolmogorov tinha um útil conhecimento prévio a respeito de difíceis problemas físicos aos quais esses novos métodos poderiam ser aplicados. Em 1941, havia produzido o primeiro entendimento (ainda imperfeito) da estrutura local dos fluxos turbulentos — equações para prever a distribuição de vértices e correntes. Tinha também trabalhado com perturbações nas órbitas planetárias, outro problema surpreendentemente intratável para a física clássica newtoniana. Agora Kolmogorov começava a estabelecer as fundações para o renascimento na teoria do caos que teria início nos anos 1970: a análise de sistemas dinâmicos em termos de entropia e dimensão da informação. Agora fazia sentido dizer que um sistema dinâmico produz informação. Se é imprevisível, produz muita informação.

Kolmogorov nada sabia a respeito de Gregory Chaitin, e nenhum dos dois ouvira falar de um teórico norte-americano da probabilidade chamado Ray Solomonoff, que havia desenvolvido algumas das mesmas ideias. O mundo estava mudando. Tempo, distância e idioma ainda separavam os matemáticos da Rússia de seus pares ocidentais, mas a distância se tornava menor a cada ano. Kolmogorov costumava dizer que ninguém deveria trabalhar com matemática depois dos sessenta anos. Ele sonhava passar seus últimos anos como encarregado da manutenção de boias de navegação no Volga, percorrendo um circuito aquático num barco equipado com remos e uma pequena vela.[26] Quando

seu momento chegou, os encarregados das boias tinham adotado as lanchas a motor e, para Kolmogorov, isso arruinou seu sonho.

Mais uma vez, os paradoxos retornavam.

Zero é um número interessante. Livros foram escritos a seu respeito. O um é sem dúvida um número interessante — é o primeiro de todos (excluído o zero), o singular e o único. O dois é interessante de todas as maneiras possíveis: o menor dos primos, o número par definitivo, o número necessário para um casamento de sucesso, o número atômico do hélio, o número de velas que são acesas no Dia da Independência da Finlândia. *Interessante* é uma palavra cotidiana, não faz parte do jargão da matemática. Parece seguro supor que todo número pequeno é interessante. Todos os números de dois dígitos e muitos dos números de três dígitos têm seus próprios verbetes na Wikipédia.

Os teóricos dão nome a classes inteiras de números interessantes: números primos, números perfeitos, quadrados e cubos, números de Fibonacci, fatoriais. O número 593 é mais interessante do que parece; trata-se por acaso da soma de nove ao quadrado e dois à nona potência — sendo portanto um "número de Leyland" (todo número que possa ser expresso na forma $x^y + y^x$). A Wikipédia também dedica um verbete ao número 9814072356, o maior quadrado holodigital — ou seja, o maior número quadrado contendo cada dígito decimal exatamente uma vez.

O que seria um número desinteressante? Um número aleatório, supostamente. O teórico britânico dos números G. H. Hardy embarcou no táxi número 1729 para visitar o convalescente Srinivasa Ramanujan em 1917 e comentou com o colega que, em relação a números, 1729 era "um exemplo algo monótono". Pelo contrário, respondeu Ramanujan (de acordo com a anedota contada pelos matemáticos), aquele era o menor número passível de ser expresso como a soma de dois cubos sob duas maneiras diferentes.[b] "Cada um dos números inteiros positivos é um amigo pessoal de Ramanujan", comentou J. E. Littlewood. Graças à anedota, hoje 1729 é conhecido como o número de Hardy-Ramanujan. E isso não é tudo: 1729 é também um número de Carmichael, um

pseudoprimo de Euler e um número de Zeisel.

Mas até a mente de Ramanujan era finita, assim como a Wikipédia, e assim como a soma de todo o conhecimento humano, de modo que a lista de números interessantes deve terminar em algum lugar. Certamente deve haver um número a respeito do qual não se possa dizer nada de especial. Seja qual for, eis um paradoxo: trata-se de um número que poderíamos descrever, com interesse, como “o menor número desinteressante”.

Isso nada mais é do que o paradoxo de Berry renascido, aquele descrito por Bertrand Russell nos *Principia Mathematica*. Berry e Russell tinham indagado, diabolicamente: qual é o menor número inteiro impossível de ser nomeado em menos de dezenove sílabas? Qualquer que seja o número, ele pode ser escrito em língua inglesa em dezoito sílabas da seguinte maneira: *the least integer number not nameable in fewer than nineteen syllables*. Explicações para o motivo pelo qual um número é interessante são formas de nomeá-lo: “o quadrado de onze”, por exemplo, ou “o número de estrelas na bandeira americana”. Alguns desses números não parecem particularmente úteis, e alguns são um pouco confusos. Alguns são fatos matemáticos puros: um número que pode, por exemplo, ser expresso como a soma de dois cubos de duas maneiras diferentes. Mas alguns são fatos a respeito do mundo, ou da linguagem, ou dos seres humanos, e podem ser acidentais e efêmeros — se um número corresponde a uma estação de metrô, por exemplo, ou uma data de importância histórica.

* 1729 = 13 + 123 = 93 + 103

Chaitin e Kolmogorov reviveram o paradoxo de Berry ao inventarem a teoria da informação algorítmica. Um algoritmo nomeia um número. “Originalmente, o paradoxo se refere ao inglês, mas é vago demais”,[27] segundo Chaitin. “Escolho em vez disso uma linguagem de programação de computadores.” Naturalmente, ele escolhe a linguagem de uma máquina de Turing universal.

> E o que significa isto, então, como nomear um número inteiro? Bem, nomeamos um número inteiro ao apresentar uma forma de calculá-lo. Um programa nomeia um número inteiro se seu produto for aquele número inteiro — quer dizer, ele produz o número inteiro, apenas um, e então para.

Indagar se um número é interessante é o oposto de perguntar se ele é aleatório. Se o número *n* pode ser computado por um algoritmo que seja relativamente curto, então *n* é interessante. Caso contrário, é aleatório. O algoritmo imprimir 1 e a seguir imprimir 100 zeros produz um número interessante (um googol). De maneira semelhante, encontrar o primeiro número primo, somar a ele o número primo seguinte, e repetir 1 milhão de vezes gera um número interessante: a soma do primeiro milhão de números primos. Uma máquina de Turing precisaria de muito tempo para computar esse número específico, mas, ainda assim, seria um tempo finito. O número é computável.

Mas, se o algoritmo mais conciso para *n* for "imprimir [*n*]" — um algoritmo incorporando o número todo, sem nenhuma abreviação —, então podemos dizer que não há nada de interessante a respeito de *n*. Nos termos de Kolmogorov, esse número é aleatório — de máxima complexidade. Ele terá de ser desprovido de padrões, pois qualquer padrão ofereceria uma forma de desenvolver um algoritmo para abreviá-lo. "Se existir um programa de computador pequeno e conciso capaz de calcular o número, isso significa que ele tem alguma qualidade ou característica que nos permite selecioná-lo e comprimi-lo numa descrição algorítmica mais curta", explica Chaitin. "E isso é incomum; eis um número interessante."

Mas *será mesmo* incomum? Observando os números em geral, como pode um matemático saber se os interessantes são raros ou comuns? Pelo mesmo motivo, ao observar um dado número, poderá um matemático ter certeza da possibilidade de encontrar um algoritmo mais curto? Para Chaitin, essas eram perguntas fundamentais.

Ele respondeu à primeira delas com uma argumentação relacionada à contagem. A grande maioria dos números deve ser desinteressante porque não é possível que haja programas de computador concisos para abranger todos. Conte-os. Dados mil bits (digamos), temos $2^{1000}$ números, mas a quantidade de programas de computador úteis que podem ser escritos em mil bits é muito menor do que isso. "Há vários números inteiros positivos", afirma Chaitin. "Se os programas precisam ser menores, então simplesmente não haverá uma quantidade suficiente deles para nomear todos esses números inteiros positivos

diferentes.” Assim, a maioria dos *n*’s de um dado comprimento é aleatória.

A questão seguinte era muito mais desafiadora. Sabendo que a maioria dos números é aleatória, e dado um número *n* particular, poderão os matemáticos provar que ele é aleatório? Não é possível sabê-lo pela observação direta. Com frequência pode-se comprovar o oposto, que *n* é interessante: nesse caso, eles só precisam encontrar um algoritmo curto que resulte em *n*. (Tecnicamente, este deve ser mais curto do que $\log_2 n$ bits, o número necessário para escrever *n* na linguagem binária.) Provar o contrário é uma história diferente. “Por mais que a maioria dos inteiros positivos seja desinteressante”, declarou Chaitin, “nunca se pode ter certeza. […] Podemos comprová-lo apenas num pequeno número de casos.” Pode-se imaginar a tentativa de fazê-lo por meio da força bruta, escrevendo cada algoritmo possível e testando-os um a um. Mas um computador terá de se encarregar dos testes — um algoritmo testando outros algoritmos — e, logo, como demonstrou Chaitin, surge uma nova versão do paradoxo de Berry. Em vez do “menor número desinteressante”, acabamos invariavelmente encontrando uma afirmação sob a forma do “menor número que podemos comprovar que não pode ser nomeado em menos de *n* sílabas”. (Não estamos mais falando em sílabas, é claro, mas em estados de uma máquina de Turing.)[c] Trata-se de outra reviravolta recursiva e circular. Essa era a versão de Chaitin para a incompletude de Gödel. A complexidade, definida em termos do tamanho de um programa, é em geral incomputável. Dada uma sequência arbitrária de 1 milhão de dígitos, um matemático sabe que esta é quase certamente aleatória, complexa e desprovida de padrão — mas não pode ter absoluta certeza disso.

Chaitin realizou esse trabalho em Buenos Aires. Quando ainda era adolescente, antes de poder se formar na Universidade Municipal, seus pais se mudaram de volta para a Argentina, e lá ele conseguiu um emprego na ibm World Trade. Ele continuou nutrindo sua obsessão por Gödel e pela incompletude, enviando estudos à Sociedade Matemática Americana e à Associação para as Máquinas Computadoras. Oito anos mais tarde, Chaitin retornou aos Estados Unidos para visitar o centro de pesquisas da ibm em Yorktown Heights, em Nova York, e fez um telefonema a seu herói, que estava perto de completar setenta anos, no Instituto de Estudos Avançados em

Princeton. Gödel atendeu, e Chaitin se apresentou, dizendo ter uma nova abordagem para a incompletude, baseada no paradoxo de Berry em vez do paradoxo do mentiroso.

"O paradoxo usado não faz diferença",[28] respondeu Gödel.

"Sim, mas…" Chaitin disse que estava no rastro de uma nova visão "teórico-informacional" da incompletude e perguntou se poderia procurar Gödel em Princeton. Ele estava hospedado na acm em White Plains e tomaria o trem, fazendo a baldeação em Nova York. Gödel concordou, mas, quando chegou o dia, cancelou o encontro. Estava nevando, e ele temeu por sua saúde. Chaitin nunca pôde se reunir com ele. Gödel, cada vez mais instável, temendo o envenenamento, morreu no inverno de 1978 de inanição autoinduzida.

Chaitin passou o restante da carreira no Centro de Pesquisas Watson da ibm, um dos últimos grandes cientistas a serem tão bem pagos num trabalho sem nenhuma utilidade aparente para a corporação que o patrocinava. Ele às vezes dizia que estava se "escondendo" num departamento de física; tinha a sensação de que os matemáticos mais convencionais o desconsideravam, tratando-o como um "físico enrustido". Seu trabalho tratava a matemática como um tipo de ciência empírica — não como uma ponte platônica para a verdade absoluta, e sim um programa de pesquisas sujeito às contingências e incertezas do mundo. "Apesar da incompletude, da incomputabilidade e até da aleatoriedade algorítmica", disse ele, "os matemáticos não querem abrir mão da certeza absoluta. Por quê? Bem, a certeza absoluta é como Deus."[29]

Na física quântica e, posteriormente, no caos, os cientistas encontraram os limites para seu conhecimento. Eles exploraram a frutífera incerteza que de início tanto irritou Einstein, que não queria acreditar que Deus jogasse dados com o universo. A teoria algorítmica da informação aplica as mesmas limitações ao universo dos números inteiros — um universo mental, ideal. Nas palavras de Chaitin: "Deus joga dados não apenas na mecânica quântica e na dinâmica não linear; Ele o faz até na teoria elementar dos números".[30]

Entre as lições aprendidas estavam as seguintes:

- A maioria dos números é aleatória. Mas pouquíssimos deles podem ter sua aleatoriedade *comprovada*.
- Um fluxo caótico de informações pode, ainda assim, ocultar um algoritmo simples. Rastrear o algoritmo a partir do caos pode ser impossível.
- A complexidade Kolmogorov-Chaitin (kc) é para os matemáticos aquilo que a entropia representa para a termodinâmica: o antídoto para a perfeição. Assim como não podemos ter máquinas de movimento perpétuo, não pode haver sistemas axiomáticos formais completos.
- Alguns fatos matemáticos são verdadeiros sem nenhum motivo. Eles são acidentais, carecendo de uma causa ou de um significado mais profundo.

Joseph Ford, um físico que estudava o comportamento de sistemas dinâmicos imprevisíveis nos anos 1980, afirmou que Chaitin tinha "charmosamente capturado a essência da questão"[31] ao mostrar o caminho da incompletude de Gödel até o caos. Esse era o "significado mais profundo do caos", declarou Ford:

> As órbitas caóticas existem, mas são filhas de Gödel, tão complexas, tão cobertas de informação que os humanos jamais poderão compreendê-las. Mas o caos é onipresente na natureza; portanto, o universo é repleto de incontáveis mistérios que o homem nunca poderá compreender.

Ainda assim, tentamos medi-los.

*Quanta informação…?*

Quando um objeto (um número ou um fluxo de bits ou um sistema dinâmico) pode ser expresso de uma maneira diferente usando menos bits, ele é compreensível. Um operador telegráfico econômico prefere enviar a versão comprimida. Como o espírito econômico dos operadores telegráficos que mantinha as luzes acesas nos Laboratórios Bell, era natural que Claude Shannon

explorasse a compressão de dados, tanto teórica como prática. A compressão era fundamental para sua visão: seu trabalho com a criptografia durante a guerra analisava as formas de dissimular a informação numa extremidade e de recuperá-la na outra; do mesmo modo, a compressão de dados codifica a informação com uma motivação diferente — o uso eficiente da largura de banda. Os canais de televisão via satélite, reprodutores portáteis de música, câmeras, telefones e incontáveis equipamentos modernos dependem de algoritmos de codificação para comprimir números — sequências de bits —, e esses algoritmos têm seus ancestrais no estudo original de Shannon, de 1948.

O primeiro deles, hoje chamado de codificação Shannon-Fano, veio de seu colega Robert M. Fano. Começou com a simples ideia de atribuir códigos curtos a símbolos frequentes, como no código Morse. Mas eles sabiam que aquele método não era o melhor: não seria possível depender dele para produzir as mensagens mais curtas possíveis. Em três anos, foi ultrapassado pelo trabalho de um estudante de pós-graduação orientado por Fano no mit, David Huffman. Nas décadas que se passaram desde então, versões do algoritmo de codificação de Huffman comprimiram muitos, muitos bytes.

Ray Solomonoff, filho de imigrantes russos que estudava na Universidade de Chicago, conheceu o trabalho de Shannon no início dos anos 1950 e começou a pensar naquilo que chamava de Problema do Empacotamento da Informação: quanta informação poderia ser "empacotada" num dado número de bits, ou, ao contrário, dada uma quantidade de informação, como seria possível empacotá-la na menor quantidade possível de bits.[32] Ele tinha se formado em física, estudado biologia matemática, probabilidade e lógica nas horas vagas, e conhecido Marvin Minsky e John McCarthy, pioneiros naquilo que em pouco tempo passaria a ser chamado de inteligência artificial. E leu também o estudo original e pouco convencional de Noam Chomsky, "Três modelos para a descrição da linguagem",[33] aplicando as novas ideias da teoria da informação à formalização da estrutura na linguagem. Tudo isso estava pulsando dentro da mente de Solomonoff — ele não sabia ao certo aonde aquilo iria levá-lo, mas viu-se cada vez mais concentrado no problema da *indução*. Como as pessoas criam teorias para descrever sua forma de experimentar o mundo? É preciso fazer

generalizações, encontrar padrões em dados que sempre são influenciados pela aleatoriedade e pelo ruído. Seria possível habilitar uma máquina a fazê-lo? Em outras palavras, seria possível levar um computador a aprender com a própria experiência?

Ele bolou uma resposta elaborada e a publicou em 1964. Era um tanto idiossincrática e foi pouco notada até os anos 1970, quando Chaitin e Kolmogorov descobriram que Solomonoff havia antecipado as características essenciais daquilo que era então chamado de teoria algorítmica da informação. Com efeito, Solomonoff também estivera pensando em como um computador poderia observar sequências de dados — sequências numéricas ou conjuntos de bits — e medir sua aleatoriedade e seus padrões ocultos. Quando os humanos ou os computadores aprendem a partir de sua experiência, eles estão usando a indução: reconhecendo regularidades em meio a fluxos irregulares de informação. A partir desse ponto de vista, as leis da ciência representam a compressão de dados em ação. Um físico teórico age como um algoritmo de codificação muito inteligente. “As leis da ciência que foram descobertas podem ser vistas como sumários de grandes quantidades de dados empíricos a respeito do universo”,[34] escreveu Solomonoff. “No contexto atual, cada lei desse tipo pode ser transformada num método de codificação compacta dos dados empíricos que possibilitaram a definição da lei.” Uma boa teoria científica é econômica. Isso era ainda uma nova maneira de dizê-lo.

Solomonoff, Kolmogorov e Chaitin abordaram três problemas diferentes e chegaram à mesma resposta. Solomonoff estava interessado na inferência indutiva: dada uma sequência de observações, como se pode fazer a melhor previsão em relação àquilo que acontecerá a seguir? Kolmogorov estava procurando uma definição matemática para a aleatoriedade: o que significa dizer que uma sequência é mais aleatória do que outra, quando elas apresentam a mesma probabilidade de emergir a partir de arremessos de uma moeda? E Chaitin estava em busca de um caminho profundo para a incompletude de Gödel por meio de Turing e Shannon — como ele afirmou posteriormente: “colocando a teoria da informação de Shannon e a teoria da computabilidade de Turing numa coqueteleira e agitando-a vigorosamente”.[35] Todos chegaram ao tamanho

mínimo de um programa. E todos eles acabaram falando na complexidade.

O fluxo de bits (ou número) abaixo não é muito complexo, pois é racional:

D: 1428571428571428571428571428571428571428571428571428571…

Pode ser reescrito de maneira concisa como “imprimir 142857 e repetir”, ou de maneira ainda mais concisa, como “1/7”. Se for uma mensagem, a compressão poupa toques. Se for um fluxo de dados recebido, o observador pode reconhecer um padrão, ganhar confiança gradualmente e definir *um sétimo* como teoria para os dados.

Em comparação, esta sequência contém uma surpresa tardia:

E: 10101010101010101010101010101010101010101010101013

O operador telegráfico (ou teórico, ou algoritmo de compressão) precisa prestar atenção à mensagem inteira. Apesar disso, a informação adicional é mínima — a mensagem ainda pode ser comprimida onde quer que exista um padrão. Podemos dizer que ela contém uma parte redundante e uma parte arbitrária.

Foi Shannon quem primeiro mostrou que qualquer coisa não aleatória numa mensagem permite a compressão:

F: 10110101111011011010111010111011110100111011010011110111 0

Cheia de uns, com poucos zeros, essa poderia ser emitida pelo arremesso de uma moeda viciada. A codificação de Huffman e outros algoritmos do tipo exploram regularidades estatísticas para comprimir os dados. Fotografias podem ser comprimidas por causa da estrutura natural de seus objetos: pixels claros e escuros vêm juntos; estatisticamente, os pixels adjacentes apresentam a probabilidade de serem semelhantes; os pixels distantes, não. O vídeo é ainda

mais fácil de comprimir, pois a diferença entre um quadro e o seguinte é relativamente pequena, exceto quando o objeto se move com rapidez e numa trajetória turbulenta. A linguagem natural pode ser comprimida por causa das redundâncias e regularidades que Shannon analisou. Apenas uma sequência totalmente aleatória permanece impossível de comprimir: nada além de uma surpresa após a outra.

As sequências aleatórias são “normais” — termo técnico cujo significado diz que, em média, a longo prazo, cada dígito aparece com a exata mesma frequência dos demais, uma vez em cada dez; e cada par de dígitos, do 00 ao 99, aparece uma vez em cada cem; o mesmo ocorre com cada trio, e assim por diante. Nenhuma sequência de um dado comprimento tem maior probabilidade de aparecer do que qualquer outra sequência de mesmo comprimento. A normalidade é uma daquelas ideias de aparência simples que, quando analisada de perto em termos matemáticos, se mostra coberta de espinhos. Por mais que uma sequência de fato aleatória tenha de ser normal, o inverso não é necessariamente verdadeiro. Um número pode ser estatisticamente normal, mas nem um pouco aleatório. David Champernowne, jovem amigo de Turing em Cambridge, inventou (ou descobriu) tal criatura em 1933 — uma construção feita de todos os números inteiros, acorrentados uns aos outros em ordem:

G: 12345678910111213141516171819202122232425262728293…

É fácil ver que cada dígito, e cada combinação de dígitos, ocorre com igual frequência a longo prazo. Mas a sequência não poderia ser mais aleatória do que isso. Ela apresenta uma estrutura rígida e é completamente previsível. Se sabemos em que ponto estamos, sabemos o que virá a seguir.

Mesmo distante de bizarrices como a de Champernowne, percebe-se que os números normais são difíceis de reconhecer. No universo dos números, a normalidade é a regra. Os matemáticos sabem com certeza que a esmagadora maioria dos números é normal. Os números racionais não são normais, mas sua quantidade é infinitamente sobrepujada pela dos números normais. Ainda assim, depois de solucionar a grande questão geral, os matemáticos quase nunca são

capazes de demonstrar que um número particular seja normal. Isso é, em si, um dos aspectos estranhos mais notáveis da matemática.

Até π retém alguns mistérios:

C: 3,14159265358979323846264338327950288419716939937 51…

Os computadores de todo o mundo gastaram muitos ciclos analisando o primeiro trilhão de dígitos decimais conhecidos dessa mensagem cósmica e, até onde se pode dizer, eles parecem normais. Nenhuma característica estatística foi descoberta — nenhuma tendência nem correlação, seja local ou remota. Trata-se de um número não aleatório quintessencial que parece se comportar aleatoriamente. Dado o enésimo dígito, não existe atalho para adivinhar o enésimo mais um. De novo, o bit seguinte é sempre uma surpresa.

Quanta informação, então, é representada por essa sequência de dígitos? Seria ela rica em informação, como um número aleatório? Ou pobre de informação, como uma sequência ordenada?

É claro que o operador telegráfico poderia poupar muitos toques — uma quantidade infinita, a longo prazo — ao enviar simplesmente a mensagem “π”. Mas isso é uma trapaça. Supõe um conhecimento prévio partilhado pelo emissor e pelo receptor. O emissor precisa antes de mais nada reconhecer essa sequência, e então o receptor precisa saber o que é π, e como pesquisar sua expansão decimal, ou então como calculá-la. Na prática, eles precisam compartilhar um livro de códigos.

Isso não significa, no entanto, que π contenha muita informação. A mensagem essencial pode ser enviada num número menor de toques. O operador telegráfico dispõe de várias estratégias possíveis. Ele pode dizer, por exemplo, “Tome 4, subtraia 4/3, acrescente 4/5, subtraia 4/7, e assim por diante”. Ou seja, o operador telegráfico envia um algoritmo. Essa série infinita de frações converge lentamente para π, de modo que o receptor tem muito trabalho a fazer, mas a mensagem em si é econômica: o conteúdo total de informação é o mesmo independentemente do número de dígitos decimais exigido.
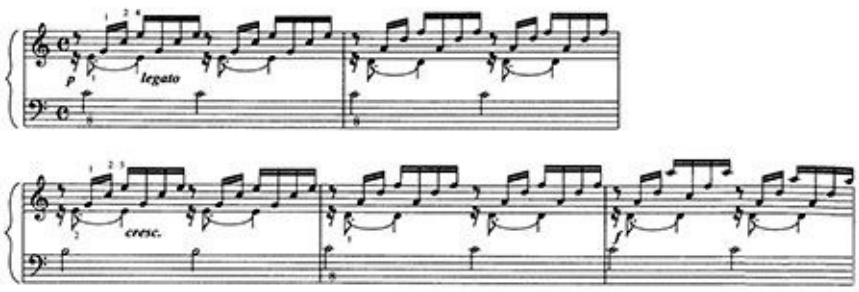
A questão do conhecimento partilhado entre os extremos da linha traz complicações. Às vezes as pessoas gostam de enquadrar esse tipo de problema — o problema do conteúdo informacional nas mensagens — em termos da comunicação com uma forma de vida alienígena numa galáxia distante. O que poderíamos dizer a eles? O que gostaríamos de dizer? Sendo as leis da matemática universais, tendemos a pensar que π seria uma mensagem que qualquer raça inteligente seria capaz de reconhecer. Mas não se pode esperar deles que conheçam a letra grega. Nem se poderia esperar que conhecessem os dígitos decimais "3,1415926535…", a não ser que eles tenham dez dedos.

O emissor de uma mensagem nunca pode conhecer totalmente o livro de códigos mental de seu receptor. Duas luzes numa janela podem não significar nada, ou podem significar "Os ingleses virão pelo mar". Cada poema é uma mensagem diferente para cada leitor. Existe uma maneira de afastar a confusão dessa linha de raciocínio. Chaitin explicou da seguinte maneira:

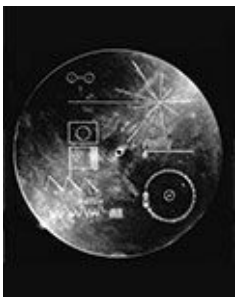
> É preferível considerar a comunicação não com um amigo distante, mas com um computador digital. O amigo pode ter a astúcia de fazer inferências a partir de números ou de construir uma série a partir de informações parciais ou instruções vagas. O computador não tem essa capacidade e, para nossos propósitos, essa deficiência consiste numa vantagem. As instruções dadas a um computador precisam ser completas e explícitas, e precisam permitir que ele proceda passo a passo.36

Em outras palavras: a mensagem é um algoritmo. O receptor é uma máquina; não possui criatividade, nem incerteza, nem conhecimento, a não ser o "conhecimento" que for inerente à estrutura da máquina. Nos anos 1960, os computadores digitais já estavam recebendo suas instruções numa forma medida em bits e, portanto, era natural pensar em quanta informação estaria contida num algoritmo.

Uma mensagem diferente seria a seguinte:




Até para o olhar essa sequência de notas parece não ser aleatória. Por acaso a mensagem que elas representam já está viajando pelo espaço interestelar, a 16 bilhões de quilômetros de sua origem, a uma pequena fração da velocidade da luz. A mensagem não está codificada nessa forma impressa de notação, nem em nenhuma forma digital, e sim como ondas microscópicas num único sulco alongado descrevendo uma espiral gravada num disco de doze polegadas de diâmetro e um quinto de polegada de espessura. O disco poderia ser de vinil, mas, nesse caso, é feito de cobre, banhado a ouro. Essa forma analógica de capturar, preservar e reproduzir o som foi inventada em 1877 por Thomas Edison, que a chamou de fonografia. Essa ainda era a tecnologia sonora mais popular cem anos mais tarde — embora isso logo fosse mudar — e, em 1977, um comitê liderado pelo astrônomo Carl Sagan criou um registro fonográfico específico que teve cópias suas armazenadas num par de naves espaciais batizadas de *Voyager 1* e *Voyager 2*, cada uma do tamanho de um pequeno automóvel, lançadas ao espaço no verão daquele ano a partir do Cabo Canaveral, na Flórida.



*O “disco dourado” incluído na espaçonave Voyager.*

É como se fosse uma mensagem numa garrafa interestelar. A mensagem não tem significado além de seus padrões, o que equivale a dizer que se trata de arte abstrata: o primeiro prelúdio de *O cravo bem temperado*, de Johann Sebastian Bach, conforme tocado no piano por Glenn Gould. De maneira mais geral, talvez o significado seja “Existe vida inteligente aqui”. Além do prelúdio de Bach, a gravação inclui amostras de música de várias culturas diferentes e uma seleção de sons terrenos: vento, ondas do mar e trovões; boas-vindas ditas em 55 idiomas; as vozes de grilos, sapos e baleias; o apito de um navio, o som de uma carroça puxada por
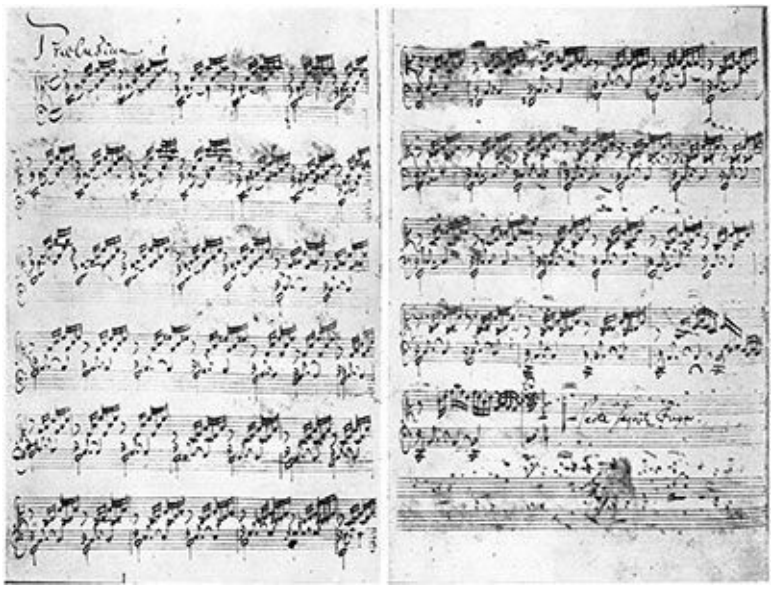
cavalos, e alguns toques em código Morse. Junto com o registro fonográfico, há um cartucho e uma agulha e um breve manual pictográfico de instruções. O comitê não se preocupou em incluir um toca-discos nem uma fonte de eletricidade. Talvez os alienígenas encontrem uma forma de converter aqueles sulcos metálicos em ondas ou seja qual for o fluido que lhes sirva de atmosfera — ou em alguma outra forma adequada a seus sentidos alienígenas.

Seriam eles capazes de reconhecer a estrutura de complexos padrões do prelúdio de Bach (digamos) como algo distinto do ruído mais aleatório e menos interessante dos grilos? Será que a pauta musical transmitiria uma mensagem mais clara — com as notas escritas contendo, afinal, a essência da criação de Bach? E, de maneira mais geral, que tipo de conhecimento seria necessário na extremidade distante da linha — que tipo de livro de códigos — para decifrar a mensagem? Uma apreciação dos contrapontos e dos arranjos de vozes? Uma ideia do contexto tonal e das práticas instrumentais da Europa barroca? Os sons — as notas — vêm em grupos; compõem formas, chamadas melodias; obedecem a regras de uma gramática implícita. Será que a música traz consigo sua própria lógica, independentemente de sua geografia e história? Enquanto isso, na Terra, em questão de poucos anos, antes mesmo de as *Voyagers* terem navegado para além dos limites do sistema solar, a música tinha praticamente deixado de ser registrada na forma analógica. Tornou-se melhor armazenar os sons do *Cravo bem temperado* como bits: os formatos de onda distinguidos sem nenhuma perda de acordo com o teorema de amostragem de Shannon, sendo a informação preservada em dúzias de suportes plausíveis.

Em termos de bits, um prelúdio de Bach pode parecer não conter muita informação. Na forma anotada por Bach em duas páginas manuscritas, este corresponde a seiscentas notas, caracteres de um pequeno alfabeto. Conforme tocado por Glenn Gould num piano em 1964 — acrescentando as camadas de nuance e variação do instrumentista às instruções nuas —, dura menos de um minuto e 36 segundos. O som dessa performance, registrado num cd sob a forma de sulcos microscópicos queimados por um laser num fino disco de plástico policarbonato, abrange 135 milhões de bits. Mas esse fluxo de bits pode ser consideravelmente comprimido sem perda de informação. Da mesma forma, o

prelúdio cabe num pequeno rolo de pianola (descendente do tear Jacquard, predecessor da computação com cartões perfurados); e pode ser codificado eletronicamente com o protocolo midi usando uns poucos milhares de bits. Até a mensagem básica de seiscentos caracteres apresenta tremenda redundância: ritmo constante, timbre uniforme, apenas um breve padrão melódico, uma palavra, repetida de novo e de novo até os compassos finais. É de uma simplicidade famosa e enganadora. A própria repetição cria expectativas e as frustra. Quase nada acontece, e tudo é uma surpresa. “Imortais acordes quebrados de harmonias de uma brancura radiante”, nas palavras de Wanda Landowska. Trata-se da mesma simplicidade de um quadro de Rembrandt — a de fazer muito com muito pouco. Seria então algo rico em informação? Certas músicas podem ser consideradas pobres de informação. Indo a um extremo, a composição de John Cage intitulada *4’33”* não contém “notas” de nenhuma espécie: apenas quatro minutos e 33 segundos de quase silêncio, enquanto a obra absorve os ruídos do ambiente em torno do pianista imóvel — o barulho dos ouvintes inquietos em seus assentos, a fricção dos tecidos de suas roupas, sua respiração e seus suspiros.

Quanta informação há no Prelúdio de Bach em dó maior? Como conjunto de padrões, em relação a seu tempo e sua frequência, o objeto pode ser analisado, rastreado e compreendido, mas somente até certo ponto. Na música, como na poesia e em toda forma de arte, a intenção é manter o entendimento perfeito sempre fora do alcance. Se fosse possível chegar ao fundo da questão, o resultado seria a monotonia.



Assim, em certo sentido, o uso do programa de tamanho mínimo para definir a complexidade parece perfeito — um apogeu adequado para a teoria da informação de Shannon. Num outro sentido, continua sendo bastante insatisfatório. Isso se torna particularmente verdadeiro quando nos voltamos para as grandes questões — as questões humanas, poderíamos dizer — da arte, da biologia e da inteligência.

De acordo com essa medida, 1 milhão de zeros e 1 milhão de arremessos da moeda estariam em extremos opostos do espectro. A sequência vazia é tão simples quanto se pode ser; a sequência aleatória é de complexidade máxima. Os zeros não transmitem nenhuma informação; arremessos da moeda produzem o máximo possível de informação. Ainda assim, esses extremos têm algo em comum. São monótonos. Não têm nenhum valor. Se qualquer um deles fosse uma mensagem vinda de outra galáxia, não atribuiríamos nenhuma inteligência a seu emissor. Se fossem música, careceriam igualmente de valor.

Tudo aquilo com o que nos importamos jaz em algum ponto intermediário, onde padrão e aleatoriedade se entrelaçam.

Chaitin e um colega, Charles H. Bennett, às vezes debatiam essas questões no centro de pesquisas da ibm em Yorktown Heights, em Nova York. No decorrer de um período de anos, Bennett desenvolveu uma nova medida de valor, que chamou de “profundidade lógica”. A ideia de profundidade segundo Bennett está relacionada à complexidade, mas é ortogonal a ela. Seu objetivo é

capturar o grau de utilidade de uma mensagem, seja qual for o significado de utilidade num domínio específico. “Desde os primeiros dias da teoria da informação reconheceu-se que a informação em si não é uma boa medida do valor de uma mensagem”,[37] escreveu ele quando enfim publicou seu esquema, em 1988.

> Uma sequência típica de arremessos de moeda traz um alto conteúdo informacional, mas pouco valor; uma efeméride, dando a posição da Lua e dos planetas em cada dia de um período de cem anos, não traz mais informação do que as equações de movimento e as condições iniciais a partir das quais foram calculadas, mas poupa a seu proprietário o esforço de recalcular essas posições.

A quantidade de trabalho necessária para computar algo fora em geral desconsiderada — posta de lado — em todas as teorias elaboradas a partir das máquinas de Turing, que funcionam, afinal, de maneira tão arrastada. Bennett a trouxe de volta. Não existe profundidade lógica nas partes de uma mensagem que sejam apenas aleatoriedade e imprevisibilidade, assim como não há profundidade lógica na redundância óbvia — mera repetição e cópia. Ele propôs, em vez disso, que o valor de uma mensagem estaria

> naquilo que poderia ser chamado de sua redundância oculta — partes que só podem ser previstas com dificuldade, coisas que o receptor poderia em princípio ter descoberto sem ser ensinado, mas somente mediante um considerável custo em dinheiro, tempo ou computação.

Quando avaliamos o valor da complexidade de um objeto, estamos tateando uma imensa computação oculta. Isso pode ser verdadeiro para a música, ou para uma poesia, uma teoria científica ou um jogo de palavras cruzadas, que dá prazer ao jogador quando não é complexo nem simples em demasia, e sim algo entre os dois extremos.

Matemáticos e lógicos tinham desenvolvido uma tendência a pensar no processamento da informação como algo gratuito — não como o bombeamento da água ou o transporte de pedras. Em nossa época, isso sem dúvida se tornou fácil e barato. Mas ainda é necessário um trabalho, afinal, e Bennett sugere que

reconheçamos esse trabalho, calculemos seu custo na compreensão da complexidade. “Quanto mais sutil for algo, mais difícil sua descoberta”, afirma Bennett. Ele aplicou a ideia da profundidade lógica ao problema da auto-organização: a questão de como as estruturas complexas se desenvolvem na natureza. A evolução começa com simples condições iniciais; surge a complexidade, aparentemente incrementando a si mesma. Sejam quais forem os processos básicos envolvidos, físicos ou biológicos, está em curso algo que começa a se assemelhar à computação.

---

a “Nossa definição da quantidade de informação traz a vantagem de se referir a objetos individuais e não a objetos tratados como membros de um conjunto de objetos com uma distribuição probabilística associada a ele. A definição probabilística pode ser convincentemente aplicada à informação contida, por exemplo, num fluxo de telegramas congratulatórios. Mas não ficaria claro como proceder nessa aplicação a uma estimativa da quantidade de informação contida num romance, por exemplo, ou na tradução de um romance para um outro idioma em relação ao original.” A. N. Kolmogorov, “Combinatorial Foundations of Information Theory and the Calculus of Probabilities”, *Russian Mathematical Surveys*, v. 38, n. 4, pp. 29-43, 1983.

b $1729 = 13 + 123 = 93 + 103$

c Mais precisamente, sua aparência era a seguinte: “A sequência binária finita $S$ com a primeira prova de que $S$ não pode ser descrita por uma máquina de Turing com $n$ estados ou menos” é uma descrição de $S$ no estado $(\log_2 n + cF)$.

# 13. A informação é física
## (*Do bit ao ser*)

> *Quanto maior for a energia, mais rápido os bits se alternam. Terra, ar, fogo e água são, afinal, feitos de energia, mas as diferentes formas que assumem são determinadas pela informação. A energia é necessária para fazer qualquer coisa. A informação é necessária para especificar o que será feito com ela.*
>
> Seth Lloyd, 20061

Em sua breve história, a mecânica quântica suportou mais crises, controvérsias, interpretações (a de Copenhague, a de Bohm, a dos Muitos Mundos, a das Muitas Mentes), implosões sectárias e embates filosóficos em geral do que qualquer outra ciência. Ela é cheia de alegres mistérios. Desconsidera sem maiores preocupações a intuição humana. Albert Einstein morreu sem se reconciliar com suas consequências, e Richard Feynman não estava brincando quando disse que ninguém é capaz de compreendê-la. Talvez as discussões a respeito da natureza da realidade sejam de esperar — a física quântica, tão incrivelmente bem-sucedida na prática, lida em teoria com a base de tudo, e seus próprios fundamentos são o tempo todo reconstruídos. Mesmo assim, o fermento às vezes parece mais religioso do que científico.

"Como chegamos a essa situação?",[2] indaga Christopher Fuchs, teórico quântico dos Laboratórios Bell e, na época, do Perimeter Institute, no Canadá.

> Basta ir a qualquer reunião para ter a impressão de estarmos numa cidade santa agitada por um grande tumulto. Encontramos todas as religiões com seus sacerdotes envolvidos numa guerra santa — os Bohmianos, os Historiadores Consistentes, os Transacionalistas, os seguidores do Colapso Espontâneo, os Einselecionistas, os Objetivistas Contextuais, os Everetticos declarados, e muitos mais além deles. Todos afirmam ter visto a luz, a luz definitiva. Cada um nos diz que, se aceitarmos sua solução como nossa salvadora, então também veremos a luz.

É hora, diz ele, de começar de novo. Jogar fora os axiomas quânticos existentes, únicos e matemáticos, e retornar aos princípios físicos profundos. "Tais princípios devem ser claros; devem ser convincentes. Devem agitar a

alma.” E onde devemos encontrar tais princípios? Fuchs responde à sua própria pergunta: na teoria quântica da *informação*.

“O motivo é simples e, creio, inescapável”,[3] declara ele. “A mecânica quântica sempre foi uma questão de informação; mas a comunidade dos físicos se esqueceu disso.”




*Auxílio visual criado por Christopher Fuchs.*

Um físico que não se esqueceu disso — ou que redescobriu esse aspecto — foi John Archibald Wheeler, pioneiro da fissão nuclear, aluno de Bohr e professor de Feynman, aquele que atribuiu nome aos buracos negros, o último gigante da física do século xx. Wheeler era dado a epigramas e comentários aforísticos. *Um buraco negro não possui cabelos* foi sua famosa maneira de afirmar que nada além de massa, carga e rotação pode ser percebido a partir do exterior. “Isso nos ensina”, escreveu ele, “que o espaço pode ser amassado como um pedaço de papel num ponto infinitesimal, que o tempo pode ser apagado como uma chama, e que as leis da física que consideramos ‘sagradas’, imutáveis, estão longe de sê-lo.”[4] Em 1989, ele nos ofereceu sua última expressão de efeito: *Do bit ao ser*. Sua perspectiva era extrema. Era imaterialista: primeiro a informação, depois tudo o mais. “Em outras palavras”,[5] disse ele,

> todo ser — toda partícula, todo campo de força, até o próprio continuum tempo-espaço — deriva sua função, seu significado, sua própria existência […] dos *bits*.

Por que a natureza tem uma aparência quantizada? Porque a informação é quantizada. O bit é a partícula indivisível definitiva.

Entre os fenômenos da física que empurraram a informação para o centro da

primeira fila, nenhum era mais espetacular do que os buracos negros. Inicialmente, é claro, eles pareciam não envolver a informação de maneira nenhuma.

Os buracos negros eram fruto da mente de Einstein, embora ele não tenha vivido para saber de sua existência. Já em 1915, ele estabelecera que a luz tinha de se submeter à força da gravidade; que a gravidade curva o tecido do tempo-espaço; e que uma massa suficiente, compactada em si, como numa densa estrela, acabaria desabando sobre si mesma, intensificando sua gravidade e contraindo-se ilimitadamente. Foi necessário quase meio século a mais para que encarássemos as consequências, pois elas são estranhas. Qualquer coisa entra, nada sai. No centro jaz a singularidade. A densidade se torna infinita; a gravidade se torna infinita; o tempo-espaço se curva infinitamente. Tempo e espaço são trocados entre si. Como nenhuma luz, nenhum tipo de sinal, pode escapar de seu interior, tais coisas são de uma invisibilidade quintessencial. Wheeler começou a chamá-los de “buracos negros” em 1967. Os astrônomos estão certos de terem encontrado alguns deles, por inferência gravitacional, e ninguém é capaz de saber o que há lá dentro.

A princípio os astrofísicos se concentraram na questão da matéria e da energia caindo em seu interior. Posteriormente começaram a se preocupar com a informação. Um problema surgiu quando Stephen Hawking, acrescentando efeitos quânticos aos cálculos habituais a respeito da relatividade geral, argumentou em 1974 que os buracos negros deveriam, afinal, irradiar partículas — uma consequência das flutuações quânticas perto do horizonte de eventos.[6] Em outras palavras, os buracos negros evaporam lentamente. O problema é que a radiação de Hawking era monótona e desprovida de características. Trata-se de uma radiação térmica — calor. Mas a matéria que cai *dentro* do buraco negro transporta informação em sua própria estrutura, sua organização, seus estados quânticos — em termos de mecânica estatística, seus microestados acessíveis. Enquanto a informação ausente permanecesse fora do alcance, além do horizonte de eventos, os físicos não tinham que se preocupar com ela. Poderiam dizer que estava inacessível, mas não tinha sido destruída. “Todas as cores concordarão no escuro”, como dissera Francis Bacon em 1625.

No entanto, a radiação de Hawking que sairia dos buracos negros não transporta informação. Se o buraco negro evapora, para onde vai a informação? De acordo com a mecânica quântica, a informação nunca pode ser destruída. As leis deterministas da física exigem que os estados de um sistema físico num dado instante determinem o estado no instante seguinte. Em detalhes microscópicos, as leis são reversíveis, e a informação precisa ser preservada. Hawking foi o primeiro a afirmar com convicção — e até com certo alarme — que esse era um problema capaz de desafiar as próprias bases da mecânica quântica. A perda da informação violaria a unitariedade, o princípio segundo o qual as probabilidades devem resultar numa soma de resultado igual a um. “Além de jogar dados, Deus às vezes os lança onde não podem ser vistos”, afirmou Hawking. Em meados de 1975, ele entregou à *Physical Review* um estudo de manchete dramática: “O desabar da física no colapso gravitacional”. A revista o segurou por mais de um ano antes de publicá-lo com um título mais ameno.[7]

Como Hawking esperava, outros físicos apresentaram objeções veementes. Entre eles estava John Preskill, do Instituto de Tecnologia da Califórnia, que continuava a acreditar que a informação não poderia ser perdida: mesmo quando um livro é incendiado, em termos da física, se fosse possível rastrear cada fóton e cada fragmento de cinza, seria possível fazer uma integração reversa e reconstruí-lo. “A perda da informação é altamente infecciosa”,[8] alertou Preskill num Seminário Teórico do Caltech. “É muito difícil modificar a teoria quântica a ponto de fazê-la acomodar uma pequena quantidade de perda de informação sem que isso contamine todos os processos.” Em 1997 ele fez uma célebre aposta com Hawking, dizendo que a informação teria de encontrar uma forma de escapar do buraco negro. Eles apostaram uma enciclopédia a ser escolhida pelo vencedor. “Alguns físicos têm a sensação de que a questão do que ocorre num buraco negro é acadêmica ou mesmo teológica, como debater o sexo dos anjos”,[9] disse Leonard Susskind, de Stanford, tomando o lado de Preskill. “Mas não é nada disso: o que está em jogo são as regras futuras da física.” Nos anos seguintes, foi proposta uma cornucópia de soluções. O próprio Hawking chegou a declarar em determinado momento: “Creio que a informação provavelmente é passada para um outro universo. Ainda não fui capaz de demonstrar isso em termos matemáticos”.[10]

Foi somente em 2004 que Hawking, aos 62 anos, voltou atrás e declarou-se perdedor da aposta. Ele anunciou que tinha encontrado uma maneira de mostrar que a gravidade quântica é unitária, afinal, e que a informação é preservada. Aplicou um formalismo de indeterminação quântica — a integração funcional da "soma de todas as histórias" de Richard Feynman — à própria topologia do tempo-espaço e declarou, na prática, que os buracos negros nunca são inequivocamente negros. "A confusão e o paradoxo surgiram porque as pessoas pensaram em termos clássicos de uma topologia única para o tempo-espaço", escreveu ele.[a] Sua nova formulação pareceu pouco clara para alguns físicos e deixou muitas perguntas sem resposta, mas ele demonstrou firmeza num aspecto. "Não existe um universo infante se desenvolvendo ali, como antes pensei",[11] escreveu Hawking. "A informação permanece firmemente em nosso universo. Sinto muito por desapontar os fãs da ficção científica." Ele deu a Preskill um exemplar de *Beisebol Total: A enciclopédia definitiva do beisebol*, somando 2688 páginas — "a partir da qual a informação pode ser recuperada com facilidade", afirmou ele. "Mas talvez fosse melhor ter dado apenas as cinzas."

Charles Bennett chegou à teoria quântica da informação por meio de um caminho bastante diferente. Muito antes de desenvolver sua ideia da profundidade lógica, ele estava pensando a respeito da "termodinâmica da computação"[12] — um tema peculiar, pois o processamento da informação era em geral tratado como algo desprovido de corpo. "A termodinâmica da computação, se alguém parasse para pensar nela, teria provavelmente parecido ser um tema de investigação científica mais urgente do que, digamos, a termodinâmica do amor", segundo Bennett. É como a energia do pensamento. Calorias são consumidas, mas ninguém as está contando.

Causando ainda mais estranhamento, Bennett tentou investigar a termodinâmica do computador menos termodinâmico de todos — a inexistente, abstrata e idealizada máquina de Turing. O próprio Turing nunca tinha se preocupado com a possibilidade de seu experimento mental consumir energia ou irradiar calor enquanto se ocupa do processo de avançar e recuar nas fitas

imaginárias de papel. Mas, no início dos anos 1980, Bennett estava falando em usar fitas da máquina de Turing como combustível, medindo em bits seu conteúdo calórico. Ainda assim, um experimento mental, claro, significava se concentrar numa questão muito real: qual é o custo físico do trabalho lógico? “Os computadores”, escreveu ele, provocador, “podem ser considerados motores capazes de transformar a energia livre em calor desperdiçado e trabalho matemático.”[13] A entropia voltava a emergir. Uma fita cheia de zeros, ou uma fita codificando as obras de Shakespeare, ou uma fita ensaiando os dígitos de π, tem “valor combustível”. Uma fita aleatória não tem tal propriedade.

Bennett, filho de dois professores de música, cresceu em Westchester, subúrbio de Nova York; estudou química em Brandeis e depois em Harvard nos anos 1960. James Watson estava em Harvard na época, lecionando sobre o código genético, e Bennett trabalhou para ele durante um ano como professor assistente. Obteve seu doutorado em dinâmica molecular, fazendo simulações de computador que rodavam durante a noite numa máquina cuja memória era de aproximadamente 20 mil dígitos decimais, gerando páginas e mais páginas de papel dobrado. Buscando um maior poder de computação para dar continuidade às pesquisas em movimento molecular, foi ao Laboratório Lawrence Livermore, em Berkeley, na Califórnia, e ao Laboratório Nacional Argonne, em Illinois, juntando-se por fim à divisão de pesquisas da ibm em 1972.

A ibm não fabricava máquinas de Turing, é claro. Mas, em algum momento, ocorreu a Bennett que uma máquina de Turing de propósito específico já tinha sido encontrada na natureza: rna polimerase. Ele havia aprendido a respeito da polimerase diretamente com Watson. Trata-se da enzima que percorre um gene — sua “fita” — transcrevendo o dna. Ela avança para a esquerda e para a direita; seu estado lógico muda de acordo com a informação química escrita em sequência; e seu comportamento termodinâmico pode ser medido.

No mundo real da computação dos anos 1970, o hardware tinha rapidamente adquirido uma eficiência no consumo de energia milhares de vezes mais avançada do que na era inicial das válvulas termiônicas. Ainda assim, os computadores eletrônicos dissipam uma energia considerável sob a forma de calor desperdiçado. Quanto mais se aproximam de seu consumo teórico mínimo

de energia, maior a urgência com a qual os cientistas investigam qual seria exatamente esse mínimo teórico. Von Neumann, trabalhando com seus grandes computadores, fez um cálculo aproximado já em 1949, propondo uma quantidade de calor que precisaria ser dissipada "a cada ato elementar de informação, ou seja, a cada decisão elementar entre duas alternativas e a cada transmissão elementar de uma unidade de informação".[14] Ele usou como base para o cálculo o trabalho molecular feito num modelo de sistema termodinâmico pelo demônio de Maxwell, conforme reimaginado por Leó Szilárd.[b] Segundo Von Neumann, o preço é pago a cada ato elementar de processamento da informação, a cada escolha entre duas alternativas. Nos anos 1970, isso era geralmente aceito. Mas a ideia está errada.

O erro de Von Neumann foi descoberto pelo cientista que se tornaria o mentor de Bennett na ibm, Rolf Landauer, um exilado da Alemanha nazista.[15] Landauer dedicou sua carreira ao estabelecimento das bases físicas da informação. "A informação é física" foi o título de um estudo famoso, cujo objetivo era lembrar a comunidade de que a computação exige objetos físicos e obedece às leis da física. Para que ninguém se esquecesse, ele deu a um ensaio posterior — que seria seu último — o título de "A informação é inevitavelmente física". Ele insistiu que o bit, fosse uma marca numa placa de pedra ou um buraco num cartão perfurado ou uma partícula de spin ascendente ou descendente, não poderia existir sem *algum tipo* de encarnação. Em 1961, Landauer tentou demonstrar a fórmula de Von Neumann para o custo do processamento da informação e descobriu que não podia fazê-lo. Pelo contrário, parecia que a maioria das operações lógicas não tinha nenhum custo em termos de entropia. Quando um bit muda de zero para um, e vice-versa, a informação é preservada. O processo é reversível. A entropia não muda — nenhum calor precisa ser dissipado. Ele argumentou que somente uma operação irreversível aumentaria a entropia.

Landauer e Bennett eram uma dupla e tanto: um pesquisador à moda antiga da ibm e um hippie de cabelos desgrenhados (na visão de Bennett, pelo menos).[16] O cientista mais jovem investigou o princípio de Landauer ao analisar cada tipo de computador que pudesse imaginar, real e abstrato, das máquinas de

Turing e do rna mensageiro aos computadores “balísticos”, que transportavam sinais por meio de algo parecido com bolas de bilhar. Ele confirmou que um volume substancial de computação poderia ser realizado sem nenhum custo em termos de energia. Bennett descobriu que, em todos os casos, a dissipação do calor ocorre somente quando a informação é *apagada*. O apagamento é a operação lógica irreversível. Quando o cabeçote de uma máquina de Turing apaga um quadrado da fita, ou quando um computador eletrônico limpa o conteúdo de um capacitor, um bit é perdido, e *então* o calor precisa ser dissipado. No experimento mental de Szilárd, o demônio não incorre num custo em termos de entropia quando observa ou escolhe uma molécula. O pagamento se dá no momento de limpar o registro, quando o demônio apaga uma observação para abrir espaço para a seguinte.

O esquecimento exige trabalho.

“Poderíamos dizer que essa é a vingança da teoria da informação contra a mecânica quântica”,[17] disse Bennett. Às vezes uma ideia bem-sucedida num campo pode impedir o progresso em outro. Nesse caso, a ideia de sucesso era o princípio da incerteza, que tornou claro o papel central desempenhado pelo próprio processo de medição. Não se pode mais falar simplesmente em “observar” uma molécula; o observador precisa empregar fótons, e os fótons precisam ser mais energéticos do que o contexto térmico, e daí são derivadas complicações. Na mecânica quântica, o ato de observar traz suas próprias consequências, seja ele realizado por um cientista de laboratório, seja pelo demônio de Maxwell. A natureza é sensível a nossos experimentos.

“A teoria quântica da radiação ajudou as pessoas a chegar à conclusão incorreta de que a computação teria um custo termodinâmico irredutível por operação”, segundo Bennett. “No outro caso, o sucesso da teoria do processamento da informação de Shannon levou as pessoas a abstrair completamente toda a física do processamento de informações, pensando nele como algo apenas matemático.” À medida que engenheiros da comunicação e projetistas de chips se aproximavam dos níveis atômicos, começavam a se

preocupar cada vez mais com a interferência das limitações quânticas em sua capacidade clássica e limpa de distinguir estados correspondentes a zero e um. Mas àquela altura eles voltaram ao problema — e foi então, por fim, que a ciência quântica da informação nasceu. Bennett e outros começaram a pensar de maneira diferente: os efeitos quânticos, em vez de serem inconvenientes, poderiam ser convertidos numa vantagem.

Encostado feito uma penteadeira na parede de seu escritório no laboratório de pesquisas da ibm nas verdejantes colinas de Westchester, há um dispositivo vedado à entrada da luz chamado Tia Martha (versão mais curta de “caixão da Tia Martha”). Bennett e seu assistente de pesquisa, John Smolin, improvisaram sua construção em 1988 e 1989 com uma pequena ajuda da oficina de maquinário da empresa: uma caixa de alumínio pintada de preto com tinta spray do lado de dentro e selada com encostos de borracha e veludo preto.[18] Usando um laser de néon-hélio para manter o alinhamento e células de alta voltagem para polarizar os fótons, eles enviaram a primeira de todas as mensagens codificadas com criptografia quântica. Tratava-se da demonstração de uma tarefa de processamento de informação que só poderia ser cumprida com eficácia por meio de um sistema quântico. Correção quântica de erro, teleportação quântica e computadores quânticos viriam logo a seguir.

A mensagem quântica era trocada entre Alice e Bob, um par mítico onipresente. Alice e Bob surgiram na criptografia, mas agora pertencem ao pessoal da quântica. Ocasionalmente recebem a companhia de Charlie. Estão o tempo todo entrando em diferentes cômodos, arremessando moedas e enviando envelopes fechados uns aos outros. Eles escolhem estados e realizam rotações de Pauli. “Dizemos coisas do tipo ‘Alice envia um qubit a Bob e esquece o que fez’, ‘Bob faz uma medição e conta a Alice’”,[19] explica Barbara Terhal, colega de Bennett e integrante da geração seguinte de teóricos quânticos da informação. A própria Terhal investigou se Alice e Bob são *monogâmicos* — outro termo científico, naturalmente.

No experimento da Tia Martha, Alice envia informação a Bob, criptografada de modo que não possa ser lida por um terceiro participante malévolo (Foca, a fofoqueira). Se os dois conhecerem a chave, Bob será capaz de decifrar a

mensagem. Mas, antes de mais nada, como Alice poderá mandar a chave a Bob? Bennett e Gilles Brassard, um cientista da computação de Montreal, começaram pela codificação de cada bit de informação como um único objeto quântico, como um fóton. A informação reside nos estados quânticos do fóton — sua polarização horizontal ou vertical, por exemplo. Enquanto na física clássica um objeto, tipicamente composto de bilhões de partículas, pode ser interceptado, monitorado, observado e passado adiante, um objeto quântico não é passível de tais ações. Não pode ser copiado nem clonado. Inevitavelmente, o ato da observação perturba a mensagem. Não importa o quanto os fofoqueiros tentem bisbilhotar, é impossível que escapem sem ser detectados. Seguindo um intrincado e complexo protocolo desenvolvido por Bennett e Brassard, Alice gera uma sequência de bits aleatórios que será usada como chave, e Bob é capaz de estabelecer uma sequência idêntica em seu extremo da linha.[20]

Os primeiros experimentos com o caixão da Tia Martha eram capazes de enviar bits quânticos por uma distância aérea de 32 centímetros. Não era nenhum *Venha cá, sr. Watson, desejo vê-lo*, mas foi um fato pioneiro na história da criptografia: uma chave criptográfica absolutamente inquebrável. Experimentos posteriores avançaram para a fibra óptica. Bennett, enquanto isso, avançou para a teleportação quântica.

Ele logo se arrependeu daquele nome, quando o departamento de marketing da ibm incluiu seu trabalho num anúncio com a chamada “Aguarde: vou teleportar a você um pouco de goulash”.[21] Mas o nome pegou, porque a teleportação funcionou. Alice não envia goulash — ela envia qubits.[c]

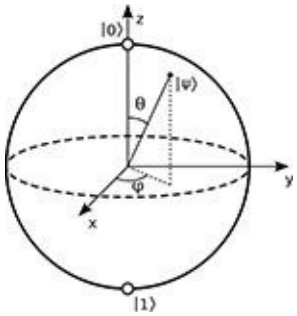
O qubit é o menor sistema quântico não trivial. Como um bit clássico, possui dois valores possíveis, zero e um — ou seja, dois valores que podem ser confiavelmente distinguidos. Num sistema clássico, *todos* os estados são, em princípio, distinguíveis. (Se não for possível distinguir entre uma cor e outra, trata-se apenas de uma imperfeição no aparelho medidor.) Mas, num sistema quântico, a capacidade imperfeita de distinção está por toda parte, graças ao princípio da incerteza de Heisenberg. Quando medimos uma propriedade de um objeto quântico, perdemos com isso a capacidade de medir uma propriedade complementar. Podemos descobrir a posição ou o impulso de uma partícula, mas

não ambas as coisas. Outras propriedades complementares incluem a direção do spin e, como no caixão da Tia Martha, a polarização. Os físicos pensam nesses estados quânticos de maneira geométrica — os estados de um sistema correspondendo a direções no espaço (um espaço de muitas dimensões possíveis), distinguindo-os em relação à perpendicularidade dessas direções (se são “ortogonais” ou não).

Essa capacidade imperfeita de distinção é o que confere à física quântica sua qualidade onírica: a impossibilidade de observar sistemas sem perturbá-los; a impossibilidade de clonar objetos quânticos e de transmiti-los para muitos ouvintes. O qubit também possui essa aparência onírica. Não se trata apenas de um-ou-outro. Seus valores 0 e 1 são representados por estados quânticos que podem ser confiavelmente distinguidos — polarizações verticais e horizontais, por exemplo —, mas coexistem com eles o continuum completo de estados intermediários, como polarizações diagonais, que se inclinam para 0 ou 1 com diferentes probabilidades. Por isso os físicos afirmam que um qubit é uma *sobreposição* de estados; uma combinação de amplitudes de probabilidade. Trata-se de algo determinado que possui dentro de si uma nuvem de indeterminação. Mas o qubit não é uma confusão; uma sobreposição não é uma mistura, e sim uma combinação de elementos probabilísticos de acordo com regras matemáticas claras e elegantes.

“Um todo não aleatório pode ter partes aleatórias”, apontou Bennett.

Essa é a parte mais contraintuitiva da mecânica quântica, mas é derivada do princípio da sobreposição, e é assim que a natureza funciona, até onde sabemos. Talvez as pessoas não gostem disso a princípio, mas, depois de algum tempo, nos acostumamos à ideia, e as alternativas são muito piores.




A chave para a teleportação e para boa parte da ciência quântica da informação que se seguiu é o fenômeno conhecido como entrelaçamento. O entrelaçamento toma o princípio da sobreposição e o estende no espaço, entre um par de qubits muito distantes um do outro. Eles têm um estado definido

*como par*, apesar de nenhum dos dois ter um estado mensurável independente. Antes que o entrelaçamento pudesse ser descoberto, ele teve de ser inventado, no caso por Einstein. Depois disso precisou ser batizado, mas não por Einstein, e sim por Schrödinger. Einstein o inventou para um exercício mental criado para ilustrar aquilo que considerava serem falhas na mecânica quântica em seu estado atual em 1935. Ele o publicou num estudo feito com Boris Podolsky e Nathan Rosen intitulado "Será possível considerar completa a descrição da realidade física feita pela mecânica quântica?".[22] O trabalho tornou-se famoso em parte por ter motivado Wolfgang Pauli a escrever a Werner Heisenberg: "Einstein mais uma vez se expressou publicamente na questão da mecânica quântica. […] Como é bem sabido, sempre que isso ocorre temos uma catástrofe".[23] O exercício mental dava conta de um par de partículas correlacionadas de uma maneira especial, como ocorre quando, por exemplo, um par de fótons é emitido por um mesmo átomo. Sua polarização é aleatória, mas idêntica — no momento e pelo tempo que eles durarem.

Einstein, Podolsky e Rosen investigaram o que ocorreria quando os fótons se encontram muito distantes um do outro e um deles é submetido a uma medição. No caso das partículas entrelaçadas — o par de fótons criados juntos e agora separados por anos-luz de distância —, parece que a medição realizada sobre um deles traz um efeito sobre o outro. No instante em que Alice mede a polarização vertical de seu fóton, o fóton de Bob também terá um estado de polarização definido naquele eixo, mas sua polarização diagonal será indefinida. A medição cria, assim, uma influência que parece viajar mais rápido do que a luz. Parecia um paradoxo, coisa que Einstein detestava. "Aquilo que existe de fato em B não deve depender do tipo de medição realizado no espaço A",[24] escreveu ele. O estudo concluía, com rigor: "Não se pode esperar que uma definição razoável da realidade permita algo desse tipo". Ele deu a isso o indelével nome de *spukhafte Fernwirkung*, "ação misteriosa à distância".

Em 2003, o físico israelense Asher Peres propôs uma resposta para a charada Einstein-Podolsky-Rosen (epr). O estudo não estava exatamente errado, disse ele, mas tinha sido escrito cedo demais: antes de Shannon ter publicado sua

teoria da informação, “e foram necessários muitos anos até que este último fosse incluído na caixa de ferramentas dos físicos”.[25] A informação é física. É inútil falar em estados quânticos sem levar em consideração a *informação* a respeito dos estados quânticos.

> A informação não é apenas uma noção abstrata. Ela exige um veículo físico, e este é (aproximadamente) localizado. Afinal, a Companhia Telefônica Bell se ocupava de transportar a informação de um telefone ao outro, num local diferente.
>
> […] Quando Alice faz a medição de seu spin, a informação que ela obtém é local, referente à posição dela, e continuará sendo assim até que decida transmiti-la. Absolutamente nada ocorre no local de Bob. […] É somente se e quando Alice informa a Bob o resultado que obteve (pelo correio, por telefone, rádio ou por meio de qualquer outra forma material de transporte, sendo naturalmente limitada à velocidade da luz) que Bob percebe que sua partícula tem um estado puro definido.

Christopher Fuchs argumenta que de nada adianta falar em estados quânticos. O estado quântico é uma construção do observador — a partir da qual muitos problemas emanam. Saem os estados, entra a informação.

> A terminologia é capaz de dizer tudo: um praticante deste campo, quer já tenha ou não dedicado o mínimo pensamento aos fundamentos quânticos, pode dizer tanto “informação quântica” como “estado quântico” […] “O que faz o protocolo de teleportação quântica?” Uma resposta agora completamente comum seria: “Ele transfere informação quântica do local de Alice para o de Bob”. O que temos aqui é uma mudança de mentalidade.[26]

A charada da ação misteriosa à distância não foi totalmente solucionada. A *não localidade* foi demonstrada numa série de experimentos inteligentes, todos eles descendentes do exercício mental epr. O entrelaçamento não é apenas real, mas onipresente. O par atômico de cada molécula de hidrogênio, $H_2$, é quanticamente entrelaçado (“*verschränkt*”, segundo Schrödinger). Bennett pôs em prática o entrelaçamento na teleportação quântica, apresentada publicamente pela primeira vez em 1993.[27] A teleportação usa um par entrelaçado para projetar informação quântica a respeito de uma terceira partícula através de uma distância arbitrária. Alice não pode medir essa terceira partícula diretamente; em

vez disso, mede algo a respeito de sua relação com uma das partículas entrelaçadas. Por mais que a própria Alice continue ignorante em relação à original, o princípio da incerteza possibilita que Bob receba uma réplica exata. Nesse processo o objeto de Alice é desencarnado. A comunicação não é mais rápida do que a luz, pois Alice precisa também enviar a Bob uma mensagem clássica (não quântica) paralela. “O resultado líquido da teleportação é completamente prosaico: a remoção do [objeto quântico] das mãos de Alice e seu surgimento nas mãos de Bob transcorrido o devido intervalo de tempo”, escreveram Bennett e seus colegas. “A única característica notável é que, nesse ínterim, a informação é totalmente separada em partes clássicas e não clássicas.”

Os pesquisadores logo imaginaram várias aplicações, como a transferência de informação volátil a um armazenamento seguro, ou memória. Com ou sem goulash, a teleportação criou uma grande excitação, pois abriu novas possibilidades para o sonho bastante real, por mais fugidio que ainda fosse, da computação quântica.

A ideia de um computador quântico é estranha. Richard Feynman escolheu a estranheza como seu ponto de partida em 1981, numa palestra feita no mit, quando explorou pela primeira vez a possibilidade de usar um sistema quântico para computar complicados problemas quânticos. Ele começou fazendo uma digressão supostamente travessa — “Segredo! Segredo! Fechem as portas…”.[28]

> Sempre tivemos grande dificuldade para compreender a visão de mundo que a mecânica quântica representa. Eu tenho, ao menos, pois já sou um homem velho o bastante [ele tinha então 62 anos] e ainda não cheguei ao ponto em que esse tipo de coisa me parece minimamente óbvio. Admito que isso ainda me deixa nervoso. […] Ainda não se tornou óbvio para mim que não existe nenhum problema de verdade. Não sou capaz de definir o problema real, o que me leva a suspeitar que não exista um problema real, mas não tenho certeza de que não existe um problema real.

Ele sabia muito bem qual era o problema para a computação — para o uso de um computador na simulação da física quântica. O problema era a probabilidade.

Cada variável quântica envolvia probabilidades, e isso fazia com que a dificuldade da computação crescesse exponencialmente.

> O número de bits de informação é igual ao número de pontos no espaço e, portanto, precisaríamos que fossem descritas algo como *NN* configurações para encontrar as probabilidades, e isso é demais para o nosso computador. […] Portanto, é impossível, de acordo com as regras expostas, fazer uma simulação por meio do cálculo da probabilidade.

Sendo assim, ele propôs combater o fogo com fogo. “A outra maneira de simular uma Natureza probabilística, que chamarei por ora de *N*, ainda pode ser a simulação da Natureza probabilística por meio de um computador *C* que seja ele próprio probabilístico.” Um computador quântico não seria uma máquina de Turing, afirmou ele. Seria algo inteiramente novo.

“A grande ideia de Feynman”, segundo Bennett, “foi a de que um sistema quântico está, num certo sentido, computando seu próprio futuro o tempo todo. Poderíamos dizer que se trata de um computador analógico de sua própria dinâmica.”[29] Os pesquisadores logo perceberam que, se um computador quântico tinha poderes especiais na solução de problemas relacionados à simulação da física, poderia também ser capaz de solucionar outros tipos de problemas aparentemente intratáveis.

Seu poder emana daquele objeto reluzente e intocável, o qubit. As probabilidades estão incluídas. O fato de o qubit encarnar uma sobreposição de estados dá a ele mais poder do que o bit clássico, sempre num estado ou no outro, zero ou um, “um espécime ridículo e miserável de vetor bidimensional”,[30] nas palavras de David Mermin. “Quando aprendemos a contar usando nossos pegajosos e clássicos dedinhos, fomos induzidos ao erro”, afirmou Rolf Landauer, sendo bem direto. “Pensamos que um número inteiro teria necessariamente que ter um valor único e particular.” Mas não é esse o caso — não no mundo real, ou seja, no mundo quântico.

Na computação quântica, múltiplos qubits se encontram entrelaçados. Fazer com que os qubits funcionem juntos não apenas multiplica seu poder — esse poder aumenta exponencialmente. Na computação clássica, na qual um bit é um-

ou-outro, *n* bits podem codificar qualquer um de 2*n* valores. Os qubits são capazes de codificar esses valores booleanos e também todas as suas sobreposições possíveis. Isso confere à computação quântica um potencial de processamento paralelo que não possui equivalente clássico. Assim sendo, os computadores quânticos podem — teoricamente — solucionar certas classes de problemas que tinham sido até então consideradas computacionalmente impraticáveis.

Um exemplo seria encontrar os fatores primos de números demasiadamente grandes. Essa é, por sinal, a chave para solucionar os algoritmos criptográficos mais frequentemente usados hoje em dia, em especial a encriptação rsa.[31] O comércio mundial via internet depende disso. Na prática, o número demasiadamente grande é uma chave pública usada para criptografar uma mensagem. Se os bisbilhoteiros forem capazes de descobrir seus fatores primos (também imensos), serão capazes de decifrar a mensagem. Mas, se a multiplicação de um par de números primos é fácil, a operação inversa é dificílima. O procedimento é uma via informacional de mão única. Desse modo, o fatoramento de números rsa tem sido um contínuo desafio para a computação clássica. Em dezembro de 2009, uma equipe distribuída por Lausanne, Amsterdam, Tóquio, Paris, Bonn e Redmond, em Washington, usou várias centenas de máquinas que trabalharam quase dois anos para descobrir que 123018668453011775513049495838496272077285356959533479219732245 21 é o produto de 33478071698956898786044169848212690817704794983713768568912431388 e 36746043666799590428244633799627952632279158164343087642676032283 Estima-se que a computação tenha exigido mais de $10^{20}$ operações.[32]

Esse era um dos menores números rsa, mas, se a solução tivesse vindo mais rápido, a equipe poderia ter ganhado um prêmio de 50 mil dólares oferecido pelos Laboratórios rsa. Em termos de computação clássica, tal forma de criptografia é considerada segura. Números maiores exigem um tempo exponencialmente maior e, em algum ponto, o tempo supera a idade do universo.

A computação quântica é bem diferente. A capacidade dos computadores

quânticos de ocupar muitos estados de uma só vez abre novas possibilidades. Em 1994, antes que alguém soubesse como construir de fato algum tipo de computador quântico, um matemático dos Laboratórios Bell descobriu como programar uma máquina dessas para solucionar o problema da fatoração. Seu nome era Peter Shor, um prodígio da solução de problemas que se destacou a princípio em olimpíadas de matemática e em competições envolvendo prêmios em dinheiro. Seu engenhoso algoritmo, que revolucionou a área, é chamado por ele apenas de algoritmo de fatoração, mas é conhecido por todos os demais como algoritmo de Shor. Dois anos mais tarde, Lov Grover, também dos Laboratórios Bell, chegou a um algoritmo quântico para fazer buscas num vasto banco de dados desorganizado. Esse é o problema difícil fundamental num mundo de informação ilimitada — agulhas e palheiros.

"Os computadores quânticos foram uma revolução",[33] disse Dorit Aharonov, da Universidade Hebraica, a uma plateia em 2009. "A revolução foi posta em movimento pelo algoritmo de Shor. Mas o *motivo* da revolução — além de suas óbvias implicações práticas — está no fato de ela redefinir aquilo que consideramos problemas *fáceis* e *difíceis*."

Aquilo que dá aos computadores quânticos seu poder é também o que os torna extremamente difíceis de manipular. Para extrair informação de um sistema é preciso observá-lo, e a observação representa uma interferência na magia quântica. Não é possível observar os qubits enquanto eles realizam uma quantidade exponencial de operações paralelas — a medição dessa rede-sombra de possibilidades os reduz a bits clássicos. A informação quântica é frágil. A única maneira de descobrir o resultado de uma computação é esperar até o fim do trabalho quântico.

A informação quântica é como um sonho — algo fugaz, que jamais chega a existir com a firmeza de uma palavra impressa numa página. "Muitas pessoas podem ler um livro e receber a mesma mensagem", de acordo com Bennett, "mas, quando tentamos contar a alguém sobre um sonho, nossa lembrança dele é alterada, de modo que acabamos esquecendo o sonho e lembrando apenas aquilo que contamos a respeito dele."[34] O apagamento quântico, por sua vez, corresponde a um desfazer verdadeiro: "Pode-se de fato dizer que até Deus

esqueceu”.

Quanto ao próprio Shannon, ele não pôde testemunhar o florescer das sementes que havia plantado. “Se Shannon estivesse entre nós agora, eu diria que ficaria muito entusiasmado com a capacidade de um canal auxiliada pelo entrelaçamento”,[35] afirmou Bennett.

> A mesma forma, uma generalização da fórmula de Shannon, cobre tanto os canais clássicos como os quânticos de maneira bastante elegante. Assim, é bem estabelecido que a generalização quântica da informação clássica levou a uma teoria mais clara e mais poderosa, tanto da computação como da comunicação.

Shannon viveu até 2001, e teve seus últimos anos obscurecidos e isolados pela doença do apagamento, o mal de Alzheimer. Sua vida abrangeu o século xx e ajudou a defini-lo. Mais do que qualquer outra pessoa, foi ele o progenitor da era da informação. O ciberespaço é, em parte, sua criação. Ele nunca soube disso, embora tenha dito ao seu último entrevistador, em 1987, que estava investigando a ideia de cômodos espelhados: “desvendar todos os cômodos espelhados que fazem sentido, de modo que, ao olhar ao redor a partir de um deles, o espaço seria dividido numa série de cômodos, e estaríamos em cada um deles, seguindo até o infinito sem contradição”.[36] Ele esperava construir uma galeria de espelhos em sua casa, perto do mit, mas nunca chegou a fazê-lo.

Foi John Wheeler que deixou como legado uma pauta para a ciência quântica da informação — uma modesta lista de afazeres para a geração seguinte de físicos e cientistas da computação:[37]

“Traduzir as versões quânticas da teoria das cordas e da geometrodinâmica de Einstein da linguagem do continuum para a linguagem do bit”, exortou ele a seus herdeiros.

E, “A partir da evolução das engrenagens-sobre-engrenagens-sobre-engrenagens da programação de computador, desenterrar, sistematizar e exibir

cada característica que ilumina a estrutura de nível-sobre-nível-sobre-nível da física".

E, "*Finalmente*. Deplorar? Não, celebrar a ausência de uma definição clara e inequívoca do termo 'bit' como unidade elementar no estabelecimento do significado. […] Se e quando aprendermos como combinar os bits em números fantasticamente imensos para obter o que chamamos de existência, saberemos melhor o que queremos dizer ao falar tanto em bit como em existência".

Este é o desafio que permanece, e não apenas para os cientistas: o estabelecimento do significado.

---

a "Seria um caso de *R*4 ou um buraco negro. Mas a soma de todas as histórias possíveis de Feynman permite que se trate de ambas as coisas ao mesmo tempo."

b A fórmula de Von Neumann para o custo teórico em energia de cada operação lógica era $kT\ln 2$ joules por bit, sendo $T$ a temperatura operacional do computador e $k$ a constante de Boltzman. Szilárd tinha provado que o demônio em seu motor pode obter $kT\ln 2$ de trabalho a partir de cada molécula selecionada, de modo que o custo em energia precisa ser pago em algum ponto do ciclo.

c Tal palavra não é universalmente aceita, embora o *Oxford English Dictionary* a tenha reconhecido já em dezembro de 2007. Naquele mesmo ano, David Mermin escreveu: "Infelizmente, a bizarra maneira de grafar *qubit* se mantém. […] Por mais que 'qubit' honre a regra do inglês (do alemão, do italiano…) segundo a qual o *q* deve ser seguido por *u*, é ignorada a exigência igualmente poderosa de que *qu* seja seguido por uma vogal. Suponho que 'qubit' tenha se tornado aceito por causa de sua semelhança visual com uma unidade inglesa obsoleta de distância, o homônimo *cubit*. Para enxergar sua feiura com outros olhos, basta imaginar que o volume de um determinado espaço seja medido em metros *qúbicos*". N. David Mermin, *Quantum Computer Science: An Introduction*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007. p. 4.

# 14. A enxurrada

## (*Um grande álbum de Babel*)

> *Suponhamos que dentro de cada livro haja outro livro, e dentro de cada letra em cada página haja outro volume desdobrando-se constantemente; mas esses volumes não ocupam espaço numa escrivaninha. Suponhamos que o conhecimento pudesse ser reduzido a uma quintessência, guardada dentro de uma imagem, um sinal, guardado num lugar que é lugar nenhum.*
>
> Hilary Mantel, 20091

"O Universo (que outros chamam de a Biblioteca)…"[2]

Foi assim que Jorge Luis Borges começou seu conto "A biblioteca de Babel", de 1941, sobre a biblioteca mítica que contém todos os livros, em todos os idiomas, livros de apologia e profecia, as escrituras e o comentário das escrituras e o comentário do comentário das escrituras, a história minuciosamente detalhada do futuro, as interpolações de todos os livros com todos os demais livros, o fidedigno catálogo da biblioteca e os inumeráveis catálogos falsos. Essa biblioteca (que outros chamam de universo) abriga toda a informação. Mas nenhum conhecimento pode ser descoberto nela, precisamente porque todo o conhecimento *está* nela, arquivado nas prateleiras lado a lado com toda a falsidade. Nas galerias espelhadas, nas incontáveis estantes, pode-se encontrar tudo e nada. Não pode haver caso mais perfeito de saturação de informação.

Nós criamos nossos próprios depósitos. A persistência da informação, a dificuldade de esquecer, tão característica de nossa época, aumenta a confusão. À medida que a enciclopédia on-line gratuita, amadora e colaborativa chamada Wikipédia começou a ultrapassar todas as enciclopédias impressas do mundo em volume e abrangência, os editores perceberam que um número grande demais de palavras e expressões tinha múltiplas identidades. Eles bolaram uma política para desfazer as ambiguidades, levando à criação de páginas de desambiguação — 100 mil delas, um número sempre crescente. Um usuário vasculhando as labirínticas galerias da Wikipédia em busca do termo "Babel", por exemplo, encontra "Babel (desambiguação)", que o leva por sua vez ao nome hebraico da Babilônia antiga, à Torre de Babel, a um jornal iraquiano, a um livro de Patti

Smith, a um jornalista soviético, a uma revista australiana de professores de idiomas, a um filme, a uma gravadora, a uma ilha na Austrália, a duas montanhas diferentes no Canadá, e “a um planeta de alinhamento neutro no universo fictício de Jornada nas Estrelas”. E ainda mais. Os caminhos da desambiguação se multiplicam de novo e de novo. “Torre de Babel (desambiguação)”, por exemplo, inclui a história do Velho Testamento e, além disso, canções, jogos, livros, um quadro de Brueghel, uma gravura de Escher e “a carta do tarô”. Construímos diversas torres de Babel.

Muito antes da Wikipédia, Borges também escreveu a respeito da enciclopédia “falaciosamente intitulada *Ciclopédia Anglo-Americana* (Nova York, 1917)”, um labirinto de ficção misturada aos fatos, outro corredor de espelhos e equívocos de impressão, um compêndio de informação pura e impura que projeta seu próprio mundo. Esse mundo se chama Tlön. “Conjectura-se que esse admirável mundo novo seja a obra de uma sociedade secreta de astrônomos, biólogos, engenheiros, metafísicos, poetas, químicos, matemáticos, moralistas, pintores, geometristas”,[3] escreve Borges. “Esse plano é tão vasto que a contribuição de cada escritor é infinitesimal. De início acreditou-se que Tlön fosse um mero caos, uma irresponsável licença da imaginação; agora sabe-se que se trata de um cosmos.” Com razão, o mestre argentino foi tomado como um profeta (“nosso tio heresiarca”,[4] segundo William Gibson) por outra geração de escritores na era da informação.

Muito antes de Borges, a imaginação de Charles Babbage tinha conjurado outra biblioteca de Babel. Ele a encontrou no próprio ar: um registro, permanente embora misturado, de cada som humano.

> Que estranho caos é esta atmosfera que respiramos! […] O próprio ar é uma grande biblioteca, em cujas páginas está para sempre escrito tudo aquilo que os homens já disseram ou que as mulheres sussurraram. Ali, em seus caracteres mutáveis mas precisos, misturados com os primeiros e também com os mais recentes suspiros da mortalidade, estão para sempre registrados votos não redimidos, promessas não cumpridas, perpetuando nos movimentos unidos de cada partícula o testemunho da cambiante vontade humana.5

Edgar Allan Poe, seguidor ansioso do trabalho de Babbage, entendeu o que

ele queria dizer. “Nenhum pensamento pode perecer”,[6] escreveu ele em 1845, num diálogo entre dois anjos. “Não teria cruzado sua consciência algum pensamento acerca do *poder físico das palavras*? Não seria cada palavra um impulso no ar?” Indo além, cada impulso propaga sua vibração de forma indefinida, “subindo e avançando sua influência, tocando todas as partículas de toda a matéria”, até necessariamente, “*no fim*, marcar cada coisa individual que existe *dentro do universo*”. Poe também estava lendo Pierre-Simon Laplace, um partidário de Newton. “Um ser de entendimento infinito”, escreveu Poe, “para quem a *perfeição* da análise algébrica se revelasse desdobrada”, seria capaz de rastrear as ondulações de volta a sua origem.

Babbage e Poe adotaram uma visão teórico-informacional da nova física. Laplace tinha exposto detalhadamente e com perfeição um determinismo mecânico newtoniano. Foi além do próprio Newton, defendendo a ideia de um universo complexo como o mecanismo de um relógio, no qual nada seria obra do acaso. Como as leis da física se aplicam da mesma forma aos corpos celestes e às menores partículas, e como elas funcionam de maneira perfeitamente confiável, então sem dúvida (disse Laplace) o estado do universo a cada instante segue inexoravelmente do passado e deve conduzir com igual implacabilidade ao futuro. Era cedo demais para conceber a incerteza quântica, a teoria do caos, ou os limites da computabilidade. Para dramatizar seu determinismo perfeito, Laplace nos pedia para imaginar um ser — uma “inteligência” — capaz do conhecimento perfeito:

> Este englobaria na mesma fórmula os movimentos dos maiores corpos do universo e aqueles do mais leve átomo; para tal ser, nada seria incerto e o futuro, assim como o passado, se faria presente diante de seus olhos.7

Nada que Laplace tenha escrito ficou tão famoso quanto esse exercício mental. Tornava inútil não apenas a vontade de Deus como também a do Homem. Para os cientistas, esse newtonismo extremo parecia motivo de otimismo. Para Babbage, toda a natureza se assemelhava subitamente a uma vasta máquina calculadora, uma versão grandiosa de sua própria máquina

determinista: “Ao afastar nossas opiniões dessas simples consequências da justaposição de algumas engrenagens, é impossível não perceber o raciocínio paralelo aplicado aos poderosos e muito mais complexos fenômenos da natureza”.[8] Cada átomo, uma vez perturbado, precisa comunicar seu movimento aos demais, e estes por sua vez influenciam ondas de ar, e nenhum impulso é jamais perdido por completo. O rastro de cada embarcação continua em algum lugar dos oceanos. Babbage, cujo gravador esferográfico ferroviário registrava num rolo de papel a história de uma jornada, viu a informação, antes fugidia, como uma série de impressões físicas que eram — ou poderiam ser — percebidas. O fonógrafo, que grava o som numa folha metálica ou na cera, ainda não tinha sido inventado, mas Babbage era capaz de ver a atmosfera como um motor de movimento dotado de significado: “cada átomo marcado pelo bem ou pelo mal […] recebido dos filósofos e sábios, misturado e combinado de dez mil maneiras com tudo aquilo que é baixo e desprovido de valor”. Longe de ter desaparecido no ar, cada palavra já dita, tenha ela sido ouvida por uma plateia de centenas ou por ninguém, deixa sua marca indelével, sendo o registro completo do som humano criptografado pelas leis do movimento e, teoricamente, passível de ser recuperado — dado um poder de computação suficiente.

Isso era demasiadamente otimista. Ainda assim, no mesmo ano em que Babbage publicou seu ensaio, o artista e químico Louis Daguerre aperfeiçoou em Paris seu meio de capturar as imagens visuais em placas cobertas de prata. Seu concorrente britânico, William Fox Talbot, chamou isso de “arte do desenho fotogênico, ou de formar imagens e quadros de objetos naturais por meio da luz solar”.[9] Talbot viu algo semelhante a um meme. “Por meio desse aparelho”, escreveu ele, “não é o artista que faz a imagem, e sim a imagem que faz a *si mesma*.” A partir de então as imagens que dançavam diante de nossos olhos poderiam ser congeladas, impressas numa substância, tornadas permanentes.

Por meio do desenho ou da pintura, um artista — usando a habilidade, o treinamento e o tempo de trabalho — reconstrói aquilo que o olho vê. Em comparação, um daguerreótipo é, num certo sentido, a coisa em si — a informação, armazenada num instante. Era algo inimaginável, mas ali estava. As possibilidades eram atordoantes. Uma vez iniciado o armazenamento, onde ele

iria parar? Imediatamente, um ensaísta norte-americano fez a relação entre a fotografia e a biblioteca atmosférica de sons imaginada por Babbage: este dissera que cada palavra jazia registrada no ar em algum ponto e, quem sabe, talvez cada imagem deixasse também sua marca permanente — em algum lugar.

> Na verdade, existe um grande álbum de Babel. E como será se a grande atividade do sol for agir como um registrador, proporcionando impressões de nossa aparência, e imagens de nossos atos; e, assim sendo […] até onde podemos saber, outros mundos poderiam ser povoados e conduzidos com as imagens de pessoas e transações criadas a partir disso e umas das outras; sendo toda a natureza universal nada mais do que estruturas fonéticas e fotogênicas.10

O universo, que outros chamaram de biblioteca ou álbum, passou então a se assemelhar a um computador. Alan Turing pode ter sido o primeiro a notar isso, observando que o computador, como o universo, é mais bem interpretado como uma coleção de estados, e o estado da máquina num dado momento leva ao estado no instante seguinte, e assim todo o futuro da máquina seria previsível a partir de seus estados iniciais e dos sinais de entrada.

O universo está computando seu próprio destino.

Turing percebeu que o sonho de perfeição de Laplace poderia ser possível numa máquina, mas não no universo, por causa de um fenômeno que, na geração seguinte, seria descoberto pelos teóricos do caos e batizado de efeito borboleta. Turing o descreveu da seguinte maneira em 1950:

> O sistema do “universo como um todo” é tal que erros bastante pequenos nas condições iniciais podem trazer efeitos irresistíveis num momento posterior. O deslocamento de um único elétron em um bilionésimo de centímetro num dado momento pode resultar na diferença entre um homem ser morto por uma avalanche um ano mais tarde, ou escapar dela.11

Se o universo é um computador, talvez ainda tenhamos dificuldade em acessar sua memória. Caso seja uma biblioteca, trata-se de uma biblioteca sem estantes. Quando todos os sons do mundo se dispersam pela atmosfera, nenhuma palavra se mantém associada a um conjunto específico de átomos. As palavras

estão em toda parte e em lugar nenhum. Foi por isso que Babbage chamou de “caos” esse depósito de informações. Mais uma vez ele estava à frente de sua época.

Quando os antigos listaram as Sete Maravilhas do Mundo, eles incluíram o Farol de Alexandria, uma torre de pedra de 120 metros de altura construída para auxiliar os marinheiros, mas ignoraram a biblioteca que ficava ali perto. A biblioteca, reunindo centenas de milhares de rolos de papiro, consistia no maior acervo de conhecimento já visto na Terra, tanto na época como nos séculos seguintes. A partir do século iii a.C., ela serviu à ambição dos Ptolomeus de comprar, roubar ou copiar todo o material escrito do mundo conhecido. A biblioteca possibilitou que Alexandria ultrapassasse Atenas como centro intelectual. Suas estantes e seus claustros abrigavam o teatro de Sófocles, Ésquilo e Eurípides; a matemática de Euclides, Arquimedes e Eratóstenes; poesia, textos médicos, mapas estelares, escritos místicos — “tal chama de conhecimento e descobrimento”, declarou H. G. Wells, “que o mundo só voltaria a ver no século xvi. […] É o verdadeiro princípio da História Moderna”.[12] O farol era visível à grande distância, mas a biblioteca era a verdadeira maravilha. E então foi consumida pelo fogo.

Exatamente como e quando isso ocorreu é algo que nunca saberemos. Provavelmente isso se deu em mais de um episódio. Conquistadores vingativos queimam livros como se a alma dos inimigos também residisse ali. “Os romanos queimaram os livros dos judeus, dos cristãos e dos filósofos”, destacou Isaac D’Israeli no século xix; “os judeus queimaram os livros dos cristãos e dos pagãos; e os cristãos queimaram os livros dos pagãos e dos judeus.”[13] A dinastia Qin queimou os livros da China para apagar a história anterior. O apagamento era efetivo, dada a fragilidade da palavra escrita. O que temos de Sófocles não chega a um décimo de suas peças. O que temos de Aristóteles é em sua maioria de segunda — ou terceira — mão. Para os historiadores que se voltam ao passado, a destruição da Grande Biblioteca é um horizonte de eventos, uma fronteira que a informação não atravessa. Nem mesmo um catálogo parcial

sobreviveu às chamas.

“Todas as peças perdidas dos atenienses!”,[14] lamenta Thomasina (uma jovem matemática que se assemelha a Ada Byron) a seu tutor, Septimus, no drama *Arcádia*, de Tom Stoppard. “Milhares de poemas — a biblioteca do próprio Aristóteles… Como podemos dormir com tamanho pesar?”

“Basta contar o que nos restou”, responde Septimus.

> Não se deve chorar por descanso, assim como não se deve fazê-lo por uma fivela perdida de seu primeiro sapato, nem por seu livro de lições que se perderá quando fores velha. Deixamos para trás conforme reunimos novidades, como viajantes que precisam levar tudo nos braços, e aquilo que deixamos cair será apanhado por aqueles que vêm atrás. A procissão é muito longa e a vida, muito curta. Morremos na marcha. Mas nada existe fora da marcha e, por isso, nada pode ser perdido e afastado dela. As peças faltantes de Sófocles serão recuperadas pedaço por pedaço, ou serão escritas novamente em outro idioma.

De todo modo, de acordo com Borges, as peças faltantes podem ser encontradas na Biblioteca de Babel.

Em honra à biblioteca perdida, a Wikipédia atraiu centenas de seus editores a Alexandria no oitavo verão de sua existência — pessoas chamadas Shipmaster, Brassratgirl, Notafish e Jimbo que, em geral, reúnem-se apenas on-line. Mais de 7 milhões de nomes de usuário desse tipo tinham sido registrados até então. Os peregrinos vieram de 45 países, pagando a própria passagem, trazendo laptops, trocando dicas de sua arte, exibindo seu fervor em camisetas. Na época, em julho de 2008, a versão em língua inglesa da Wikipédia era composta de 2,5 milhões de artigos, mais do que todas as enciclopédias de papel do mundo somadas, chegando a um total de 11 milhões de verbetes em 264 idiomas, incluindo o wolof, twi e holandês da Baixa Saxônia, mas não o choctaw, vetado por voto comunitário após receber apenas quinze artigos, nem o klingon, descrito como idioma “construído”, embora não exatamente fictício. Os wikipedianos se consideram os herdeiros da Grande Biblioteca, tendo a missão de reunir todo o conhecimento registrado. Mas eles não reúnem e preservam textos existentes. Tentam resumir o conhecimento partilhado, separado e alienado dos indivíduos que poderiam se considerar seus donos.

Como a biblioteca imaginária de Borges, a Wikipédia começa a parecer desprovida de limites. As dezenas de versões da Wikipédia em diferentes idiomas têm, cada qual, um artigo a respeito do Pokémon, o jogo de cartas, série de mangá e franquia de mídia. Na Wikipédia em inglês tudo começou com um único artigo, mas, desde então, uma selva floresceu. Há uma página para "Pokémon (desambiguação)", necessária, entre outros motivos, para o caso de alguém estar procurando pelo oncogene Zbtb7, que era chamado de Pokemon (por causa do fator oncogênico eritroide mieloide pok) até que os advogados da marca registrada da Nintendo ameaçaram dar entrada num processo. Há pelo menos cinco artigos grandes sobre os Pokémons da cultura popular, e estes dão origem a artigos secundários e complementares, a respeito das regiões do Pokémon, seus itens, episódios do programa de televisão, táticas do jogo, e todas as 493 criaturas, heróis, protagonistas, rivais, parceiros e clones, de Bulbasaur a Arceus. Todos os textos são cuidadosamente pesquisados e editados para manter a precisão, garantindo que sejam confiáveis e fiéis ao universo Pokémon, o qual, em alguns sentidos da expressão, não existe de fato. De volta ao mundo real, a Wikipédia tem, ou pretende ter, verbetes detalhados descrevendo as rotas, intersecções e histórias de cada estrada e avenida numerada dos Estados Unidos. ("A Rota 273 [estado de Nova York, rebatizada em 1980] começou numa intersecção com a Rota Nacional 4 em Whitehall. Depois da intersecção a rota passava pelo Cemitério Nossa Senhora dos Anjos, onde virava para o sudeste. A Rota 273 acompanhava a base de Ore Red Hill, fora de Whitehall. Perto de Ore Red Hill, a estrada cruzava uma via local, que se ligava à Rota Nacional 4.") Há páginas para cada enzima conhecida e cada gene humano. A *Encyclopaedia Britannica* nunca aspirou a tamanha abrangência. Como poderia ser diferente, sendo ela feita de papel?

Sozinha em meio aos grandes empreendimentos dos primórdios da internet, a Wikipédia não era uma empresa — não ganhava dinheiro, apenas gastava. Era sustentada por um fundo de caridade sem fins lucrativos criado para tal propósito. Na época em que chegou aos 50 milhões de usuários por dia, a folha de pagamento da fundação incluía dezoito pessoas, sendo uma na Alemanha, uma na Holanda e uma na Austrália, e um advogado, e todos os demais eram voluntários: os milhões de colaboradores, os milhares ou mais designados como

“administradores” e, mantendo sempre uma presença próxima, o fundador Jimmy Wales, que se descreve como “líder espiritual”. Inicialmente, Wales não tinha planejado a entidade incompleta, caótica, diletantesca e amadora, livre para a participação de todos, que a Wikipédia logo se tornou. A aspirante à enciclopédia começou com uma equipe de especialistas, credenciais acadêmicas, verificação e revisão feita por especialistas. Mas a ideia de *wiki* assumiu o controle, inelutavelmente. Um “wiki”, derivado de uma palavra havaiana para “rápido”, era um site que poderia ser não apenas visto, mas editado por qualquer um. Um *wiki* era, portanto, criado por si mesmo, ou autossustentado, ao menos.

A Wikipédia apareceu pela primeira vez aos usuários da internet com uma autodescrição simples:

> *Página inicial*
>
> *Você pode editar esta página agora mesmo! Trata-se de um projeto comunitário e gratuito*
>
> *Bem-vindo à Wikipédia! Estamos escrevendo uma enciclopédia completa a partir do zero, de maneira colaborativa. Começamos o trabalho em janeiro de 2001. Já temos mais de 3 mil páginas. Queremos chegar a mais de 100 mil. Então, vamos ao trabalho! Escreva um pouco* (*ou muito*) *sobre aquilo que sabe! Leia aqui nossa mensagem de boas-vindas: Sejam bem-vindos, recém-chegados!*

A incompletude da cobertura naquele primeiro ano podia ser medida pela lista de artigos requisitados. Sob o tema Religião: “Catolicismo? — Satanás? — Zoroastro? — Mitologia?”. Sob Tecnologia: “motor de combustão interna? — dirigível? — tela de cristal líquido? — largura de banda?”. Sob Folclore: “(Se quiser escrever sobre folclore, por favor elabore uma lista de tópicos folclóricos que sejam de fato reconhecidos como temas significativos e distintos dentro do folclore, um tema que você provavelmente não conhece muito se tudo o que fez nesse sentido foi jogar Dungeons and Dragons, q. v.)”.[15] O jogo Dungeons and Dragons já tinha sido amplamente coberto. A Wikipédia não estava à procura de sobras, mas não as rejeitava. Anos mais tarde, em Alexandria, Jimmy Wales disse: “Todas aquelas pessoas que escrevem obsessivamente a respeito de Britney Spears, dos Simpsons e do universo Pokémon — não é verdade que deveríamos tentar orientá-las para que passassem a escrever sobre conceitos obscuros da física. A Wiki não é papel, e o tempo delas não pertence a nós. Não

podemos dizer, ‘Por que mantemos pessoas ocupadas com tarefas que consideramos tão inúteis?’. Elas não estão prejudicando nada. Deixemos que escrevam”.

“A Wiki não é papel” era o lema não oficial. De maneira autorreferencial, a expressão tem seu próprio verbete enciclopédico (ver também “*Wiki ist kein Papier*” e “*Wikipédia n’est pas sur papier*”). Significa que não existe limite físico nem econômico para o número ou a extensão dos artigos. Os bits são gratuitos. “Todo tipo de metáfora envolvendo o papel ou o espaço está morta”, nas palavras de Wales.

A Wikipédia viu-se transformada num alicerce da cultura com rapidez inesperada, em parte por causa de seu relacionamento sinérgico e não planejado com o Google. Ela se tornou um caso de teste para ideias relacionadas à inteligência coletiva: usuários debatiam eternamente a confiabilidade — teórica e real — de artigos escritos em tom professoral por pessoas sem nenhum tipo de credencial, de identidade impossível de ser verificada e donas de preconceitos desconhecidos. A Wikipédia estava claramente sujeita ao vandalismo. Ela expunha as dificuldades — a impossibilidade, talvez — de chegar a uma opinião consensual e neutra em relação à tumultuada e contestada realidade. O processo era acometido pelas chamadas guerras de edição, quando colaboradores litigiosos revertiam interminavelmente as alterações uns dos outros. No fim de 2006, as pessoas envolvidas com o verbete “Gato” não conseguiram chegar a um consenso quanto ao relacionamento do animal com o ser humano, que se daria nos termos “dono”, “responsável” ou “companheiro”. No decorrer de três semanas, o debate se prolongou até chegar a uma extensão equivalente à de um pequeno livro. Houve guerras de edição envolvendo vírgulas e guerras de edição envolvendo deuses, conflitos fúteis a respeito de questões ortográficas e de pronúncia, bem como disputas geopolíticas. Outras guerras de edição expuseram a maleabilidade das palavras. Teria sido a República da Concha (em Key West, na Flórida) uma “micronação”? Seria uma determinada foto de um filhote de urso polar considerada “bonitinha”? Os especialistas divergiam, e todos eram especialistas.

Depois do ocasional tumulto, os artigos costumam se assentar no sentido da

permanência. Ainda assim, mesmo quando parece se aproximar de um tipo de equilíbrio, continua se tratando de um projeto dinâmico e instável. No universo da Wikipédia, a realidade não pode ser definida em contornos finais. Essa ideia foi uma ilusão alimentada em parte pela solidez da enciclopédia de papel-encadernada-em-couro. Na *Encyclopédie*, publicada em Paris em 1751, Denis Diderot tinha o objetivo de "reunir todo o conhecimento que hoje jaz espalhado pela face da Terra, tornar conhecida sua estrutura aos homens com quem vivemos, e transmiti-lo àqueles que virão depois de nós". A *Britannica*, produzida pela primeira vez em Edimburgo em 1768 numa centena de fascículos semanais, que custavam seis centavos cada um, assume para si o mesmo halo de sabedoria. Ela parece concluída — em cada edição. Não possui equivalente em nenhum outro idioma. Ainda assim, os especialistas responsáveis pela terceira edição ("Em dezoito volumes, muito aprimorada"), um século inteiro após os *Principia* de Isaac Newton, não se viram capazes de defender a teoria da gravidade, ou gravitação, desenvolvida por ele, nem a versão de nenhum outro cientista. "Houve debates substanciais", afirmou a *Britannica*.

> Muitos filósofos eminentes, entre eles o próprio Sir Isaac Newton, a consideraram como a primeira de todas as causas secundárias; uma substância espiritual ou desencarnada, que nunca pode ser percebida por nenhum outro meio além de seu efeito; uma propriedade universal da matéria, &c. Outros tentaram explicar o fenômeno da gravitação pela ação de um fluido etéreo muito sutil; e Sir Isaac, na parte final de sua vida, parece não ter se mostrado avesso a essa ideia. Tinha até conjecturado a respeito da questão indagando se não seria este fluido a causa de tais fenômenos. Mas, para obter um relato completo do […] estado atual do debate, consultar os verbetes relacionados a Filosofia Newtoniana, Astronomia, Atmosfera, Terra, Eletricidade, Fogo, Luz, Atração, Repulsão, Plenum, Vácuo, &c.

Para a sabedoria consolidada na *Britannica*, a teoria da gravitação de Newton ainda não era conhecimento.

A Wikipédia renuncia a esse tom professoral. As instituições acadêmicas desconfiam oficialmente dela. Jornalistas recebem ordens de não confiar em suas informações. Mas a autoridade de seu saber é inevitável. Se alguém quiser saber quantos estados americanos têm um condado chamado Montgomery, quem poderá duvidar da contagem de dezoito apresentada pela Wikipédia? Onde mais

seria possível consultar uma estatística tão obscura — gerada pela soma do conhecimento de centenas ou milhares de pessoas, das quais cada uma pode saber a respeito de apenas um Condado de Montgomery em especial? Há na Wikipédia um verbete popular chamado “Erros da *Encyclopaedia Britannica* que foram corrigidos pela Wikipédia”. Esse artigo está sempre em mutação, claro. Toda a Wikipédia está. Num dado momento qualquer, o leitor está olhando para uma versão da verdade em movimento.

No verbete “Envelhecimento”, a Wikipédia afirma:

> Após um período de renovação quase perfeita (nos seres humanos, dos vinte aos 35 anos [citação necessária]), a decadência do organismo é caracterizada pela redução na capacidade de responder ao estresse, pelo aumento no desequilíbrio homeostático e pelo risco cada vez maior de adoecimento. Invariavelmente, essa irreversível série de mudanças termina com a morte,

e o leitor pode confiar nisso. Porém, durante um minuto na madrugada de 20 de dezembro de 2007, o artigo todo consistia, em vez disso, de uma única frase: “Envelhecimento é o que acontece quando ficamos velhos velhos velhos demais”.[16] Casos tão óbvios de vandalismo duram muito pouco. Há programas de combate ao vandalismo que detectam e revertem esse tipo de coisa, bem como legiões de combatentes humanos do vandalismo, muitos deles membros orgulhosos da Força-Tarefa de Combate ao Vandalismo. De acordo com um ditado popular que teve origem com um vândalo frustrado: “Na Wikipédia existe uma conspiração gigantesca tentando fazer com que os artigos sejam condizentes com a realidade”. Isso é bem verdade. Uma conspiração é tudo que a Wikipédia pode esperar e, com frequência, isso é o bastante.

Perto do fim do século xix, Lewis Carroll descreveu na ficção o mapa definitivo, representando o mapa em escala real, com cada quilômetro equivalente a um quilômetro: “Ele ainda não foi aberto por inteiro. Os agricultores apresentaram objeções: disseram que o mapa cobriria todo o campo, tapando a luz do sol”.[17] A ideia não se perdeu entre os colaboradores da Wikipédia. Alguns conhecem um debate realizado na sucursal alemã envolvendo o parafuso na parte esquerda do freio traseiro da bicicleta de Ulrich Fuchs. Como

editor da Wikipédia, Fuchs fez a pergunta: Seria esse objeto do universo merecedor de seu próprio verbete na Wikipédia? Chegou-se ao consenso de que o parafuso era pequeno, mas real e passível de ser especificado. “Trata-se de um objeto no espaço, e eu o vi”,[18] justificou Jimmy Wales. Com efeito, um verbete surgiu na Meta-Wiki alemã (ou seja, na Wikipédia *sobre* a Wikipédia) intitulado “*Die Schraube an der hinteren linken Bremsbackeam Fahrrad von Ulrich Fuchs*” [O parafuso na parte esquerda do freio traseiro da bicicleta de Ulrich Fuchs].[19] Como notou o próprio Wales, a mera existência desse verbete era “uma metaironia”. Ele fora escrito pelas mesmas pessoas que argumentavam contra sua adequação. Mas o verbete não era de fato sobre o parafuso. Seu tema é uma controvérsia: se a Wikipédia deve se esforçar, na teoria ou na prática, para descrever o mundo inteiro em cada um de seus detalhes.

Facções opostas se formaram em torno dos rótulos “delecionismo” e “inclusionismo”. Os inclusionistas adotam a visão mais abrangente em relação àquilo que pertence à Wikipédia. Os delecionistas defendem — e muitas vezes praticam — a remoção das curiosidades: verbetes curtos demais, ou muito mal escritos, ou pouco confiáveis, envolvendo assuntos que carecem de relevância. Compreende-se que todos esses critérios são variáveis e subjetivos. Os delecionistas desejam aprimorar a qualidade geral dos verbetes. Em 2008, conseguiram remover textos sobre a Igreja Presbiteriana de Port Macquarie, em Nova Gales do Sul, na Austrália, afirmando a insignificância do tema. O próprio Jimmy Wales tendia para o inclusionismo. No fim do verão de 2007, visitou a Cidade do Cabo, na África do Sul, almoçou num estabelecimento chamado Mzoli’s, e criou um “rascunho” contendo apenas uma frase: “Mzoli’s Meats é um açougue e restaurante localizado no subúrbio de Guguletu perto da Cidade do Cabo, na África do Sul”. O texto sobreviveu por 22 minutos antes de um administrador chamado ^demon, de dezenove anos, apagar o texto alegando tratar-se de algo insignificante. Uma hora mais tarde, outro usuário recriou o verbete e o expandiu, com base em informações de um blog da Cidade do Cabo e de uma entrevista para o rádio transcrita na internet. Dois minutos se passaram, e outro usuário apresentou suas objeções dizendo que “este verbete ou seção está escrito nos moldes de um anúncio”. E assim por diante. A palavra “famoso” foi inserida e deletada várias vezes. O usuário ^demon voltou a opinar,

argumentando: “Não somos uma página de classificados nem um guia de turismo”. O usuário EVula retrucou: “Creio que, se dermos a este verbete um pouco mais do que duas horas de existência, talvez tenhamos algo que valha a pena ler”. Logo a disputa atraiu o interesse de jornais na Austrália e na Inglaterra. No ano seguinte, o verbete não só tinha sobrevivido como passara a incluir uma fotografia, latitude e longitude exatas, uma lista de catorze referências e seções distintas relacionadas a História, Estabelecimentos e Turismo. Certa dose de ressentimento sem dúvida perdurou, pois, em março de 2008, um usuário anônimo substituiu o verbete inteiro por uma frase: “Mzoli’s é um restaurantezinho insignificante cujo verbete só existe porque Jimmy Wales é um egomaníaco tapado”. Essa versão ficou no ar por menos de um minuto.

A Wikipédia evolui de maneira dendrítica, disparando novos tentáculos em muitas direções. (Nisso ela se assemelha ao universo.) Assim, delecionismo e inclusionismo dão origem ao fusionismo e ao incrementalismo. Levam ao faccionalismo, e as facções explodem em Associações de Wikipedianos Delecionistas e Inclusionistas lado a lado com a Associação de Wikipedianos que Não Gostam de Fazer Julgamentos Genéricos Envolvendo o Mérito de uma Categoria Ampla de Verbetes, e que São Favoráveis ao Apagamento de Alguns Verbetes Particularmente Ruins, Sem que Isso Queira Dizer que Sejam Delecionistas. Wales se preocupava especialmente com as Biografias de Pessoas Vivas. Num mundo ideal, no qual a Wikipédia pudesse ser libertada das preocupações práticas da manutenção e da confiabilidade, Wales disse que ficaria feliz em ver uma biografia de cada ser humano no planeta. Isso vai além de Borges.

Mesmo nesse caso, no extremo impossível — cada pessoa, cada parafuso de bicicleta —, o acervo não chegaria a nada parecido com Todo o Conhecimento. No caso das enciclopédias, a informação tende a vir na forma de tópicos e categorias. Em 1790 a *Britannica* apresentou sua organização como “um plano inteiramente novo”.[20] Ela anunciava “as diferentes ciências e artes” organizadas como “Tratados ou Sistemas distintos”:

E *explicações completas apresentadas* sobre as

Várias Partes Distintas do Conhecimento, sejam relacionadas a Objetos
Naturais e Artificiais ou a Questões Eclesiásticas, Civis, Militares, Comerciais, &c.

Na Wikipédia, as partes distintas do conhecimento tendem a se dividir continuamente. Os editores analisaram a dinâmica lógica como poderiam ter feito Aristóteles ou Boole:

> Muitos tópicos têm por base o relacionamento do *fator X* com o *fator Y*, resultando em um ou mais verbetes completos. Estes podem se referir, por exemplo, a *situação X* no *local Y*, ou *versão X* do *item Y*. Trata-se de algo perfeitamente válido quando as duas variáveis reunidas representam algum fenômeno culturalmente relevante ou alguma outra forma de interesse notável. Com frequência, são necessários verbetes distintos para um tema dentro de uma gama de países diferentes, dadas as diferenças substanciais com relação às fronteiras internacionais. Verbetes como a indústria da ardósia no País de Gales e a raposa-das-ilhas são exemplos disso. Mas escrever a respeito de carvalhos na Carolina do Norte ou um caminhão azul provavelmente levaria a diferentes pontos de vista, a uma pesquisa original, ou a um verbete simplesmente bobo.21

Charles Dickens tinha pensado nesse mesmo problema anteriormente. Em *As aventuras do sr. Pickwick*, diz-se que um homem teria lido a respeito da metafísica chinesa na *Britannica*. No entanto, não havia tal verbete na enciclopédia: “Ele lera o texto sobre metafísica na letra M, e o texto sobre a China na letra C, e combinara a informação de ambos”.[22]

Em 2008, o romancista Nicholson Baker, sob o pseudônimo de Wageless, foi tragado pela Wikipédia como tantos outros, primeiro buscando informações e, depois, tentando acrescentar algumas, começando numa noite de sexta-feira com um verbete sobre a somatotropina bovina e, no dia seguinte, escrevendo sobre o filme *Sintonia do amor*, periodização e fluido hidráulico. No domingo foram as pornochanchadas brasileiras, um jogador de futebol americano dos anos 1950 chamado Earl Blair, voltando então ao fluido hidráulico. Na terça-feira ele descobriu o WikiProjeto de Salvamento de Artigos, dedicado à localização de verbetes que corriam o risco de ser apagados e a seu aprimoramento com o intuito de salvá-los. Baker se inscreveu imediatamente, deixando um recado: “Quero fazer parte disso”. Sua derrocada rumo à obsessão está documentada nos

arquivos, como tudo o mais que ocorre na Wikipédia, e ele escreveu sobre isso alguns meses mais tarde numa publicação impressa, a *New York Review of Books*:

> Comecei a ficar de pé ao lado do computador ligado na cozinha, observando minha lista cada vez maior de verbetes ameaçados, conferindo, lendo. […] Parei de ouvir aquilo que minha família dizia — por duas semanas praticamente desapareci dentro da tela, tentando resgatar biografias breves, às vezes laudatórias demais, mas ainda assim valiosas, ao reescrevê-las numa linguagem neutra, vasculhando apressadamente os bancos de dados de jornais e do Google Books em busca de referências que pudessem melhorar seu cociente de relevância. Tinha me convertido num "inclusionista".23

Ele concluiu com uma "esperança secreta": que todas as ruínas e os fragmentos pudessem ser salvos, se não na Wikipédia, então "num Wikinecrotério — uma lixeira de sonhos partidos". Ele sugeriu chamá-lo de Deletopédia. "Com o passar do tempo, isso teria muito a nos dizer." Seguindo o princípio segundo o qual nada que esteja on-line pode perecer, a Deletionpedia foi criada pouco tempo depois, e cresceu em níveis. A Igreja Presbiteriana de Port Macquarie sobrevive ali, embora, rigorosamente falando, não faça parte da enciclopédia. Que alguns chamam de universo.

Os nomes se tornaram um problema especial; sua desambiguação; sua complexidade; suas colisões. O fluxo quase ilimitado de informação teve o efeito de jogar todos os itens do mundo numa mesma arena, onde pareciam participar de um frenético jogo de bate-bate. Épocas mais simples tinham possibilitado uma nomeação mais simples: "Iahweh Deus modelou então, do solo, todas as feras selvagens e todas as aves do céu e as conduziu ao homem para ver como ele as chamaria", diz o livro de Gênesis [2,19]; "cada qual devia levar o nome que o homem lhe desse". Para cada criatura um nome; para cada nome uma criatura. Logo, entretanto, Adão recebeu ajuda.

Em seu romance *Os infinitos*, John Banville imagina o deus Hermes dizendo: "Uma hamadríada é uma ninfa da floresta, e também uma cobra venenosa da Índia e um babuíno da Abissínia. É preciso ser um deus para saber algo

assim”.[24] Mas, de acordo com a Wikipédia, *hamadríada* é também o nome de uma borboleta, de uma revista indiana de história natural e de uma banda canadense de rock progressivo. Será que agora somos todos como deuses? A banda de rock e a ninfa das florestas poderiam coexistir sem atrito, mas, em termos mais gerais, a queda das barreiras informacionais leva a conflitos envolvendo os nomes e os direitos de nomear. A gama de possibilidades parece infinita, mas a demanda é ainda maior.

As grandes empresas telegráficas, que enfrentavam em 1919 o crescente problema das mensagens encaminhadas ao destinatário errado, estabeleceram um Escritório Central de Endereços Registrados. Seu gabinete central no distrito financeiro de Nova York ocupava uma sobreloja em Broad Street, cheia de arquivos de gavetas de aço. Os fregueses eram convidados a registrar codinomes para seus endereços: palavras simples de cinco a dez letras, com a exigência de serem “pronunciáveis” — ou seja, “formadas por sílabas que apareçam em um dos oito idiomas europeus”.[25] Muitos fregueses se queixaram da taxa anual — 2,50 dólares por codinome —, mas, já em 1934, o escritório administrava uma lista de 28 mil nomes, incluindo illuminate (a Companhia Edison de Nova York), tootsweets (a Empresa Americana de Doces) e cherrytree (o Hotel George Washington).[26] O financista Bernard M. Baruch garantiu baruch para si. Os primeiros a chegar eram os primeiros a ser atendidos, e a situação foi um exemplo modesto do que viria a seguir.

É claro que o ciberespaço muda tudo. Uma empresa da Carolina do Sul chamada Fox & Hound Imobiliária, cujo proprietário-corretor é Billy Benton, registrou para si o domínio baruch.com. Um canadense de High Prairie, Alberta, registrou o domínio jrrtolkien.com e se agarrou a ele por uma década, até que uma comissão da Organização Mundial da Propriedade Intelectual, de Genebra, retirasse o endereço eletrônico de seu poder. O nome tinha valor — outros que manifestaram interesse por ele, como nome comercial e marca, registrada ou não, incluíam os herdeiros do falecido autor, editoras e cineastas, além dos milhares e milhares de pessoas de todo o mundo que por acaso partilham de seu sobrenome. O mesmo indivíduo de High Prairie estava montando um empreendimento com base em sua posse de nomes famosos: Céline Dion, Albert

Einstein, Michael Crichton, Pierce Brosnan e cerca de outros 1500. Algumas dessas pessoas reagiram. Um pequeno conjunto de nomes — os cumes e pontos mais altos — desenvolveu uma tremenda concentração de valor econômico. Os economistas acreditam que a palavra *Nike* tenha um valor de 7 bilhões de dólares; *Coca-Cola* parece ter um valor dez vezes maior.

No estudo onomástico, é um axioma dizer que unidades sociais em crescimento levam a sistemas de nomes em crescimento. Para a vida nas tribos e nos vilarejos, nomes simples como Albin e Ava eram suficientes, mas as tribos deram lugar aos clãs, as cidades deram lugar às nações, e as pessoas tiveram de se esforçar mais: sobrenomes e patronímicos; nomes que tinham como base a geografia e a profissão. Sociedades mais complexas exigem nomes mais complexos. A internet não representa apenas uma nova oportunidade para as disputas envolvendo nomes, mas também um salto em escala que causa uma transição fásica.

Um compositor musical de Atlanta conhecido como Bill Wyman recebeu uma carta de cessação e desistência por parte dos advogados representantes do ex-baixista dos Rolling Stones, também conhecido como Bill Wyman, exigindo, no caso, que ele “cessasse e desistisse” de usar seu nome. Em resposta, o primeiro Bill Wyman destacou que o nome de batismo do segundo Bill Wyman era William George Perks. A empresa automobilística conhecida na Alemanha como Dr. Ing. h.c. F. Porsche ag travou uma série de batalhas para proteger o nome Carrera. Outra envolvida na disputa era a vila suíça de Carrera, código postal 7122. “A vila de Carrera existia antes da marca registrada da Porsche”, escreveu Christoph Reuss, da Suíça, aos advogados da montadora. “O uso que a Porsche faz desse nome constitui uma apropriação indevida da boa vontade e da reputação desenvolvidas pelos aldeões de Carrera.” E achou por bem acrescentar: “A vila emite muito menos barulho e poluição do que o Porsche Carrera”. Ele não mencionou que José Carreras, o cantor de ópera, estava envolvido em sua própria disputa envolvendo nomes. A empresa de carros, enquanto isso, também alegava ser a proprietária dos números 911.

Um útil termo técnico emergiu da ciência da computação: *espaço de nomes*, um reino no qual todos os nomes são distintos e únicos. O mundo há muito tem

espaços de nomes com base na geografia e outros espaços de nomes com base em nichos econômicos. Uma loja poderia se chamar Bloomingdale's desde que se mantivesse longe de Nova York; uma empresa poderia se chamar Ford desde que não fabricasse carros. As bandas de rock do mundo constituem um espaço de nomes, no qual Pretty Boy Floyd e Pink Floyd e Pink podem coexistir, bem como os 13th Floor Elevators e os 99th Floor Elevators e Hamadryad. Encontrar novos nomes nesse espaço torna-se um desafio. O cantor e compositor conhecido por muito tempo como "Prince" recebeu esse nome ao nascer. Quando se cansou dele, viu-se rotulado com um metanome: "O Artista Antes Conhecido como Prince". O Sindicato dos Atores de Cinema mantém seu próprio espaço de nomes — só pode haver uma Julia Roberts. Os espaços de nomes mais tradicionais estão sobrepostos e misturados. E muitos acabam superlotados.

Os nomes farmacêuticos são um caso especial: surgiu uma subindústria dedicada à tarefa de criá-los, pesquisá-los e testá-los. Nos Estados Unidos, a Food and Drug Administration analisa os nomes propostos para remédios em busca de possíveis colisões, e esse processo é complexo e incerto. Erros provocam mortes. A metadona, receitada para dependência de opiáceos, já foi aplicada no lugar da Metadate, para o distúrbio de déficit de atenção, e o Taxol, remédio para o câncer, já foi confundido com Taxotere, outro remédio para o câncer, com resultados fatais. Os médicos temem os erros decorrentes de nomes que parecem iguais ou soam iguais: Zantac/Xanax; Verelan/Virilon. Os linguistas bolam medidas científicas da "distância" entre os nomes. Mas Lamictal, Lamisil, Ludomil e Lomotil são todos nomes de remédios que foram aprovados.

No espaço de nomes corporativos, os sinais de superlotação podem ser vistos no gradual desaparecimento de nomes que poderiam ser chamados de simples, plenos de significado. Nenhuma empresa nova poderia ter um nome como General Electric, nem First National Bank nem International Business Machines. Da mesma maneira, A.1. Steak Sauce só poderia se referir a um produto com um longo histórico comercial. Há milhões de nomes de empresas, e vastas somas de dinheiro são entregues a consultores profissionais encarregados de criar novos tipos. Não é coincidência o fato de os espetaculares triunfos de nomeação do

ciberespaço beirarem o absurdo: Yahoo!, Google, Twitter.

A internet não é apenas uma geradora de espaços de nomes — ela é também um espaço de nomes em si mesma. A navegação pelas redes de computadores de todo o mundo depende de sistemas especiais de nomes de domínios, como coca-cola.com. Esses nomes são, na verdade, endereços, no sentido moderno da palavra: “um registro, uma localização ou um dispositivo no qual a informação é armazenada”. O texto codifica números, e os números apontam para locais no ciberespaço, dividindo-se em redes, sub-redes e dispositivos. Embora sejam códigos, esses breves fragmentos de texto também trazem o grande peso do significado no mais vasto dos espaços de nomes. Eles reúnem traços de marcas registradas, placas de veículos personalizadas, códigos postais, designações alfabéticas de estações de rádio, e grafite urbano. Como no caso dos nomes do código telegráfico, qualquer um poderia registrar um nome de domínio, por uma pequena taxa, a partir de 1993. Os primeiros a chegar eram os primeiros a ser atendidos. A demanda excedia a oferta.

As palavras pequenas são especialmente complicadas. Muitas entidades possuem marcas registradas como “apple”, mas só existe um apple.com. Quando os domínios da música e da computação colidiram, o mesmo ocorreu com os Beatles e a empresa de computadores. Existe apenas um mcdonalds.com, e um jornalista chamado Joshua Quittner foi o primeiro a registrar o endereço. Por mais que o império da moda de Giorgio Armani quisesse o armani.com, o domínio já pertencia a Anand Ramnath Mani, de Vancouver, e ele chegou primeiro. Como era de esperar, surgiu um mercado secundário de comercialização de nomes de domínio. Em 2006, um empreendedor pagou a outro 14 milhões de dólares pelo sex.com. A essa altura, quase todas as palavras de quase todos os idiomas bem conhecidos já tinham sido registradas, e o mesmo valia para incontáveis combinações de palavras e variações de palavras — mais de 100 milhões. Trata-se de um novo ramo de atividades para os advogados corporativos. Uma equipe a serviço da DaimlerChrysler, em Stuttgart, Alemanha, conseguiu recuperar mercedesshop.com, driveamercedes.com, dodgeviper.com, crysler.com, chrisler.com, chrystler.com e christler.com.

Os alicerces legais da propriedade intelectual foram abalados. A resposta foi

uma espécie de pânico — uma corrida pelas marcas registradas. Até 1980, os Estados Unidos registravam cerca de 10 mil marcas por ano. Passadas três décadas, o número se aproximava de 300 mil, aumentando a cada ano. A imensa maioria das solicitações de registro costumava ser rejeitada; agora ocorre o oposto. Todas as palavras do idioma, em todas as combinações possíveis, parecem ter o direito de ser protegidas pelos governos. Uma típica amostragem de marcas registradas nos Estados Unidos no início do século xxi: green circle, desert island, my student body, enjoy a party in every bowl!, technolift, meeting ideas, tamper proof key rings, the best from the west, awesome activities.

A colisão de nomes, o esgotamento de nomes — isso já ocorreu antes, ainda que nunca em tamanha escala. Os naturalistas antigos conheciam talvez quinhentas plantas diferentes e, é claro, deram um nome a cada uma delas. Então, na Europa, conforme os livros impressos começaram a se espalhar com listas e ilustrações, um conhecimento organizado e coletivo surgiu e, com ele, como mostrou o historiador Brian Ogilvie, a disciplina chamada história natural.[27] Os primeiros botânicos descobriram uma profusão de nomes. Caspar Ratzenberger, um estudante de Wittenberg na década de 1550, reuniu um herbário e tentou organizar os diferentes nomes: para uma determinada espécie, encontrou onze nomes em latim e alemão: *Scandix*, *Pecten veneris*, *Herba scanaria*, *Cerefolium aculeatum*, *Nadelkrautt*, *Hechelkam*, *NadelKoerffel*, *Venusstrahl*, *Nadel Moehren*, *Schnabel Moehren*, *Schnabelkoerffel*.[28] Na Inglaterra, ela recebia o nome de *shepherd's needle* ou *shepherd's comb*. Logo a profusão de espécies ultrapassou a profusão de nomes. Os naturalistas formaram uma comunidade — correspondiam-se uns com os outros e viajavam. No fim daquele século um botânico suíço tinha publicado um catálogo de 6 mil plantas.[29] Cada naturalista que descobrisse uma nova tinha o privilégio e a responsabilidade de dar-lhe um nome, e a proliferação de adjetivos e compostos foi inevitável, assim como a duplicação e a redundância. Somente no inglês, *shepher's needle* e *shepherd's comb* receberam a companhia de *shepherd's bag*, *shepherd's purse*, *shepherd's beard*, *shepherd's bedstraw*, *shepherd's bodkin*, *shepherd's cress*, *shepherd's hour-glass*, *shepherd's rod*, *shepherd's gourd*, *shepherd's joy*, *shepherd's knot*, *shepherd's myrtle*, *shepherd's peddler*, *shepherd's pouche*, *shepherd's staff*, *shepherd's teasel*, *shepherd's scrip* e

*shepherd's delight*.

Carl Linnaeus ainda não tinha inventado a taxonomia. Quando o fez, no século xviii, ele tinha 7700 espécies de plantas para nomear, além de 4400 animais. Hoje há cerca de 300 mil, sem contar os insetos, o que acrescentaria outros milhões à lista. Os cientistas ainda tentam dar nome a todos eles: há espécies de besouros batizadas em homenagem a Barack Obama, Darth Vader e Roy Orbison. Frank Zappa emprestou seu nome a uma aranha, um peixe e uma água-viva.

"O nome de um homem é como sua sombra",[30] disse o onomatólogo vienense Ernst Pulgram em 1954. "Não é sua substância e não é sua alma, mas vive com ele e por ele. Sua presença não é vital, assim como sua ausência não é fatal." Tratava-se de uma época mais simples.

Quando Claude Shannon apanhou uma folha de papel e fez um rascunho de sua estimativa para as medidas da informação em 1949, a escala ia de dezenas de bits a centenas de milhares, milhões, bilhões e trilhões. O transistor tinha um ano de idade, e a lei de Moore ainda não havia sido pensada. No topo da pirâmide estava a estimativa de Shannon para a Biblioteca do Congresso — 100 trilhões de bits, $10^{14}$. A aproximação dele estava correta, mas a pirâmide estava crescendo.

Depois dos bits vieram os kilobits, naturalmente. Afinal, os engenheiros tinham criado a palavra *kilograna* — "a ideia de um cientista para uma maneira curta de dizer 'mil dólares'",[31] foi a útil explicação do *New York Times* publicada em 1951. As medidas de informação cresciam numa escala exponencial, e nos anos 1960 ficou claro que tudo aquilo que estivesse relacionado com a informação cresceria exponencialmente a partir de então. Essa ideia foi expressa de maneira casual por Gordon Moore, que era um estudante de graduação em química quando Shannon rabiscou sua anotação e acabou indo parar no ramo da engenharia eletrônica e do desenvolvimento de circuitos integrados. Em 1965, três anos antes de fundar a Intel Corporation, Moore estava apenas fazendo uma moderada e modesta sugestão de que em questão de uma década, até 1975, até

65 mil transistores poderiam ser combinados numa única folha de silício. Ele previu que a quantidade dobraria a cada doze ou 24 meses — dobrando o número de componentes que poderiam ser incluídos num chip, mas também, como foi percebido depois, dobrando todo tipo de capacidade de memória e velocidade de processamento, e cortando pela metade o tamanho e o custo num processo que parecia não ter fim.

Os kilobits podiam ser usados para expressar a velocidade de transmissão, bem como a quantidade de armazenamento. Em 1972, as empresas podiam alugar linhas de alta velocidade que transportavam dados a velocidades de até 240 kilobits por segundo. Seguindo o exemplo da ibm, cujo equipamento costumava processar a informação em pacotes de oito bits, os engenheiros logo adotaram a unidade moderna e levemente arbitrária chamada byte. Bits e bytes. Um kilobyte, portanto, representava 8 mil bits; um megabyte (grandeza seguinte), 8 milhões. Na ordem das grandezas conforme definida pelos comitês internacionais de padrões, *mega-* é seguido por *giga-*, *tera-*, *peta-* e *exa-*, derivados do grego, embora com fidelidade linguística cada vez menor. Foi suficiente para tudo aquilo que foi medido até 1991, quando surgiu a necessidade do zetabyte (1000000000000000000000) e do iotabyte (1000000000000000000000000), que soa inadvertidamente cômico. Nessa ascensão exponencial a informação se distanciou muito de outras medidas. O dinheiro, por exemplo, é escasso se comparado a ela. Depois da kilograna, houve a megagrana e a gigagrana, e podemos fazer piadas dizendo que a inflação nos levará à teragrana, mas todo o dinheiro do mundo, toda a riqueza somada por todas as gerações da humanidade, não chega ao total da petagrana.

Os anos 1970 foram a década dos megabytes. No verão de 1970, a ibm lançou dois novos modelos de computador com mais memória do que quaisquer outros já vistos: o Model 155, com 768 mil bytes de memória, e o Model 165, maior, com um megabyte inteiro, num grande armário. Um desses mainframes, cujas dimensões eram suficientes para ocupar um cômodo inteiro, poderia ser comprado por 4674160 dólares. Já em 1982, a Prime Computer estava oferecendo um megabyte de memória numa única placa de circuitos por 36 mil dólares. Quando os editores do *Oxford English Dictionary* começaram a

digitalizar seu conteúdo em 1987 (120 digitadores; um mainframe ibm), estimaram seu tamanho em um gigabyte. Um gigabyte também engloba todo o genoma humano. Mil destes preencheriam um terabyte. Um terabyte foi a quantidade de espaço de armazenamento em disco que Larry Page e Sergey Brin foram capazes de reunir com a ajuda de 15 mil dólares distribuídos em seus cartões de crédito pessoais em 1998, quando eram alunos de pós-graduação em Stanford construindo um protótipo de mecanismo de busca, primeiro batizado de BackRub e logo renomeado como Google. Um terabyte é o volume de dados que uma típica emissora analógica de televisão transmite diariamente, e era o tamanho do banco de dados de patentes e marcas registradas do governo dos Estados Unidos quando foi disponibilizado na rede, em 1998. Já em 2010, era possível comprar um disco rígido de um terabyte por cem dólares, uma peça cabia na palma da mão. Os livros da Biblioteca do Congresso representam cerca de dez terabytes (como Shannon adivinhara), e o número é muito maior quando são contadas imagens e músicas gravadas. Hoje a biblioteca arquiva páginas da internet — em fevereiro de 2010 já tinham sido reunidos 160 terabytes desse tipo de material.

Conforme o trem avançava, seus passageiros às vezes sentiam que o ritmo parecia abreviar a ideia que faziam da própria história. A lei de Moore parecera simples no papel, mas suas consequências deixaram as pessoas perdidas na busca por metáforas com as quais pudessem compreender aquilo que vivenciavam. O cientista da computação Jaron Lanier descreveu a sensação da seguinte maneira: “É como se nos ajoelhássemos para plantar a semente de uma árvore e ela crescesse rápido a ponto de engolir nossa cidade inteira antes que tivéssemos tempo de nos levantar”.[32]

Uma metáfora mais conhecida é a nuvem. Toda aquela informação — toda aquela capacidade de informação — paira sobre nós, não exatamente visível, não exatamente tangível, mas incrivelmente real; amorfa, espectral; sobrevoando bem próxima, sem estar situada num determinado lugar. O paraíso deve um dia ter transmitido essa sensação aos fiéis. As pessoas falam em transferir suas vidas para a nuvem — ao menos suas vidas informacionais. É possível armazenar fotografias na nuvem; o Google vai cuidar de seus negócios na nuvem; o Google

está pondo todos os livros do mundo na nuvem; o e-mail vai e vem da nuvem, e nunca deixa de fato a nuvem. Todas as ideias tradicionais de privacidade, com base em portas e trancas, distância física e invisibilidade, são postas de cabeça para baixo na nuvem.

O dinheiro vive na nuvem — as formas antigas são vestígios elementares do conhecimento a respeito de quem é dono do quê, quem deve o quê. Para o século xxi serão vistos como anacronismos, curiosos ou até absurdos: dobrões de ouro carregados de praia a praia em frágeis navios, sujeitos às taxas dos piratas e do deus Posêidon; moedas metálicas arremessadas de carros em movimento dentro de cestas em pedágios de estradas e, logo a seguir, transportadas por aí a bordo de caminhões (agora a história de nossos automóveis está na nuvem); cheques de papel arrancados de talões e assinados com tinta; passagens de trem, entradas para espetáculos, bilhetes aéreos, ou qualquer outra coisa impressa em pesados papéis perfurados com marcas-d'água, hologramas ou fibras fluorescentes; e, em breve, todas as formas de dinheiro. A economia do mundo tem suas transações realizadas na nuvem.

Seu aspecto físico não poderia ser menos semelhante ao do vapor condensado. Torres de servidores proliferam em edifícios anônimos de tijolos e complexos de aço, com janelas espelhadas ou mesmo sem janelas, quilômetros de andares ocos, geradores a diesel, sistemas de resfriamento, circuladores de ar de dois metros de diâmetro e conjuntos de chaminés de alumínio.[33] Essa infraestrutura oculta cresce num relacionamento simbiótico com a infraestrutura elétrica, com a qual se assemelha cada vez mais. Há alternadores de informação, centros de controle e subestações. Eles são reunidos em grandes números e distribuídos. Essas são as engrenagens — a nuvem é seu avatar.

A informação produzida e consumida pela humanidade costumava desaparecer — essa era a norma, o padrão. As imagens, os sons, as canções, as palavras ditas simplesmente desvaneciam. Marcas na pedra, no pergaminho e no papel eram um caso especial. Não ocorreu à plateia de Sófocles que seria triste ver suas peças se perderem — os espectadores apenas desfrutavam do espetáculo. Agora as expectativas se inverteram. Tudo pode ser registrado e preservado, ao menos em potencial: toda apresentação musical; todo crime

cometido numa loja, elevador ou via urbana; cada vulcão ou tsunami na praia mais remota; cada carta jogada ou peça movida numa partida disputada on-line; cada trombada numa partida de rúgbi e cada lance de um jogo de críquete. Ter uma câmera nas mãos é normal, e não excepcional — foram capturados cerca de 500 bilhões de imagens em 2010. O YouTube já estava transmitindo mais de 1 bilhão de vídeos por dia. A maior parte disso é casual e desorganizada, mas há casos extremos. Nos laboratórios da Microsoft Research, o pioneiro da computação, Gordon Bell, na casa dos setenta anos, começou a registrar cada momento de seu dia, cada conversa, mensagem, documento, à razão de um megabyte por hora ou um gigabyte por mês, usando ao redor do pescoço aquilo que chamou de "SenseCam", ou câmera sensorial, para criar o que chamou de "LifeLog", um diário da vida. Onde isso termina? Não na Biblioteca do Congresso.

Por fim, torna-se natural — e até inevitável — perguntar quanta informação existe no universo. Essa é a consequência de Charles Babbage e Edgar Allan Poe dizerem: "Nenhum pensamento pode perecer". Seth Lloyd faz as contas. Trata-se de um engenheiro quântico do mit, de rosto redondo e óculos, um teórico e projetista de computadores quânticos. Ele diz que, em virtude de sua existência, o universo registra informações. Em virtude de sua evolução no tempo, ele processa informação. Quanta? Para descobrir isso, Lloyd leva em conta a velocidade com a qual esse "computador" trabalha e há quanto tempo está funcionando. Considerando-se o limite fundamental da velocidade, $2E/\pi\hbar$ operações por segundo ("sendo $E$ a energia média do sistema acima do estado básico, e $\hbar = 1{,}0545 \times 10^{-34}$ joule-segundo sendo a constante reduzida de Planck"), e do espaço de memória, limitado pela entropia em $S/kB \ln 2$ ("sendo $S$ a entropia termodinâmica do sistema, e $kB = 1{,}38 \times 10^{-23}$ joules/K sendo a constante de Boltzmann"), bem como a velocidade da luz e a idade do universo desde o big bang, Lloyd calcula que o universo pode ter realizado algo na ordem de $10^{120}$ ops ao longo de toda a história.[34] Considerado "todo grau de liberdade de cada partícula do universo", ele poderia agora armazenar algo como $10^{90}$ bits. E essa quantia só faz crescer.

# 15. Novas notícias todos os dias (*E coisas do tipo*)

> *Peço desculpas pela turbulência e inconstância do site nos últimos dias. Ao que me parece, bizarros acúmulos de gelo projetam seu peso nos galhos da internet e caminhões transportando pacotes de informação derrapam por toda parte.*
>
> Andrew Tobias, 20071

Conforme a prensa de tipos móveis, o telégrafo, a máquina de escrever, o telefone, o rádio, o computador e a internet prosperaram, cada um a seu momento, as pessoas diziam, como se fosse a primeira vez, que um fardo fora depositado na comunicação humana: nova complexidade, novo distanciamento e um novo e assustador excesso. Em 1962, o presidente da Associação Histórica Americana, Carl Bridenbaugh, alertou seus colegas para o fato de a experiência humana estar passando por uma "Grande Mutação" — tão súbita e tão radical "que estamos agora sofrendo de algo semelhante a uma amnésia histórica".[2] Ele lamentou o declínio da leitura, o distanciamento em relação à natureza (pelo qual responsabilizava em parte as "feias caixas amarelas Kodak" e o "rádio de transistores encontrado por toda parte") e a perda da cultura compartilhada. Acima de tudo, para aqueles que se ocupavam de preservar e registrar o passado, ele se preocupava com as novas ferramentas e técnicas disponíveis aos estudiosos: "a Quantificação, aquela deusa-cadela"; "as máquinas de processamento de dados"; bem como "aqueles assustadores dispositivos de leitura de projeções, dos quais se diz que serão capazes de ler livros e documentos em nosso nome". *Mais* não era *melhor*, declarou ele:

> Independentemente da falação incessante a respeito da comunicação que ouvimos todos os dias, ela não foi aperfeiçoada; na verdade, tornou-se mais difícil.3

Tais comentários se tornaram bastante conhecidos em diferentes formas: primeiro, a palestra oral, ouvida por cerca de mil pessoas no salão do hotel de Conrad Hilton em Chicago na última noite de sábado de 1962;[4] a seguir, a

versão impressa na revista da sociedade em 1963; e então, passada uma geração, uma versão on-line, com alcance muito maior e, talvez, uma durabilidade igualmente ampliada.

Elizabeth Eisenstein encontrou a versão impressa em 1963, quando lecionava história como professora adjunta contratada em regime de meio período pela Universidade Americana em Washington (o melhor emprego que ela poderia conseguir, sendo uma mulher com diploma de doutorado obtido em Harvard). Mais tarde, ela identificou aquele momento como o ponto de partida de quinze anos de pesquisas que culminariam em sua marcante contribuição erudita: dois volumes intitulados *A prensa de tipos móveis como agente de mudança*. Antes do surgimento do trabalho de Eisenstein, em 1979, ninguém tinha se aventurado num estudo abrangente da prensa de tipos móveis como revolução comunicativa essencial para a transição da época medieval para a modernidade. Como ela destacava, os manuais de história tendiam a encaixar a prensa de tipos móveis em algum ponto entre a Peste Negra e a descoberta da América.[5] Ela trouxe a invenção de Gutenberg para o centro do palco: a transição da forma manuscrita para a forma impressa; a ascensão das prensas comerciais nas cidades europeias do século xv; a transformação na "coleta de dados, nos sistemas de armazenamento e consulta e nas redes de comunicação".[6] Ela enfatizou modestamente que preferiria tratar a prensa de tipos móveis como *um* agente de mudança, mas deixou os leitores convencidos de seu papel indispensável nas transformações dos primórdios da Europa moderna: o Renascimento, a Reforma Protestante e o nascimento da ciência. Tratou-se de "um decisivo ponto na história humana a partir do qual não houve retorno possível".[7] Aquilo moldou a consciência moderna.

Moldou também a consciência dos historiadores. Ela estava interessada nos hábitos mentais inconscientes de sua profissão. Ao embarcar em seu projeto, começou a crer que os estudiosos eram com frequência cegados para a observação dos efeitos do próprio suporte no qual nadavam. Creditou Marshall McLuhan, cuja obra *Gutenberg Galaxy* tinha surgido em 1962, por obrigá-los a redefinir o foco de seu olhar. Na era dos escribas, a cultura tinha apenas cálculos primitivos da cronologia: linhas do tempo de contornos pouco definidos

contavam as gerações passadas desde Adão, ou Noé, ou Rômulo e Remo. “As atitudes em relação às mudanças históricas”, escreveu ela,

> serão encontradas apenas ocasionalmente em textos dedicados à “história” e, com frequência, precisam ser extraídas das entrelinhas de tais textos. Precisam ser igualmente extraídas das entrelinhas de sagas e épicos, escrituras sagradas, inscrições funerárias, símbolos e cifras, imensos monumentos de pedra, documentos trancados em baús nas salas notárias, e das anotações feitas nas margens dos manuscritos.8

A ideia mais clara de *quando* nos situamos — a capacidade de enxergar o passado disposto diante de nossos olhos; a internalização das tabelas mentais do tempo; o reconhecimento dos anacronismos — veio com a transição para a forma impressa.

Como máquina duplicadora, a prensa de tipos móveis não apenas tornava os textos mais baratos e acessíveis. Seu verdadeiro poder estava em torná-los mais estáveis. “A cultura dos escribas”, escreveu Eisenstein, era “constantemente enfraquecida pela erosão, corrupção e perda.”[9] O texto impresso era confiável, autêntico e permanente.[10] Quando Tycho Brahe passou incontáveis horas debruçado sobre tabelas estelares e planetárias, ele contava com a possibilidade de outros se referirem às mesmas tabelas, no presente e no futuro. Quando Kepler computou seu catálogo, muito mais preciso, ele se aproveitou das tabelas de logaritmos publicadas por Napier. Enquanto isso, as prensas tipográficas comerciais não estavam divulgando apenas as teses de Martinho Lutero, mas também a própria Bíblia, ainda mais importante. A revolução do Protestantismo dependia mais da leitura da Bíblia do que de qualquer outro ponto da doutrina — forma impressa sobrepujando a manuscrita; o códex suplantando o pergaminho; e o coloquial substituindo os idiomas antigos. Antes da forma impressa, as escrituras não tinham sido de fato fixadas. Todas as formas de conhecimento alcançaram estabilidade e permanência, não porque o papel era mais durável do que o papiro, mas simplesmente porque havia muitas cópias.

Em 1963, ao ler os alertas do presidente da Associação Histórica Americana, Eisenstein concordou que a profissão enfrentava uma espécie de crise. Mas, para

ela, Bridenbaugh tinha entendido aquilo exatamente ao contrário. Ele pensou que o problema fosse o esquecimento: “A meu ver”, disse ele, dramático, “a humanidade se vê diante de nada menos do que a perda de sua memória, e essa memória é a história”.[11] Observando as mesmas novas tecnologias da informação que tanto incomodavam os historiadores mais velhos, Eisenstein tirou delas uma lição oposta. O passado não está sumindo de vista, e sim o contrário, está se tornando *mais* acessível e *mais* visível. “Numa era que viu o aprendizado da escrita Linear B e a descoberta dos pergaminhos do mar Morto”, escreveu ela, “parece haver pouco motivo para nos preocuparmos com ‘a perda da memória da humanidade’. Há boas razões para nos preocuparmos com uma sobrecarga de seus circuitos.” Quanto à amnésia lamentada por Bridenbaugh e tantos de seus colegas:

> Trata-se de uma leitura equivocada das dificuldades enfrentadas hoje pelos historiadores. Não é o avanço de uma amnésia que responde pelos obstáculos presentes, e sim uma lembrança mais completa do que a vivenciada por todas as gerações anteriores. Foi a recuperação constante — e não a obliteração —, o acúmulo — e não a perda — que levaram ao impasse atual.12

Do ponto de vista dela, uma revolução nas comunicações que já somava cinco séculos ainda estava ganhando força. Como era possível que não enxergassem isso?

“Sobrecarga de circuitos” era uma metáfora relativamente nova para se expressar uma sensação — *informação demais* — que parecia nova. Sempre parecera nova. A pessoa anseia por livros; relê alguns de seus favoritos; pede emprestado ou de presente outros títulos; espera na porta da biblioteca e, quem sabe, num piscar de olhos, se descobre num estado de saciedade: *há obras demais para ler*. Em 1621, o estudioso de Oxford Robert Burton (que reuniu uma das maiores bibliotecas particulares do mundo, com 1700 livros, mas nunca teve um thesaurus) deu voz a esse sentimento:

> Ouço novas notícias todos os dias, bem como os rumores habituais de guerras, pestes, incêndios, inundações, roubos, assassinatos, massacres, meteoros, cometas, espectros, prodígios, aparições, de vilarejos tomados, cidades sitiadas na França, Alemanha, Turquia, Pérsia, Polônia &c. os preparativos e deliberações diários, e coisas do tipo, que são característicos desta época tempestuosa, batalhas travadas, tantos homens mortos, conflitos, naufrágios, atos de pirataria e combates marítimos, paz, alianças, estratagemas e novos alarmes. Uma vasta confusão de votos, desejos, ações, editos, petições, processos judiciais, apelações, leis, proclamações, queixas, querelas é trazida diariamente a nossos ouvidos. Novos livros todos os dias, panfletos, gazetas, histórias, catálogos inteiros de volumes de todo tipo, novos paradoxos, opiniões, cismas, heresias, controvérsias em questões de filosofia, religião &c. Agora chegam informações de casamentos, encenações, interpretações, entretenimentos, celebrações, embaixadas, justas e torneios, troféus, triunfos, festividades, esportes, peças: e novamente, como se numa cena recém-alterada, traições, truques baixos, roubos, imensas vilanias de todo tipo, funerais, enterros, mortes de príncipes, novas descobertas, expedições; primeiro assuntos cômicos e, logo a seguir, assuntos trágicos. Hoje ficamos sabendo da nomeação de novos lordes e oficiais, amanhã ouvimos da deposição de grandes homens, e outra vez da concessão de novas honrarias; uns são libertados, outros aprisionados; uns compram, outros quebram: ele prospera, seu vizinho vai à falência; primeiro a fartura e, logo a seguir, escassez e fome; uns correm, outros cavalgam, querelam, gargalham, choram &c. É o que ouço todos os dias, e coisas do gênero.13

Burton considerou que a saturação de informação era uma novidade de sua época. Não se tratava de uma queixa — ele estava apenas perplexo. Mas os protestos logo se seguiram. Leibniz temia um retorno ao barbarismo — “do que resulta que essa horrível massa de livros que não param de se multiplicar pode fazer uma grande contribuição. Pois, no fim, a desordem se tornará quase invencível”.14 Alexander Pope escreveu em tom de sátira a respeito “daqueles dias (depois que a Providência permitiu a invenção da Impressão como flagelo para os pecados dos letrados) em que o Papel também se tornou tão barato, e as prensas tão numerosas, que a terra foi coberta por um dilúvio de Autores”.15

*Dilúvio* passou a ser uma metáfora comum para as pessoas que descreviam a fartura de informação. Existe uma sensação de afogamento: o excesso de informação seria como uma enxurrada, violenta e irrefreável. Ou evoca à mente um bombardeio, os dados impingindo uma série de golpes, vindos de todos os lados e rápidos demais. O medo da cacofonia de vozes pode ter motivação religiosa, uma preocupação com a possibilidade de o ruído secular sobrepujar a verdade. T.S. Eliot expressou isso em 1934:

> Conhecimento da fala, mas não do silêncio;
> Conhecimento das palavras, e ignorância do Verbo.
> Todo o nosso conhecimento nos aproxima de nossa ignorância,
> Toda a nossa ignorância nos aproxima da morte,
> Mas a proximidade da morte não nos aproxima de deus.16

Ou talvez o medo seja da ruptura das muralhas que nos defendem do desconhecido, ou horrível, ou aterrorizante. Ou talvez percamos a capacidade de impor a ordem ao caos das sensações. A verdade parece mais difícil de encontrar em meio às inúmeras ficções plausíveis.

Depois que surgiu a "teoria da informação", logo se seguiram a "sobrecarga de informação", "saturação de informação", "ansiedade de informação" e "fadiga de informação", esta última reconhecida pelo *OED* em 2009 como síndrome atual:

> Apatia, indiferença ou exaustão mental decorrente do contato com informação em demasia, esp. (no emprego mais recente) o estresse induzido pela tentativa de assimilação de quantidades excessivas de informação a partir da mídia, da internet ou do ambiente de trabalho.

Às vezes a ansiedade de informação pode coexistir com o tédio, uma combinação particularmente confusa. David Foster Wallace sugeriu um nome mais ameaçador para esse mal moderno: Ruído Total. "O tsunami de fatos, contextos e perspectivas disponíveis"[17] — que, de acordo com o que ele escreveu em 2007, consistiria no Ruído Total. Wallace falou sobre a sensação de afogamento e também de perda de autonomia, de responsabilidade pessoal por estar *informado*. Para acompanhar tanta informação, precisamos de intermediários e substitutos.

Outra maneira de falar dessa ansiedade é em termos da lacuna entre informação e conhecimento. Um bombardeio de dados muitas vezes fracassa em transmitir aquilo que precisamos saber. O conhecimento, por sua vez, não garante iluminação nem sabedoria. (Eliot também tinha dito isto: "Onde está a

sabedoria que perdemos no conhecimento?/ Onde está o conhecimento que perdemos na informação?”) Trata-se de uma observação antiga, mas que pareceu merecedora de uma repetição quando a informação se tornou farta — especialmente num mundo no qual todos os bits são criados iguais e a informação é divorciada do significado. O humanista e filósofo da tecnologia Lewis Mumford, por exemplo, voltou a afirmar em 1970:

> Infelizmente, a recuperação da informação, por mais ágil que seja, não substitui a descoberta por meio da inspeção direta e pessoal do conhecimento de cuja própria existência a pessoa possivelmente nunca tivesse tido consciência, nem a perseguição deste no ritmo individual de cada um por meio da ramificação adicional da literatura relevante.18

Ele implorou pelo retorno à “autodisciplina moral”. Havia um cheiro de nostalgia nesse tipo de alerta, acompanhado por uma verdade inegável: a de que, na busca pelo conhecimento, mais lentidão pode ser melhor. A exploração das prateleiras lotadas de bibliotecas emboloradas traz suas próprias recompensas. A leitura — ou mesmo o folhear — de um livro antigo pode render uma satisfação impossível de obter numa busca no banco de dados. A paciência é uma virtude, e a gulodice, um pecado.

Mas, mesmo em 1970, Mumford não estava pensando nos bancos de dados de nenhuma das tecnologias eletrônicas que se aproximavam. Ele se queixava da “multiplicação de microfilmes”. Queixava-se também do número exagerado de livros. Na ausência de “limitações autoimpostas”, alertou ele, “a superprodução de livros vai nos levar a um estado de enervação e esgotamento intelectual que será difícil de distinguir em relação à ignorância em larga escala”. Os limites não foram impostos. Os títulos continuaram a se multiplicar. Livros sobre a saturação de informação se juntaram à cornucópia. Não existe intenção irônica quando a livraria on-line Amazon.com transmite mensagens como “Comece a ler *Data Smog* no seu Kindle em *menos de um minuto*” e “Surpreenda-me! Veja uma página aleatória deste livro”.

As tecnologias de comunicação eletrônica chegaram depressa demais, e quase sem aviso. A palavra *e-mail* apareceu na mídia impressa pela primeira vez

(pelo que o *OED* foi capaz de determinar) em 1982, na revista *Computerworld*, que por sua vez tinha informações para lá de vagas a respeito daquilo: “adr/Email seria supostamente fácil de usar, trazendo verbos simples em inglês e telas de comando”. No ano seguinte, a publicação *Infosystems* declarou: “o Email promove o movimento da informação através do espaço”. E, um ano depois — ainda uma década antes de a maioria das pessoas ouvir tal palavra —, um cientista sueco da computação chamado Jacob Palme, no Centro de Computação qz de Estocolmo, fez um alerta visionário — tão simples, preciso e abrangente quanto qualquer outro que tenha sido feito nas décadas seguintes. Palme começou dizendo:

> Se usado por muitas pessoas, o correio eletrônico pode causar sérios problemas de sobrecarga de informação. A origem desse problema está na excessiva facilidade em se enviar uma mensagem para um grande número de pessoas, e também no fato de os sistemas muitas vezes serem projetados para dar ao remetente muito controle sobre o processo de comunicação, enquanto o destinatário recebe pouco controle. […]
>
> As pessoas recebem mensagens demais, e não têm tempo de ler todas elas. Isso significa também que aquelas realmente importantes são difíceis de localizar em meio ao grande fluxo de mensagens de menor importância.
>
> No futuro, quando tivermos ao nosso dispor sistemas de mensagens cada vez mais amplos, e conforme eles se tornarem mais e mais interconectados, esse será um problema para quase todos os usuários desses sistemas.19

Ele dispunha de estatísticas de sua rede local: a mensagem típica consumia dois minutos e 36 segundos para ser escrita e apenas 28 segundos para ser lida. O que não representaria um problema, a não ser pela extrema facilidade que os remetentes tinham para enviar muitas cópias da mesma mensagem.

Quando os psicólogos ou sociólogos tentam estudar a sobrecarga de informação com os métodos de suas disciplinas, obtêm resultados ambíguos. Já em 1963, uma dupla de psicólogos escolheu como objetivo de seu trabalho quantificar o efeito da informação adicional no processo de diagnóstico clínico.[20] Como esperavam, descobriram que “informação demais” — algo que eles reconheceram ser difícil de definir — muitas vezes prejudicava a capacidade

de julgamento. O estudo foi intitulado “Será que às vezes sabemos demais?” e, com certa alegria, listaram títulos alternativos para o trabalho: “Nunca tantos fizeram tão pouco”; “Estamos recebendo mais e prevendo menos?”; e “Informação demais é algo perigoso”. Outros tentaram medir os efeitos da carga de informação na pressão sanguínea e no ritmo cardíaco e respiratório.

Um dos que trabalharam na área foi Siegfried Streufert, que apresentou uma série de estudos na década de 1960 indicando que a relação entre carga e manuseio de informação costuma assumir a forma de um “U invertido”: mais informação foi útil no início, passando então a não ser mais tão útil e, por fim, tornando-se prejudicial. Um de seus estudos recrutou 185 universitários (todos homens) e fez com que fingissem ser comandantes tomando decisões num jogo tático. Eles receberam as seguintes instruções:

> As informações que estão recebendo foram preparadas da mesma maneira que o seriam caso fossem destinadas a comandantes reais auxiliados por oficiais da divisão de informações. […] Pode-se instruir esses oficiais para que aumentem ou diminuam a quantidade de informação que lhes é apresentada. […] Por favor, indique sua preferência: Eu gostaria de:
>
> receber muito mais informação
>
> receber um pouco mais informação
>
> receber mais ou menos o mesmo volume de informação
>
> receber um pouco menos informação
>
> receber muito menos informação21

Independentemente da escolha feita, as preferências eram ignoradas. A quantidade de informação era predeterminada pelo examinador, e não pelos participantes. A partir dos dados, Streufert concluiu que cargas “superotimizadas” de informação levavam a um desempenho ruim, “mas deve-se destacar que mesmo com cargas altamente superotimizadas de informação (ou seja, 25 mensagens por período de 30 minutos), os participantes ainda pedem por níveis mais altos de informação”. Posteriormente, ele usou uma metodologia semelhante para estudar os efeitos do consumo excessivo de café.

Já nos anos 1980, os pesquisadores falavam de maneira confiante a respeito

do “paradigma da carga de informação”.[22] Tratava-se de um paradigma que tinha como base um truísmo: o fato de as pessoas poderem apenas “absorver” ou “processar” uma quantidade limitada de informação. Vários pesquisadores descobriram que a fartura não apenas causava frustração e confusão como também prejudicava a perspectiva do indivíduo e levava à desonestidade. Os próprios experimentos tinham um amplo menu de informações para processar: medidas da capacidade da memória; ideias de capacidade de canal derivadas de Shannon; e variações sobre o tema da proporção entre sinal e ruído. Uma abordagem de pesquisa comum, ainda que dúbia, consistia na introspecção direta. Um pequeno projeto de 1998 tomou como “comunidade ou grupo folclórico” os estudantes de pós-graduação em biblioteconomia e ciências da informação da Universidade de Illinois. Quando indagados, todos concordaram que sofriam de uma sobrecarga de informações, decorrente de “grandes quantidades de e-mails, reuniões, listas de discussões e papéis na mesa de trabalho”.[23] A maioria tinha a sensação de que a fartura de informação prejudicava o desfrute do tempo livre, bem como o horário de trabalho. Alguns disseram ter dores de cabeça. A conclusão possível: a sobrecarga de informação é real; além disso, é também uma “expressão codificada” e um mito. Ao pesquisador, só resta reforçar essa impressão.

Ter de pensar na informação como fardo é algo confuso, como diz Charles Bennett. “Temos de pagar para que os jornais nos sejam entregues, e não para que sejam tirados de nós.”[24] Mas a termodinâmica da computação mostra que o jornal de ontem ocupa o espaço de que o demônio de Maxwell precisa para o trabalho de hoje, e a experiência moderna ensina o mesmo. O esquecimento costumava ser um problema, um desperdício, um sinal de senilidade. Agora exige esforço. Pode ser tão importante quanto se lembrar.

Os fatos já foram caros; hoje são baratos. Houve época em que as pessoas recorreriam às páginas do *Whitaker’s Almanack*, publicado anualmente na Grã-Bretanha, ou do *World Almanac*, nos Estados Unidos, para encontrar os nomes e as datas de monarcas e presidentes, tabelas de feriados e marés, áreas e

populações de lugares distantes, ou os navios e oficiais comandantes da marinha. Na falta do almanaque, ou na busca por fatos ainda mais obscuros, poderiam recorrer à experiência de um homem ou uma mulher atrás do balcão de uma biblioteca pública. Quando George Bernard Shaw precisou da localização do crematório mais próximo — sua esposa estava morrendo —, abriu o almanaque e ficou consternado. “Acabo de encontrar no Whitaker uma incrível omissão”, escreveu ele ao editor. “Como a informação desejada é justamente aquilo que leva o leitor a recorrer a seu almanaque, de valor incalculável, me ocorre sugerir que uma lista dos 58 crematórios atualmente em funcionamento no país, bem como instruções quanto ao que deve ser feito, seria uma adição muito conveniente.”[25] Sua carta é relevante. Ele não menciona a esposa — apenas “um caso de grave enfermidade” — e se refere a si mesmo como “o enlutado solicitante”. Shaw tinha um endereço telegráfico e um telefone, mas deu por certo que os fatos deveriam ser encontrados na forma impressa.

Para muitos, o telefone já tinha começado a expandir o alcance dos inquiridores. As pessoas do século xx perceberam que era possível saber instantaneamente o resultado de eventos esportivos que não tivessem testemunhado pessoalmente. Era tamanho o número de pessoas que tiveram a ideia de telefonar ao jornal que o *New York Times* se sentiu obrigado a publicar uma notificação na primeira página em 1929 implorando aos leitores que suspendessem a prática: “Não usem o telefone para perguntar o placar das partidas finais do campeonato de beisebol”.[26] Hoje, a informação em “tempo real” é considerada um direito de nascença.

O que fazemos quando finalmente temos tudo? Daniel Dennett imaginou — em 1990, pouco antes de a internet tornar seu sonho possível — que as redes eletrônicas poderiam inverter a relação econômica da publicação de poesias. Em vez de livros magros, objetos elegantes e limitados oferecidos aos conhecedores, como seria se os poetas pudessem publicar na rede, alcançando instantaneamente não apenas centenas como milhões de leitores, em troca não de dezenas de dólares, e sim de frações de centavos? Naquele mesmo ano, Sir Charles Chadwyck-Healey, um editor, concebeu o Banco de Dados Completo da Poesia em Inglês enquanto caminhava certo dia pela British Library e, quatro anos

depois, ele o produziu — não o presente nem o futuro da poesia, mas seu passado, disponível a princípio não na rede, mas em quatro cds, 165 mil poemas escritos por 1250 poetas ao longo de treze séculos, ao preço de 51 mil dólares. Leitores e críticos tiveram de descobrir o que fazer com aquilo. Não seria possível *lê-lo*, é claro, da maneira como faria com um livro. Talvez *ler nele*. Buscar naquele banco de dados uma palavra ou epígrafe ou um fragmento lembrado de modo incompleto.

Ao resenhar o banco de dados para a *New Yorker*, Anthony Lane se viu oscilando feito um pêndulo entre o êxtase e a perplexidade. “Inclinamos o corpo como um pianista diante das teclas”, escreveu ele, “sabendo o que nos espera, pensando: Ah, a indescritível riqueza da literatura inglesa! As joias ocultas que poderei escavar das mais profundas minas da inspiração humana!”[27] E então emergem os termos macarrônicos, desajeitados, a enxurrada de grandiloquência e mediocridade. O simples peso da massa desordenada começa a provocar cansaço. Não que Lane pareça cansado. “Mas que monte fumegante de *excremento*”, lamenta ele, deleitando-se com o comentário. “Nunca antes contemplei tamanho tributo aos poderes da incompetência humana — e, de acordo com o mesmo critério, às bênçãos da capacidade humana do esquecimento.” Onde mais ele poderia ter encontrado o completamente esquecido Thomas Freeman (ausente da Wikipédia) e este delicioso par de versos autorreferenciais:

> Opa, opa, creio ouvir meu leitor lamentar,
> Eis aqui uma péssima rima: tenho de confessar.a

Os cd-roms já se tornaram obsoletos. Toda a poesia em língua inglesa está na rede agora — ou, se não toda, algo próximo disso e, se não agora, então em breve.

O passado se desdobra feito um acordeão no presente. Suportes diferentes têm diferentes horizontes de eventos — para a palavra escrita, três milênios; para o som gravado, um século e meio — e dentro de seus intervalos de tempo o antigo se torna tão acessível quanto o novo. Jornais amarelados voltam à vida.

Sob títulos como *50 anos atrás* e *100 anos atrás*, publicações veteranas reciclam seus arquivos: receitas, técnicas de carteado, ciência, fofoca, antes fora de catálogo e agora prontas para o uso. Gravadoras vasculham seus sótãos para lançar, ou relançar, cada fragmento de música, raridades, lados B e registros piratas. Durante certo tempo, colecionadores, estudiosos ou fãs *possuíram* seus livros e seus álbuns. Havia uma fronteira separando aquilo que tinham do que não tinham. Para alguns, a música que possuíam (ou os livros, ou os vídeos) se tornou parte de quem eles eram. Essa fronteira se desvanece. A maioria das peças de Sófocles se perdeu, mas aquelas que sobreviveram podem ser acessadas com o toque de um botão. A maior parte da música de Bach era desconhecida por Beethoven; nós temos tudo — variações, cantatas e toques para celular. Tudo nos vem instantaneamente, ou à velocidade da luz. Trata-se de um sintoma da onisciência. É aquilo que o crítico Alex Ross chama de Lista de Reprodução Infinita, e ele vê o quanto essa bênção é ambígua: "ansiedade em vez de satisfação, um ciclo viciante de necessidade e mal-estar. Assim que uma experiência tem início, é invadida pelo questionamento quanto ao que mais há para experimentar". O constrangimento da fartura. Outro lembrete de que informação não é conhecimento, e conhecimento não é sabedoria.

Surgem estratégias para lidar com tal situação. Há muitas delas, mas, em sua essência, podem ser resumidas em duas: filtragem e busca. O assediado consumidor da informação se volta para filtros na tentativa de separar o metal da impureza; entre os filtros incluem-se os blogs e os agregadores — a escolha leva a questões de confiança e gosto. A necessidade de filtros interfere em qualquer experimento mental envolvendo as maravilhas da abundância de informação. Dennett enxergou o problema quando imaginou sua Rede da Poesia Completa. "A óbvia hipótese contrária emerge da memética populacional",[28] disse ele. "Se tal rede fosse estabelecida, nenhum amante da poesia se mostraria disposto a atravessar milhares de arquivos eletrônicos cheios de rimas infelizes na busca por bons poemas." Filtros seriam necessários — editores e críticos. "Eles prosperam por causa da baixa oferta e da capacidade limitada das mentes, seja

qual for o meio de transmissão entre as mentes.” Quando a informação é barata, a atenção se valoriza.

Pelo mesmo motivo, mecanismos de busca — ou *motores*, no ciberespaço — encontram agulhas nos palheiros. A esta altura já aprendemos que a *existência* da informação não é suficiente. Originalmente — na Inglaterra do século xvi — um “arquivo” era um fio no qual envelopes, documentos, notas e cartas podiam ser pendurados para facilitar sua preservação e possibilitar sua consulta. Então vieram as pastas de arquivos, gavetas de pastas e armários de gavetas; depois os elementos eletrônicos que receberam esses mesmos nomes; e a inevitável ironia. Depois que uma informação é *arquivada*, torna-se estatisticamente improvável que volte a ser vista por olhos humanos. Mesmo em 1847, o amigo de Babbage, Augustus De Morgan, sabia disso. Ele disse que, para qualquer livro aleatório, uma biblioteca não seria melhor do que um depósito de aparas de papel. “Tomemos como exemplo a biblioteca do British Museum, valiosa, útil e acessível: qual é a probabilidade de sabermos que uma obra se encontra lá, simplesmente pelo fato de estar lá? Se esta for desejada, pode-se pedir por ela; mas, para ser desejada, é preciso saber de sua existência. Ninguém pode vasculhar a biblioteca a esmo.”[29]

Informação demais, e grande parte dela se perde. Um site não indexado na internet se encontra no limbo tanto quanto um livro deixado na estante errada da biblioteca. É por isso que os empreendimentos de negócios mais poderosos e bem-sucedidos da economia da informação têm como núcleo a busca e a filtragem. Até a Wikipédia é uma combinação de ambas as coisas: um recurso poderoso de busca, proporcionado em boa medida pelo Google, e um vasto filtro colaborativo, que busca reunir os fatos reais e afastar os falsos. Busca e filtragem são tudo aquilo que separa este mundo da Biblioteca de Babel.

Em suas encarnações computadorizadas, essas estratégias parecem novas. Mas não são. Na verdade, uma parte considerável da estruturação e catalogação da palavra impressa — hoje dada como algo natural, invisível como um papel de parede antigo — evoluiu em resposta à sensação de fartura de informação. Trata-se de mecanismos de seleção e organização: índices alfabéticos, resenhas de livros, esquemas de organização para as prateleiras da biblioteca e catálogos

baseados em fichas, enciclopédias, antologias e resumos comentados, livros de citações, extensas listas de palavras e índices geográficos. Quando Robert Burton discorreu sobre as “novas notícias todos os dias”, e os “novos paradoxos, opiniões, cismas, heresias, controvérsias em questões de filosofia, religião &c.”, ele o fez como justificativa para o grande projeto de sua vida: *A anatomia da melancolia*, um vasto compêndio de todo o conhecimento anterior. Quatro séculos antes, o monge dominicano Vincent de Beauvais tentou estabelecer sua própria versão de tudo aquilo que era sabido, criando uma das primeiras enciclopédias medievais, *Speculum Maius*, “O grande espelho” — com manuscritos organizados em oitenta livros, somando 9885 capítulos. A justificativa: “A multiplicidade de livros, a escassez de tempo e a natureza escorregadia da memória não permitem que todas as coisas já escritas sejam igualmente retidas na memória”.[30] A historiadora Ann Blair, de Harvard, que estuda os primórdios da Europa moderna, explica em termos simples: “A percepção de uma superabundância de livros serviu como combustível para a produção de muitos outros livros”.[31] À sua própria maneira, também as ciências naturais, como a botânica, surgiram em resposta à sobrecarga de informação. A explosão de espécies reconhecidas (e nomes) no século xvi exigiu novos métodos de descrição padronizada. Surgiram as enciclopédias botânicas, com glossários e índices. Brian Ogilvie vê a história dos botânicos renascentistas sendo “impulsionada pela necessidade de dominar a sobrecarga de informação que eles tinham produzido desavisadamente”.[32] Eles criaram um “*confusio rerum*”, segundo Ogilvie, “acompanhado por um *confusio verborum*”. Uma massa confusa de novos elementos; confusão de palavras. A história natural nasceu para canalizar a informação.

Quando novas tecnologias de informação alteram a paisagem existente, elas trazem perturbações: novos canais e novas represas redirecionando o fluxo da irrigação e do transporte. O equilíbrio entre criadores e consumidores é desfeito: escritores e leitores, falantes e ouvintes. Forças do mercado são confundidas. A informação pode parecer ao mesmo tempo barata demais e cara demais. As antigas maneiras de organizar o conhecimento deixam de funcionar. Quem será encarregado de buscar? Quem vai filtrar? A perturbação gera uma esperança misturada ao medo. Nos primeiros dias do rádio, Bertold Brecht, esperançoso,

assustado e bastante obcecado, expressou seus sentimentos de maneira aforística: “Um homem que tem algo a dizer e não encontra ouvintes se vê em má situação. Mas pior ainda é a situação dos ouvintes que não conseguem encontrar ninguém que tenha algo a lhes dizer”.[33] O cálculo sempre muda. Pergunte aos blogueiros e tuiteiros: o que é pior, bocas demais ou ouvidos demais?

---

a Whoop, whoop, me thinkes I heare my Reader cry/ Here ir rime doggrell: I confess it I.

# Epílogo
# (*O retorno do significado*)

*Era inevitável que o significado abrisse à força seu próprio caminho de volta.*

Jean-Pierre Dupuy, 20001

A exaustão, a fartura e a pressão da informação são coisas que já foram vistas antes. Devemos dar crédito a Marshall McLuhan por seu insight — o mais essencial dos muitos pelos quais ele foi responsável — em 1962:

> Hoje estamos tão avançados na era elétrica como estiveram os elisabetanos na era tipográfica e mecânica. E estamos experimentando as mesmas confusões e indecisões sentidas por eles quando viviam simultaneamente em duas formas contrastantes de sociedade e vivência.2

No entanto, por mais que seja o mesmo, desta vez é diferente. Meio século se passou desde então, e podemos começar a ver a vastidão da escala e a força dos efeitos da conectividade.

Mais uma vez, como nos primeiros dias do telégrafo, falamos na aniquilação do espaço e do tempo. Para McLuhan, esse seria um pré-requisito para a criação da consciência global — do *conhecimento* global. “Hoje”, escreveu ele,

> estendemos nossos sistemas nervosos centrais num abraço global, abolindo tanto o espaço como o tempo nos termos do nosso planeta. Rapidamente, nos aproximamos da fase final das extensões do homem — a simulação tecnológica da consciência, quando o processo criativo do conhecimento será estendido coletiva e corporalmente à sociedade humana como um todo.3

Um século antes, Walt Whitman tinha dito a mesma coisa, só que melhor:

> Que sussurros são estes, Ó terras, correndo diante de vós, passando sob os mares?
> Estariam as nações comungando? haverá no futuro um mesmo coração para todo o globo?4

A interligação do mundo por meio dos fios, seguida de perto pela

disseminação da comunicação sem fio, levou a especulações românticas a respeito do nascimento de um novo organismo global. Já no século xix místicos e teólogos começaram a falar numa mente partilhada ou consciência coletiva, formada pela colaboração de milhões de pessoas postas em comunicação umas com as outras.[5]

Alguns foram longe a ponto de ver essa nova criatura como um produto natural da evolução contínua — uma maneira de os humanos cumprirem seu destino especial, depois de seus egos terem sido feridos pelo darwinismo. "Torna-se absolutamente necessário", escreveu em 1928 o filósofo francês Édouard Le Roy, "pôr [o homem] acima do plano inferior da natureza, numa posição que permita a ele dominá-la."[6] Como? Por meio da criação da "noosfera" — a esfera da mente —, uma "mutação" climática na história evolucionária. Seu amigo, o filósofo jesuíta Pierre Teilhard de Chardin, fez ainda mais para promover a noosfera, que ele chamou de "nova epiderme" sobre a Terra:

> Não nos parece que um grande corpo esteja agora no processo de nascer — com seus membros, seu sistema nervoso, seus centros de percepção, sua memória —, o próprio corpo daquele grande algo por vir que deveria satisfazer as aspirações que foram excitadas no ser dotado de reflexão pela recém-adquirida consciência de sua interdependência em relação à evolução e de sua responsabilidade por ela?[7]

Tratava-se de um palavrório complexo até para o francês, e espíritos menos inclinados ao misticismo consideraram isso uma bobagem ("besteira, repleta de truques variados dos tediosos conceitos metafísicos",[8] como julgou Peter Medawar), mas muitos estavam testando a mesma ideia, entre os quais se destacavam os autores de ficção científica.[9] Meio século mais tarde, os pioneiros da internet também gostaram daquilo.

H. G. Wells era conhecido por suas obras de ficção científica, mas foi como um implacável crítico social que ele publicou um pequeno livro em 1938, depois de ultrapassar a marca dos setenta anos, com o título *World Brain*. Não havia nada de extravagante naquilo que ele tentava promover: um sistema de ensino melhorado para todo o "corpo" da humanidade. A mistura de domínios locais

não era mais o bastante: “nossa multiplicidade de gânglios descoordenados, nossa impotente miscelânea de universidades, instituições de pesquisa, literaturas intencionais”.[10] Era chegada a hora de “uma Opinião Pública recondicionada e mais poderosa”. Seu Cérebro Mundial governaria o mundo. “Não queremos ditadores, não queremos partidos oligárquicos nem o governo de uma classe, o que desejamos é uma inteligência global e disseminada que tenha consciência de si mesma.” Wells acreditava que uma nova tecnologia estaria destinada a revolucionar a produção e a distribuição da informação: o microfilme. Pequenas imagens de materiais impressos poderiam ser feitas ao custo de menos de um centavo por página, e os bibliotecários da Europa e dos Estados Unidos se reuniram em Paris no ano de 1937 num Congresso Mundial de Documentação Universal para debater as possibilidades. Eles perceberam que novas formas de indexação da literatura seriam necessárias. O British Museum embarcou num programa de microfilmagem de 4 mil de seus livros mais antigos. Wells fez a seguinte previsão: “Dentro de alguns anos haverá milhares de trabalhadores envolvidos na tarefa de ordenar e digerir o conhecimento no lugar do único que temos hoje”.[11] Ele reconheceu que seu objetivo era ser provocador e inspirar controvérsia. Participando pessoalmente do congresso em nome da Inglaterra, ele previu uma “espécie de cérebro para a humanidade, um córtex cerebral que constituirá uma memória e uma percepção da realidade atual para toda a raça humana”.[12] Mas ele estava imaginando algo mundano, além de utópico: uma enciclopédia. Ela seria uma espécie de sucessora das grandes enciclopédias nacionais — a enciclopédia francesa de Diderot, a *Britannica*, a alemã *Konversations-Lexicon* (ele não mencionou a chinesa *Quatro grandes livros de Song*) — que haviam estabilizado e equipado “a inteligência geral”.

Essa nova enciclopédia mundial transcenderia a forma estática do livro impresso em volumes, de acordo com Wells. Sob a direção de uma sábia equipe de profissionais (“homens muito importantes e distintos no mundo novo”), estaria num estado de constante mudança — “uma espécie de câmara mental de compensações para a mente, um depósito no qual o conhecimento e as ideias fossem recebidos, separados, resumidos, digeridos, esclarecidos e comparados”. Quem pode saber se Wells reconheceria sua visão na Wikipédia? A confusão e a agitação das ideias concorrentes não faziam parte desse modelo. Seu cérebro

mundial deveria gozar de autoridade intelectual, mas não seria algo centralizado.

> Não é preciso que seja vulnerável como uma cabeça humana ou um coração humano. Pode ser reproduzido de maneira exata e completa, seja no Peru, na China, na Islândia, na África Central. […] Pode ter ao mesmo tempo a concentração de um animal dotado de crânio e a vitalidade difusa de uma ameba.

Por isso mesmo, segundo suas próprias palavras: “Talvez ele tenha a forma de uma rede”.

Não é a quantidade de conhecimento que faz o cérebro. Não é nem mesmo a distribuição do conhecimento. É a interconectividade. Quando Wells usou a palavra *rede* — uma palavra da qual gostava muito —, ela mantinha para ele seu significado original, físico, como seria de esperar para qualquer pessoa da época. Ele vislumbrava linhas ou fios se entrelaçando: “Uma rede de ramos maravilhosamente retorcidos e distorcidos trazendo pequenas folhas e botões de flor”; “uma rede intrincada de fios e cabos”.[13] Para nós, esse sentido foi praticamente perdido — uma rede é um objeto abstrato, e seu domínio é a informação.

O nascimento da teoria da informação veio com seu implacável sacrifício do significado — justamente a qualidade que dá à informação seu valor e seu propósito. Ao apresentar a *Teoria matemática da comunicação*, Shannon teve de ser direto. Ele simplesmente declarou que o significado era “irrelevante para o problema da engenharia”. Deixemos de lado a psicologia humana, abandonemos a subjetividade.

Ele sabia que haveria resistência. Seria difícil negar que as mensagens podem ter significado, “ou seja, que elas se referem a um sistema de certas entidades físicas ou conceituais, ou estão correlacionadas de acordo com ele”. (“Um sistema de certas entidades físicas ou conceituais” seria, presumivelmente, o mundo e seus habitantes, o reino, o poder e a glória, amém.) Para alguns, isso era frio demais. Lá estava Heinz von Foerster numa das primeiras conferências de

cibernética, queixando-se do fato de a teoria da informação tratar meramente de "bipes e bipes", dizendo que é apenas quando começa o entendimento no cérebro humano "que *então* a informação nasce — ela não está nos bipes".[14] Outros sonhavam com a extensão da teoria da informação por meio de uma contraparte semântica. O significado, como sempre, continuou difícil de enquadrar. "Eu sei de uma região pouco refinada", escreveu Borges sobre a Biblioteca de Babel, "cujos bibliotecários repudiam o vão e supersticioso hábito de encontrar significado nos livros, comparando isso à busca por significado nos sonhos ou nas caóticas linhas da palma da mão."[15]

Os epistemiólogos estavam preocupados com o significado, e não com bipes e sinais. Ninguém teria se preocupado em criar uma filosofia de pontos e traços, nem sinais de fumaça, nem impulsos elétricos. É preciso um ser humano — ou, digamos, um "agente cognitivo" — para tomar um sinal e transformá-lo em informação. "A beleza está no olho de quem vê, e a informação está na cabeça do receptor",[16] segundo Fred Dretske. Seja como for, esse é um ponto de vista comum na epistemiologia — o de que "*investimos* os estímulos de significado e, separados desse investimento, eles são vazios de informação". Mas Dretske argumenta que a distinção entre informação e significado pode libertar um filósofo. Os engenheiros proporcionaram uma oportunidade e um desafio: compreender como o significado pode evoluir; como a vida, manuseando e codificando a informação, progride rumo à interpretação, à crença e ao conhecimento.

Ainda assim, quem poderia ter apreço por uma teoria que dá às afirmações falsas o mesmo valor atribuído às verdadeiras (ao menos em termos de quantidade de informação)? Tratava-se de algo mecanicista. Algo dissecado. Analisando o caso retrospectivamente, um pessimista poderia chamá-lo de arauto de uma internet desalmada em seu pior momento. "Quanto mais nos 'comunicamos' da maneira como fazemos, mais criamos um mundo *infernal*", escreveu o filósofo parisiense — e também historiador da cibernética — Jean-Pierre Dupuy.

> Falo em "inferno" no sentido teológico, isto é, um lugar que é desprovido de *graça* — o desmerecido, desnecessário, surpreendente, imprevisto. Há um paradoxo em funcionamento aqui: o nosso é um mundo a respeito do qual fingimos ter mais e mais *informação*, mas que nos parece cada vez

mais desprovido de significado.17

Aquele mundo infernal, desprovido de graça — teria ele chegado? Um mundo de saturação de informação e glutonia; de espelhos dobrados e textos falsificados, blogs vulgares, comentários preconceituosos anônimos, troca de mensagens banais. Falação incessante. O falso expulsando o verdadeiro.

Não é esse o mundo que vejo.

Já se pensou que uma linguagem perfeita deveria ter uma correspondência perfeita entre palavras e seus significados. Não deveria haver ambiguidade, nada de vago, nenhuma confusão. Nossa Babel terrena é uma expulsão da fala perdida do Éden: uma catástrofe e um castigo. “Imagino”, escreve o romancista Dexter Palmer, “que os verbetes do dicionário que jaz na mesa do escritório de Deus devem ter correspondências diretas entre as palavras e suas definições únicas, de modo que, quando Deus transmite diretrizes a seus anjos, elas sejam completamente desprovidas de ambiguidade. Cada sentença dita ou escrita por Ele deve ser perfeita e, portanto, milagrosa.”[18] Hoje, sabemos que as coisas não são assim. Com ou sem Deus, não existe linguagem perfeita.

Leibniz imaginou que, se a linguagem natural não poderia ser perfeita, ao menos o cálculo poderia sê-lo: uma linguagem de símbolos rigorosamente atribuídos. “Todos os pensamentos humanos podem ser resumíveis num pequeno número de pensamentos considerados primitivos.”[19] Estes poderiam então ser combinados e dissecados mecanicamente, de acordo com essa concepção. “Uma vez que isso fosse feito, quem quer que usasse tais caracteres estaria livre de cometer erros ou, no mínimo, teria a possibilidade de reconhecer de imediato os próprios erros, recorrendo ao mais simples dos testes.” Gödel pôs fim a esse sonho.

Na verdade, a ideia da perfeição se opõe à natureza da linguagem. A teoria da informação nos ajudou a compreender isso — ou, numa visão mais pessimista, obrigou-nos a compreender isso. “Somos forçados a ver”, prossegue Palmer,

> que as palavras não são elas mesmas ideias, mas apenas linhas de marcas de tinta; vemos que os sons nada mais são do que ondas. Numa era moderna sem nenhum Autor nos observando do céu, a

> linguagem não é algo de certeza definida, e sim de infinitas possibilidades; sem a reconfortante ilusão de ordem significativa, não temos escolha senão encarar diretamente a desordem desprovida de significado; ausente a sensação de que o significado pode ser certo, vemo-nos sobrecarregados por tudo aquilo que as palavras *podem* significar.

A infinitude de possibilidade é algo bom, e não ruim. A desordem desprovida de significado deve ser desafiada, e não temida. A linguagem mapeia num espaço finito um mundo sem fronteiras de objetos e sensações e combinações. O mundo muda, sempre misturando o estático e o efêmero, e sabemos que a linguagem muda, não apenas de uma edição do *Oxford English Dictionary* para a seguinte, mas também de um momento para o próximo, e de uma pessoa para outra. A linguagem de cada um é diferente. Podemos nos sentir sobrecarregados ou encorajados.

Cada vez mais, o léxico está agora na rede — preservado mesmo enquanto muda; acessível e passível de busca. Da mesma maneira, o conhecimento humano encharca a rede, inunda a nuvem. As páginas da internet, os blogs, os mecanismos de busca e as enciclopédias, os analistas de lendas urbanas e aqueles que desmascaram os analistas. Por toda parte, o verdadeiro roça no falso. Nenhuma forma de comunicação digital mereceu mais ridicularização do que o Twitter — a banalidade embalada, enfatizando a trivialidade ao limitar as mensagens a 140 caracteres. O cartunista Garry Trudeau tuitou satiricamente passando-se por um âncora de um noticiário imaginário que mal conseguia tirar os olhos do Twitter para preparar as notícias. Mas então, em 2008, mensagens enviadas via Twitter por testemunhas oculares dos ataques terroristas em Mumbai trouxeram informações e alívio durante os atentados, e foram as mensagens tuitadas de Teerã que conferiram visibilidade mundial aos protestos realizados no Irã em 2009. O aforismo é uma forma dotada de uma história honorável. Pessoalmente, uso pouco o Twitter, mas até esse suporte estranho, essa forma tão idiossincrática e confinada de blog miniaturizado, tem seus usos e encantos. Em 2010, Margaret Atwood, mestra de uma forma mais longa, disse ter sido “tragada pela twittersfera como Alice caindo dentro do buraco do coelho”.

> Seria uma forma de transmissão de sinais, como o telégrafo? Seria uma forma de poesia zen? Seriam piadas rabiscadas na parede do banheiro? Algo como João Coração Maria entalhado no tronco de uma árvore? Digamos simplesmente que se trata de uma forma de comunicação, e comunicação é algo que os seres humanos gostam de fazer.20

Pouco depois, a Biblioteca do Congresso, fundada para colecionar em seu acervo cada livro publicado, decidiu preservar também cada mensagem do Twitter. Algo possivelmente indigno, e provavelmente redundante, mas nunca se sabe. Trata-se de uma forma de comunicação humana.

E a rede aprendeu algumas coisas que nenhum indivíduo jamais poderia saber.

Ela identifica cds de música ao analisar a duração das faixas gravadas e consultar um vasto banco de dados, formado de maneira cumulativa durante anos, por meio da contribuição coletiva de milhões de usuários anônimos. Em 2007, esse banco de dados revelou algo que tinha escapado aos críticos e ouvintes mais distintos: o fato de mais de cem gravações lançadas pela falecida pianista inglesa Joyce Hatto — músicas de Chopin, Beethoven, Mozart, Liszt e outros — serem na verdade performances roubadas de outros pianistas. O mit criou o Centro de Inteligência Coletiva, dedicado à tarefa de encontrar a sabedoria grupal e "aproveitar-se" dela. Continua sendo difícil saber quando e até que ponto se pode confiar na *sabedoria das multidões* — título de um livro publicado em 2004 por James Surowiecki, que deve ser distinguida da *loucura das multidões* conforme relatada em 1841 por Charles Mackay, que declarou que as pessoas "enlouquecem em rebanhos, ao passo que recuperam o juízo lentamente, uma a uma".21 As multidões se transformam muito rapidamente em turbas, com suas manifestações sacramentadas pelo tempo: manias, bolhas, grupos de linchadores, *flash mobs*, cruzadas, histeria em massa, comportamento de manada, marcha em passo de ganso, conformidade, pensamento em grupo — todas potencialmente aplicadas pelos efeitos da rede e estudadas sob a rubrica das cascatas de informação. O julgamento coletivo tem possibilidades sedutoras; autoengano coletivo e mal coletivo já deixaram um histórico cataclísmico. Mas o conhecimento na rede é diferente da decisão em grupo que tem como base a imitação e o papaguear. Ele parece se desenvolver por meio do acúmulo; pode

conferir peso total a idiossincrasias e exceções; o desafio está em reconhecê-lo e obter acesso a ele. Em 2008, o Google criou um sistema de alerta antecipado para tendências regionais de gripe com base em dados que não eram mais sólidos do que a incidência de buscas feitas na web usando a palavra *gripe*; o sistema aparentemente descobriu epidemias locais uma semana antes que os Centros para o Controle e Prevenção de Doenças. Essa era a maneira de ser do Google: a empresa abordou problemas clássicos e difíceis da inteligência artificial — tradução mecânica e reconhecimento vocal — não com especialistas humanos, nem dicionários nem linguistas, mas com sua voraz mineração de dados envolvendo trilhões de palavras em mais de trezentos idiomas. Sua abordagem inicial para as buscas na internet já dependia do poder do conhecimento coletivo.

Eis uma descrição do estado de coisas dos mecanismos de busca em 1994. Nicholson Baker — numa década posterior um obsessivo da Wikipédia, na época um dos principais defensores mundiais da preservação dos catálogos de fichas, jornais antigos e outras formas aparentemente obsoletas de papel — se sentou num terminal da Universidade da Califórnia e digitou: mostrar t[ema] censura.[22] Ele recebeu uma mensagem de erro:

> busca longa: Sua busca contém uma ou mais palavras muito comuns, resultando em mais de 800 itens e exigindo muito tempo para ser concluída,

e uma bronca:

> Buscas longas geram lentidão no sistema para todos os usuários do catálogo, e raramente produzem resultados úteis. Por favor, digite ajuda ou procure um bibliotecário para receber assistência.

Tudo muito típico. Baker dominou a sintaxe necessária para as buscas booleanas usando termos de apoio complexos como “e” e “ou” e “-”(que indica “excluir”), mas de pouco adiantou. Ele citou buscas envolvendo a fadiga decorrente do uso de telas, o fracasso nas buscas e a sobrecarga de informação, admirando uma teoria segundo a qual os catálogos eletrônicos estariam, “na

prática, conduzindo um programa de ‘condicionamento operacional adverso’” contra as buscas on-line.

Eis uma descrição do estado de coisas nos mecanismos de buscas dois anos mais tarde, em 1996. O volume de tráfego na internet tinha se multiplicado à razão de dez vezes por ano, passando de vinte terabytes mensais em todo o mundo em 1994 para duzentos terabytes mensais em 1995 e, em 1996, dois petabytes. Engenheiros de software do laboratório de pesquisas da Digital Equipment Corporation, em Palo Alto, na Califórnia, tinham acabado de abrir para o público um novo tipo de mecanismo de busca, chamado AltaVista, construindo e revisando continuamente um índice para cada página que eram capazes de encontrar na internet — naquela época, eram dezenas de milhões delas. Uma busca pela expressão *verdade universalmente reconhecida* e o nome *Darcy* produziu 4 mil resultados. Entre eles:

• O texto completo, ainda que não muito confiável, de *Orgulho e preconceito*, em várias versões, armazenadas em computadores no Japão, na Suécia e em outros países, cujo download era gratuito ou, num determinado caso, mediante o pagamento da taxa de 2,25 dólares.

• Mais de uma centena de respostas para a pergunta: “Por que a galinha atravessou a rua?”, incluindo “Jane Austen: Porque é uma verdade universalmente reconhecida que uma galinha sozinha, dotada de boa sorte e diante de uma rua em boas condições, deve sentir o desejo de atravessá-la”.

• A declaração de propósito da *Princeton Pacific Asia Review*: “A importância estratégica da Costa Asiática do Pacífico é uma verdade universalmente reconhecida…”.

• Um artigo sobre um churrasco da Sociedade Vegetariana Britânica: “É uma verdade universalmente reconhecida entre os comedores de carne que…”.

• A página oficial de Kevin Darcy, da Irlanda. A página oficial de Darcy Cremer, de Wisconsin. A página oficial e as fotos navais de Darcy Morse. As estatísticas vitais de Tim Darcy, jogador de futebol australiano. O currículo de Darcy Hughes, da Colúmbia Britânica, jardineira de catorze anos e babá.

As trivialidades não frustraram os compiladores desse índice em constante evolução. Eles estavam absolutamente cientes da diferença entre fazer um catálogo de biblioteca — de meta fixa, conhecida e finita — e vasculhar um mundo de informações desprovido de fronteiras e limites. Pensaram que estavam diante de algo grandioso. “Temos o léxico da linguagem atual do mundo”,[23] afirmou Allan Jennings, diretor do projeto.

Então veio o Google. Brin e Page transferiram sua empresa iniciante de seus quartos em Stanford para escritórios em 1998. A ideia deles era que o ciberespaço possuía uma forma de autoconhecimento, inerente aos links que levavam de uma página a outra, e que um mecanismo de busca poderia explorar esse conhecimento. Como outros cientistas tinham feito antes, eles visualizaram a internet como um gráfico, com nódulos e links: no início de 1998, já eram 150 milhões de nódulos aos quais se somavam quase 2 bilhões de links. Eles consideraram cada link como uma expressão de valor — uma recomendação. E reconheceram que os links não são todos iguais. Inventaram uma maneira recursiva de calcular o valor: a posição ocupada por uma página no ranking depende do valor dos links que levam a ela; o valor de um link depende da posição ocupada no ranking pela página que o contém. Além de inventar isso, eles publicaram a ideia. Fazer com que a internet soubesse como o Google funcionava não prejudicou a habilidade da empresa de valer-se do conhecimento da internet.

Ao mesmo tempo, a ascensão dessa rede de todas as redes foi um novo e inspirador trabalho teórico a respeito da topologia da interconectividade em sistemas muito grandes. A ciência das redes tinha diversas origens e evoluiu seguindo muitos rumos, da matemática pura à sociologia, mas cristalizou-se no verão de 1998, com a publicação de uma carta enviada à *Nature* por Duncan Watts e Steven Strogatz. A carta continha três elementos que, reunidos, fizeram dela uma sensação: uma forte frase de efeito, um bom resultado e uma surpreendente gama de aplicações. Ajudou ainda o fato de uma das aplicações ser Todas as Pessoas do Mundo. A frase de efeito era *mundo pequeno*. Quando dois desconhecidos descobrem ter um amigo em comum — uma conexão

inesperada —, costumam dizer: “Que mundo pequeno”, e foi nesse sentido que Watts e Strogatz falaram a respeito das redes, que consistiam em mundos pequenos.

A qualidade que define uma rede de mundo pequeno é aquela que John Guare capturou de maneira inesquecível em sua peça de 1990, *Seis graus de separação*. A explicação canônica é a seguinte:

> Li em algum lugar que todos os habitantes do planeta são separados uns dos outros por apenas seis pessoas. Seis graus de separação. Entre nós e todas as demais pessoas do planeta. O presidente dos Estados Unidos. Um barqueiro numa gôndola de Veneza. Basta preencher as lacunas com nomes.24

A origem da ideia pode ser rastreada até um experimento em redes sociais realizado em 1967 pelo sociólogo Stanley Milgram, de Harvard, e, indo mais além, até um conto de 1929 escrito por um autor húngaro, Frigyes Karinthy, intitulado “*Láncszemek*” — “Correntes”.[25] Watts e Strogatz levaram isso a sério: parece verdadeiro, e contraria a intuição, pois, nos tipos de rede estudados por eles, os nódulos tendem a ser conjuntos nos quais os elementos são agrupados de maneira muito próxima. São exclusivos. Talvez você conheça muitas pessoas, mas elas tendem a ser suas vizinhas — se não literalmente, então no espaço social — e tendem a conhecer as mesmas pessoas, em geral. No mundo real, essa proximidade é onipresente nas redes complexas: os neurônios no cérebro, as epidemias de doenças infecciosas, as redes de distribuição elétrica, fraturas e canais nas rochas que guardam petróleo. A proximidade no isolamento significa fragmentação: o petróleo não flui, as epidemias se extinguem. Desconhecidos distantes permanecem distantes e desconhecidos.

Mas alguns nódulos podem ter elos distantes, e alguns nódulos podem apresentar um grau admirável de conectividade. Watts e Strogatz descobriram em seus modelos matemáticos que é necessário um número surpreendentemente pequeno de exceções desse tipo — apenas um punhado de elos distantes, mesmo numa rede de alta concentração e proximidade — para reduzir a separação média a quase nada e criar um mundo pequeno.[26] Um dos casos testados era uma epidemia global: “É previsto que doenças infecciosas se espalhem muito mais rapidamente num mundo pequeno; a questão alarmante e menos óbvia está no

reduzido número de atalhos necessários para tornar o mundo pequeno”.[27] Alguns membros da equipe de bordo das companhias aéreas que apresentem um comportamento sexual mais ativo podem ser suficientes.

No ciberespaço, quase tudo permanece nas sombras. Quase tudo é também conectado, e a conectividade vem de uma quantidade relativamente pequena de nódulos, particularmente cheios de elos ou aos quais se atribui grande confiança. Entretanto, uma coisa é provar que cada nódulo é próximo de cada outro nódulo — isso não proporciona uma maneira de achar a ligação entre eles. Se o barqueiro de uma gôndola em Veneza não for capaz de encontrar o caminho até o presidente dos Estados Unidos, a existência matemática da conexão entre eles pode trazer pouco conforto. John Guare também compreendeu isso. A parte seguinte de sua explicação para os *Seis graus de separação* é citada com frequência menor:

> Me parece que A) é um tremendo conforto saber que somos tão próximos, e B) é uma verdadeira tortura chinesa saber que somos tão próximos. Pois é preciso encontrar as seis pessoas corretas para fazer a conexão.

Não existe necessariamente um algoritmo para isso.

A rede tem uma estrutura, e essa estrutura se ergue sobre um paradoxo. Tudo está perto e, ao mesmo tempo, tudo está distante. É por isso que o ciberespaço parece ao mesmo tempo lotado e solitário. Pode-se jogar uma pedra num poço e nunca ouvir o barulho da água.

Não há nenhum *deus ex machina* esperando nos bastidores, não há ninguém atrás da coxia. Não temos um demônio de Maxwell que nos ajude com a filtragem e a busca. “Veja só”, escreveu Stanislaw Lem, “queremos que o demônio extraia da dança de átomos apenas as informações que sejam genuínas, como teoremas matemáticos, revistas de moda, plantas técnicas, crônicas históricas, ou uma receita para fazer panquecas de íons, ou um método para limpar e passar uma roupa de amianto, e também a poesia, e conselhos científicos, e almanaques, agendas e documentos secretos, e tudo o mais que já

tenha aparecido em todos os jornais do universo e listas telefônicas do futuro."[28] Como sempre, é a escolha que nos *informa* (no sentido original da palavra). A escolha do genuíno exige trabalho, e o esquecimento ainda mais. Essa é a maldição da onisciência: a resposta para qualquer pergunta pode estar na ponta dos dedos — por meio do Google, da Wikipédia, do imdb, ou do YouTube, ou do Epicurious ou, do Banco de Dados Nacional de dna ou qualquer um de seus herdeiros e sucessores naturais — e ainda assim indagamos o que de fato sabemos.

Somos todos usuários da Biblioteca de Babel agora, e somos também os bibliotecários. Oscilamos entre o êxtase e a perplexidade, repetidamente. "Quando foi proclamado que a biblioteca continha todos os livros", nos diz Borges, "a primeira impressão foi de uma alegria extravagante. Todos os homens se sentiram mestres de um tesouro intacto e secreto. Não houve problema pessoal nem mundial para o qual não houvesse uma solução contida em algum hexágono. O universo foi justificado."[29] Então vêm as lamentações. De que valem preciosos livros que não podem ser encontrados? De que serve o conhecimento completo em sua perfeição imóvel? Borges se preocupa: "A certeza de que tudo foi escrito nos nega, ou nos transforma em fantasmas". Ao que John Donne tinha respondido muito antes: "Aquele que deseja imprimir um livro deveria desejar muito mais ser um livro".[30]

A biblioteca perdurará — ela é o universo. Quanto a nós, nem tudo foi escrito, não estamos nos convertendo em fantasmas. Caminhamos pelos corredores, vasculhando as prateleiras e reorganizando-as, procurando linhas de conhecimento em meio a léguas de cacofonia e incoerência, lendo a história do passado e do futuro, reunindo nossos pensamentos e os pensamentos dos outros e, de vez em quando, olhando espelhos, nos quais podemos reconhecer criaturas da informação.

# Agradecimentos

Tenho uma dívida de gratidão com Charles H. Bennett, Gregory J. Chaitin, Neil J. A. Sloane, Susanna Cuyler, Betty Shannon, Norma Barzman, John Simpson, Peter Gilliver, Jimmy Wales, Joseph Straus, Craig Townsend, Janna Levin, Katherine Bouton, Dan Menaker, Esther Schor, Siobhan Roberts, Douglas Hofstadter, Martin Seligman, Christopher Fuchs, o falecido John Archibald Wheeler, Carol Hutchins, e Betty Alexandra Toole; também com meu agente, Michael Carlisle, e como sempre, por seu brilhantismo e sua paciência, com meu editor, Dan Frank.

# Notas

prólogo

1. Robert Price, “A Conversation with Claude Shannon: One Man’s Approach to Problem Solving”, *ieee Communications Magazine*, n. 22, p. 126, 1984.

2. A comissão tomou emprestado o termo “transistor” de John R. Pierce; Shannon pegou “bit” de John W. Tukey.

3. Entrevista ao autor, Mary Elizabeth Shannon, 25 jul. 2006.

4. *Statistical Abstract of the United States 1950*. Mais exatamente: 3186 emissoras de rádio e televisão, 15 mil jornais e periódicos, 500 milhões de livros e panfletos e 40 bilhões de cartas no correio.

5. George A. Campbell, “On Loaded Lines in Telephonic Transmission”, *Philosophical Magazine*, n. 5, p. 313, 1903.

6. Hermann Weyl, “The Current Epistemological Situation in Mathematics” (1925), citado por John L. Bell, “Hermann Weyl on Intuition and the Continuum”, *Philosophia Mathematica*, v. 8, n. 3, p. 261, 2000.

7. Andrew Hodges, *Alan Turing: The Enigma*. Londres: Vintage, 1992. p. 251.

8. Carta de Shannon a Vannevar Bush, 16 fev. 1939, em Claude Elwood Shannon, *Collected Papers*, org. N. J. A. Sloane e Aaron D. Wyner. Nova York: ieee Press, 1993. p. 455.

9. Thomas Elyot, *The Boke Named The Governour*, livro iii: xxiv, 1531.

10. Marshall McLuhan, *Understanding Media: The Extensions of Man*. Nova York: McGraw-Hill, 1965. p. 302.

11. Richard Dawkins, *The Blind Watchmaker*. Nova York: Norton, 1986. p. 112.

12. Werner R. Loewenstein, *The Touchstone of Life: Molecular Information, Cell Communication, and the Foundations of Life*. Nova York: Oxford University Press, 1999. p. xvi.

13. John Archibald Wheeler, “It from Bit”, em *At Home in the Universe*. Nova York: American Institute of Physics, 1994. p. 296.

14. John Archibald Wheeler, “The Search for Links”, em Anthony J. G. Hey (org.), *Feynman and Computation.* Boulder, Colorado: Westview, 2002. p. 321.

15. Seth Lloyd, “Computational Capacity of the Universe”, *Physical Review Letters*, v. 88, n. 23, 2002.

16. John Archibald Wheeler, “It from Bit”, p. 298.

17. John R. Pierce, “The Early Days of Information Theory”, *ieee Transactions on Information Theory*, v. 19, n. 1, p. 4, 1973.

18. Ésquilo, *Prometheus Bound* [*Prometeu acorrentado*]. Trad. de H. Smyth, pp. 460-1.

19. Thomas Hobbes, *Leviathan*. Londres: Andrew Crooke, 1660. cap. 4.

1. tambores que falam

1. Irma Wassall, “Black Drums”, *Phylon Quarterly*, n. 4, p. 38, 1943.

2. Walter J. Ong, *Interfaces of the Word*. Ithaca, Nova York: Cornell University Press, 1977. p. 105.

3. Francis Moore, *Travels into the Inland Parts of Africa*. Londres: J. Knox, 1767.

4. William Allen e Thomas R. H. Thompson, *A Narrative of the Expedition to the River Niger in 1841*. Londres: Richard Bentley, 1848. v. 2, p. 393.

5. Roger T. Clarke, “The Drum Language of the Tumba People,” *American Journal of Sociology*, v. 40, n. 1, pp. 34-48, 1934.

6. Caio Suetônio Tranquilo, *The Lives of the Caesars*. Trad. de John C. Rolfe. Cambridge,

Massachusetts: Harvard University Press, 1998. p. 87.

7. Ésquilo, *Oréstia: Agamêmnon, Coéforas, Eumênides*. 8. ed. Trad. do grego de Mário da Gama Kury. Rio de Janeiro: Zahar, 2010. pp. 29-30.

8. Gerard J. Holzmann e Björn Pehrson, *The Early History of Data Networks*. Washington, D. C.: ieee Computer Society, 1995. p. 17.

9. Thomas Browne, *Pseudoxia Epidemica: Or, Enquiries Into Very Many Received Tenents, and Commonly Presumed Truths*. 3. ed. Londres: Nath. Ekins, 1658. p. 59.

10. Galileu Galilei, *Dialogue Concerning the Two Chief World Systems: Ptolemaic and Copernican*. Trad. de Stillman Drake. Berkeley, Califórnia: University of California Press, 1967. p. 95.

11. Edward Lind Morse (Org.), *Samuel F. B. Morse: His Letters and Journals*. Boston: Houghton Mifflin, 1914. v. 2, p. 12.

12. U. S. Patent 1647, 20 de junho de 1840, p. 6.

13. Samuel F. B. Morse, carta a Leonard D. Gale, em *Samuel F. B. Morse: His Letters and Journals*, v. 2, p. 64.

14. "The Atlantic Telegraph", *The New York Times*, 7 ago. 1858.

15. Morse afirmou que foi ele quem os fez, e há divergência entre os defensores de cada um. Cf. *Samuel F. B. Morse: His Letters and Journals*, v. 2, p. 68; George P. Oslin, *The Story of Telecommunications.* Macon, Geórgia: Mercer University Press, 1992. p. 24; Franklin Leonard Pope, "The American Inventors of the Telegraph", *Century Illustrated Magazine* (abr. 1888), p. 934; Kenneth Silverman, *Lightning Man: The Accursed Life of Samuel F. B. Morse.* Nova York: Knopf, 2003. p. 167.

16. John R. Pierce, *An Introduction to Information Theory: Symbols, Signals, and Noise*. 2. ed. Nova York: Dover, 1980. p. 25.

17. Robert Sutherland Rattray, "The Drum Language of West Africa: Part ii", *Journal of the Royal African Society*, v. 22, n. 88, p. 302, 1923.

18. John F. Carrington, *La Voix des tambours: Comment comprendre le langage tambouriné d'Afrique.* Kinshasa: Protestant d'Édition et de Diffusion, 1974. p. 66, citado por Walter J. Ong, *Interfaces of the Word*, p. 95.

19. John F. Carrington, *The Talking Drums of Africa*. Londres: Carey Kingsgate, 1949. p. 19.

20. Ibid., p. 33.

21. Robert Sutherland Rattray, "The Drum Language of West Africa: Part i", *Journal of the Royal African Society*, v. 22, n. 87, p. 235, 1923.

22. Theodore Stern, "Drum and Whistle 'Languages': An Analysis of Speech Surrogates", *American Anthropologist*, v. 59, p. 489, 1957.

23. James Merrill, "Eight Bits", em *The Inner Room*. Nova York: Knopf, 1988. p. 48.

24. Ralph V. L. Hartley, "Transmission of Information", *Bell System Technical Journal*, n. 7, pp. 535-63, 1928.

25. John F. Carrington, *The Talking Drums of Africa*, p. 83.

26. Israel Shenker, "Boomlay", *Time*, 22 nov. 1954.

2. a persistência da palavra

1. Ward Just, *An Unfinished Season*. Nova York: Houghton Mifflin, 2004. p. 153.

2. Walter J. Ong, *Orality and Literacy: The Technologizing of the Word*. Londres: Methuen, 1982. p. 31.

3. Jack Goody e Ian Watt, "The Consequences of Literacy", *Comparative Studies in Society and History*, v. 5, n. 3, pp. 304-45, 1963.

4. Frank Kermode, “Free Fall”, *The New York Review of Books*, v. 10, n. 5, 14 mar. 1968.

5. Walter J. Ong, *Orality and Literacy*, p. 12.

6. Jonathan Miller, *Marshall McLuhan*. Nova York: Viking, 1971. p. 100.

7. Platão, *Phaedrus*. Trad. de Benjamin Jowett. Fairfield, Iowa: First World Library, 2008. p. 275a.

8. Marshall McLuhan, “Culture without Literacy”, em Eric McLuhan e Frank Zingrone (org.), *Essential McLuhan*. Nova York: Basic Books, 1996. p. 305.

9. Plínio, o Velho, *The History of the World* [História natural]. Trad. de Philemon Holland. Londres: [s. n.], 1601. v. 2, p. 581.

10. Samuel Butler, *Essays on Life, Art, and Science.* Port Washington: Kennikat Press, 1970. p. 198.

11. David Diringer e Reinhold Regensburger, *The Alphabet: A Key to the History of Mankind*. 3. ed. Nova York: Funk & Wagnalls, 1968. v. 1, p. 166.

12. “The Alphabetization of Homer”, em Eric Alfred Havelock e Jackson P. Hershbell, *Communication Arts in the Ancient World.* Nova York: Hastings House, 1978. p. 3.

13. Aristóteles, *Poetics*. Trad. de William Hamilton Fyfe. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press, 1953. p. 1447b.

14. Eric A. Havelock, *Preface to Plato*. Cambridge: Harvard University Press, 1963. pp. 300-1.

15. Aristóteles, *Poetics*, p. 1450b.

16. *Republic*, 6493e, em Eric A. Havelock, *Preface to Plato*, p. 282.

17. *Republic*, 6484b.

18. Eric A. Havelock, *Preface to Plato*, p. 282.

19. Nem todos concordam com tudo isso. Uma argumentação contrária pode ser encontrada em John Halverson, “Goody and the Implosion of the Literacy Thesis”, *Man*, v. 27, n. 2, pp. 301-17, 1992.

20. Aristóteles, *Prior Analytics* (“Analíticos anteriores”). Trad. de A. J. Jenkinson, 1:3.

21. Walter J. Ong, *Orality and Literacy*, p. 49.

22. A. R. Luria, *Cognitive Development, Its Cultural and Social Foundations*. Cambridge: Harvard University Press, 1976. p. 86.

23. Walter J. Ong, *Orality and Literacy*, p. 53.

24. Benjamin Jowett, introdução ao *Theaetetus* (“Teeteto”) de Platão. Teddington: Echo Library, 2006. p. 7.

25. Gongsun Long, “When a White Horse Is Not a Horse”, trad. de A. C. Graham, em P. J. Ivanhoe et al., *Readings in Classical Chinese Philosophy*. 2. ed. Indianápolis: Hackett Publishing, 2005. pp. 363-6. Ver também A. C. Graham, *Studies in Chinese Philosophy and Philosophical Literature*. Albany: State University of New York Press, 1990. p. 178. suny Series in Chinese Philosophy and Culture.

26. Julian Jaynes, *The Origin of Consciousness in the Breakdown of the Bicameral Mind*. Boston: Houghton Mifflin, 1977. p. 177.

27. Thomas Sprat, *The History of the Royal Society of London, for the Improving of Natural Knowledge*. 3. ed. Londres: [s. n.], 1722. p. 5.

28. Julian Jaynes, *The Origin of Consciousness in the Breakdown of the Bicameral Mind*, p. 198.

29. Donald E. Knuth, “Ancient Babylonian Algorithms”, *Communications of the Association for Computing Machinery*, v. 15, n. 7, pp. 671-7, 1972.

30. Asger Aaboe, *Episodes from the Early History of Mathematics*. Nova York: L. W. Singer, 1963. p. 5.

31. Otto Neugebauer, *The Exact Sciences in Antiquity*. 2. ed. Providence: Brown University Press, 1957. pp. 30, 40-6.

32. Donald E. Knuth, “Ancient Babylonian Algorithms”, p. 672.

33. John de Salisbury, *Metalogicon*, i:13, citado e traduzido por M. T. Clanchy, *From Memory to Written Record, England, 1066-1307*. Cambridge: Harvard University Press, 1979. p. 202.

34. Ibid.

35. *Phaedrus*, trad. Benjamin Jowett, p. 275d.

36. Marshall McLuhan, “Media and Cultural Change”, em *Essential McLuhan*, p. 92.

37. Entrevista concedida à *Playboy*, março de 1969, em *Essential McLuhan*, p. 240.

38. Thomas Hobbes, *Leviathan, or The Matter, Forme and Power of a Commonwealth, Ecclesiasticall, and Civil* [1651]. Londres: George Routledge and Sons, 1886. p. 299.

39. Walter J. Ong, “This Side of Oral Culture and of Print”, *Lincoln Lecture*, p. 2, 1973.

40. Walter J. Ong, *Orality and Literacy*, p. 14.

3. dois vocabulários

1. Thomas Sprat, *The History of the Royal Society of London, for the Improving of Natural Knowledge*. 3. ed. Londres: [s. n.], 1722. p. 42.

2. Robert Cawdrey, *A Table Alphabeticall.* Londres: Edmund Weaver, 1604, pode ser encontrado na Biblioteca Bodleiana; em edição facsimilar, Robert A. Peters (Org.). Gainesville: Scholars’ Facsimiles & Reprints, 1966; disponível na internet por meio da Biblioteca da Universidade de Toronto; e, de forma mais satisfatória, reimpresso por John Simpson (Org.), *The First English Dictionary, 1604: Robert Cawdrey’s A Table Alphabeticall.* Oxford: Bodleian Library, 2007.

3. Robert Greene, *A Notable Discovery of Coosnage*, 1591; reimpr., Gloucester: Dodo Press, 2008; Albert C. Baugh, *A History of the English Language*, 2. ed. Nova York: Appleton-Century-Crofts, 1957. p. 252.

4. Richard Mulcaster, *The First Part of the Elementarie which Entreateth Chefelie of the Right Writing of Our English Tung*. Londres: Thomas Vautroullier, 1582.

5. John Simpson (org.), *The First English Dictionary*, p. 41.

6. John Strype, *Historical Collections of the Life and Acts of the Right Reverend Father in God, John Aylmer.* Londres: [s. n.], 1701. p. 129, citado por John Simpson (Org.), *The First English Dictionary*, p. 10.

7. Gertrude E. Noyes, “The First English Dictionary, Cawdrey’s Table Alphabeticall”, *Modern Language Notes*, v. 58, n. 8, p. 600, 1943.

8. Edmund Coote, *The English Schoole-maister*. Londres: Ralph Jackson & Robert Dexter, 1596. p. 2.

9. Lloyd W. Daly, *Contributions to a History of Alphabeticization in Antiquity and the Middle Ages*. Bruxelas: Latomus, 1967. p. 73.

10. William Dunn Macray, *Annals of the Bodleian Library, Oxford, 1598-1867*. Londres: Rivingtons, 1868. p. 39.

11. Gottfried Leibniz, *Unvorgreifliche Gedanken*, citado e traduzido por Werner Hüllen, *English Dictionaries 800-1700: The Topical Tradition.* Oxford: Clarendon Press, 1999. p. 16*n*.

12. Ralph Lever, *The Arte of Reason*. Londres: H. Bynneman, 1573.

13. John Locke, *An Essay Concerning Human Understanding*, livro 3, cap. 3, seção 10.

14. Galileu, carta a Mark Welser, 4 de maio de 1612, trad. Stillman Drake, em *Discoveries and Opinions of Galileo.* Nova York: Anchor Books, 1990. p. 92.

15. Isaac Newton, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, trad. Andrew Motte (Scholium), p. 6.

16. Jonathon Green, *Chasing the Sun: Dictionary Makers and the Dictionaries They Made*. Nova York: Holt, 1996. p. 181.

17. Entrevista, John Simpson, 13 de setembro de 2006.

18. Ambrose Bierce, *The Devil's Dictionary*. Nova York: Dover, 1993. p. 25.

19. Ludwig Wittgenstein, *Philosophical Investigations*. Trad. de G. E. M. Anscombe. Nova York: Macmillan, 1953. p. 47.

20. James A. H. Murray, "The Evolution of English Lexicography", Romanes Lecture, 1900.

21. Peter Gilliver et al., *The Ring of Words: Tolkien and the Oxford English Dictionary*. Oxford: Oxford University Press, 2006. p. 82.

22. Anthony Burgess, "*OED* +", em *But Do Blondes Prefer Gentlemen? Homage to Qwert Yuiop and Other Writings*. Nova York: McGraw-Hill, 1986. p. 139. Ele não conseguia deixar a questão de lado. Num ensaio posterior, "Ameringlish", queixou-se novamente.

23. "Writing the *OED*: Spellings", *Oxford English Dictionary*. Disponível em: <http://www.oed.com/about/writing/spellings.html>. Acesso em: 6 abr. 2007.

24. Samuel Johnson, prefácio a *A Dictionary of the English Language* (1755).

25. John Simpson (Org.), *The First English Dictionary*, p. 24.

26. "The Death of Lady Mondegreen", *Harper's Magazine*, p. 48, nov. 1954.

27. Steven Pinker, *The Language Instinct: How the Mind Creates Language*. Nova York: William Morrow, 1994. p. 183.

4. projetar o poder do pensamento numa engrenagem

1. Os textos originais de Charles Babbage e, em menor grau, de Ada Lovelace encontram-se cada vez mais acessíveis. A abrangente edição de mil dólares e onze volumes, *The Works of Charles Babbage*, organizada por Martin Campbell-Kelly, foi publicada em 1989. Na internet, os textos completos de *Passages from the Life of a Philosopher* (1864), *On the Economy of Machinery and Manufactures* (1832) e *The Ninth Bridgewater Treatise* (1838), todos de Babbage, podem agora ser encontrados em edições digitalizadas a partir de bibliotecas pelo programa de livros do Google. Ainda não estava disponível nesse serviço (até 2010) o volume de seu filho, *Babbage's Calculating Engines: Being a Collection of Papers Relating to Them* (1889), também muito útil. Conforme aumentou o interesse durante a era da computação, boa parte do material útil contido nesses livros foi reimpressa em coleções; destas, as mais valiosas são *Charles Babbage and His Calculating Engines*, organizada por Philip Morrison e Emily Morrison (1961); e *Science and Reform: Selected Works of Charles Babbage* (1989), de Anthony Hyman. Outros manuscritos foram publicados em *The Mathematical Work of Charles Babbage* (1978), de J. M. Dubbey. As notas que se seguem fazem referência a uma ou mais dessas fontes, dependendo daquilo que parece mais útil ao leitor. A tradução e as impressionantes "notas" de Ada Augusta, a condessa de Lovelace, à obra "Sketch of the Analytical Engine", de L. F. Menabrea, também estão disponíveis on-line no endereço <http://www.fourmilab.ch/babbage/sketch.html>, graças a John Walker; elas também foram reproduzidas na coleção dos Morrison. Quanto às cartas e aos estudos de Lovelace, encontram-se na British Library, na Biblioteca Bodleiana e em outras, mas muitas foram publicadas por Betty Alexandra Toole em *Ada: The Enchantress of Numbers* (1992 e 1998); sempre que possível busco citar as versões publicadas.

2. Charles Babbage, *On the Economy of Machinery and Manufactures* (1832), p. 300; reimpresso em Anthony Hyman (Org.), *Science and Reform: Selected Works of Charles Babbage*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. p. 200.

3. "The Late Mr. Charles Babbage, F. R. S.", *The Times*, Londres, 23 out. 1871. A cruzada de Babbage contra os artistas mambembes não foi em vão; uma nova lei contra os músicos de rua aprovada em 1864 ficou conhecida como Ata de Babbage. Cf. Stephanie Pain, "Mr. Babbage and the Buskers", *New Scientist*, v. 179, n. 2408, p. 42, 2003.

4. N. S. Dodge, "Charles Babbage", *Smithsonian Annual Report of 1873*, pp. 162-97, reimpresso em *Annals of the History of Computing*, v. 22, n. 4, p. 20, out.-dez. 2000.

5. Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*. Londres: Longman, Green, Longman, Roberts, & Green, 1864. p. 37.

6. Ibid., pp. 385-6.

7. Charles Babbage, *On the Economy of Machinery and Manufactures*. 4. ed. Londres: Charles Knight, 1835. v.

8. Ibid., p. 146.

9. Henry Prevost Babbage (Org.), *Babbage's Calculating Engines: Being a Collection of Papers Relating to Them; Their History and Construction.* Londres: E. & F. N. Spon, 1889. p. 52.

10. Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, p. 67.

11. Philip Morrison e Emily Morrison (Orgs.), *Charles Babbage and His Calculating Engines: Selected Writings*. Nova York: Dover Publications, 1961. p. xxiii.

12. Élie de Joncourt, *De Natura Et Praeclaro Usu Simplicissimae Speciei Numerorum Trigonalium.* Haia: Husson, 1762, citado por Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, p. 54.

13. Citado por Elizabeth L. Eisenstein, *The Printing Press as an Agent of Change: Communications and Cultural Transformations in Early-Modern Europe*. Cambridge: Cambridge University Press, 1979. p. 468.

14. Mary Croarken, "Mary Edwards: Computing for a Living in 18th-Century England", *ieee Annals of the History of Computing*, v. 25, n. 4, pp. 9-15, 2003; e — com um fascinante trabalho de investigação — Mary Croarken, "Tabulating the Heavens: Computing the Nautical Almanac in 18th-Century England", *ieee Annals of the History of Computing*, v. 25, n. 3, pp. 48-61, 2003.

15. Henry Briggs, *Logarithmicall Arithmetike: Or Tables of Logarithmes for Absolute Numbers from an Unite to 100000*. Londres: George Miller, 1631. p. 1.

16. John Napier, "Dedicatorie", em *A Description of the Admirable Table of Logarithmes*. Trad. de Edward Wright. Londres: Nicholas Okes, 1616. p. 3.

17. Henry Briggs a James Ussher, 10 mar. 1615, citado por Graham Jagger em Martin Campbell-Kelly et al. (Orgs.), *The History of Mathematical Tables: From Sumer to Spreadsheets*. Oxford: Oxford University Press, 2003. p. 56.

18. William Lilly, *Mr. William Lilly's History of His Life and Times, from the Year 1602 to 1681*. Londres: Charles Baldwyn, 1715. p. 236.

19. Henry Briggs, *Logarithmicall Arithmetike*, p. 52.

20. Ibid., p. 11.

21. Ole I. Franksen, "Introducing 'Mr. Babbage's Secret'", *APL Quote Quad*, v. 15, n. 1, p. 14, 1984.

22. Michael Williams, *A History of Computing Technology*. Washington, D.C.: ieee Computer Society, 1997. p. 105.

23. Michael Mästlin, citado por Ole I. Franksen, "Introducing 'Mr. Babbage's Secret'", p. 14.

24. Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, p. 17.

25. Simon Schaffer, "Babbage's Dancer", em Francis Spufford e Jenny Uglow (Orgs.), *Cultural Babbage: Technology, Time and Invention*. Londres: Faber and Faber, 1996. p. 58.

26. Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, pp. 26-7.

27. W. W. Rouse Ball, *A History of the Study of Mathematics at Cambridge*. Cambridge: Cambridge University Press, 1889. p. 117.

28. *Charles Babbage and His Calculating Engines*, p. 23.

29. Ibid., p. 31.

30. C. Gerhardt (Org.), *Die Philosophischen Schriften von Gottfried Wilhelm Leibniz*. Berlim: Olms,

1890. v. 7, p. 12, citado por Kurt Gödel em “Russell’s Mathematical Logic” (1944), em Solomon Feferman (Org.), *Kurt Gödel: Collected Works*. Nova York: Oxford University Press, 1986. v. 2, p. 140.

31. Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, p. 25.

32. *Charles Babbage and His Calculating Engines*, p. 25.

33. Charles Babbage, prefácio (1813) a *Memoirs of the Analytical Society*, em Anthony Hyman (Org.), *Science and Reform: Selected Works of Charles Babbage*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. pp. 15-6.

34. Agnes M. Clerke, *The Herschels and Modern Astronomy.* Nova York: Macmillan, 1895. p. 144.

35. Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, p. 34.

36. Ibid., p. 42.

37. Ibid., p. 41.

38. Charles Babbage, *A Letter to Sir Humphry Davy on the Application of Machinery to the Purpose of Calculating and Printing Mathematical Tables*. Londres: J. Booth & Baldwain, Cradock & Joy, 1822. p. 1.

39. Babbage a David Brewster, 6 nov. 1822, em Charles Babbage e Martin Campbell-Kelly (Orgs.), *The Works of Charles Babbage*. Nova York: New York University Press, 1989. v. 2, p. 43.

40. Dionysius Lardner, “Babbage’s Calculating Engine”, *Edinburgh Review*, v. 59, n. 120, p. 282, 1834; e Edward Everett, “The Uses of Astronomy”, em *Orations and Speeches on Various Occasions.* Boston: Little, Brown, 1870. p. 447.

41. Martin Campbell-Kelly, “Charles Babbage’s Table of Logarithms (1827)”, *Annals of the History of Computing*, v. 10, pp. 159-69, 1988.

42. Dionysius Lardner, “Babbage’s Calculating Engines”, p. 282.

43. Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, p. 52.

44. Ibid., pp. 60-2.

45. Babbage a John Herschel, 10 ago. 1814, citado por Anthony Hyman, *Charles Babbage: Pioneer of the Computer*. Princeton: Princeton University Press, 1982. p. 31.

46. David Brewster a Charles Babbage, 3 jul. 1821, citado por J. M. Dubbey, *The Mathematical Work of Charles Babbage*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978. p. 94.

47. Babbage a John Herschel, 27 jun. 1823, citado por Anthony Hyman, *Charles Babbage*, p. 53.

48. Dionysius Lardner, “Babbage’s Calculating Engines”, p. 264.

49. “Address of Presenting the Gold Medal of the Astronomical Society to Charles Babbage”, em *Charles Babbage and His Calculating Engines*, p. 219.

50. Dionysius Lardner, “Babbage’s Calculating Engines”, pp. 288-300.

51. Charles Babbage, “On a Method of Expressing by Signs the Action of Machinery”, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London*, v. 116, n. 3, pp. 250-65, 1826.

52. *Charles Babbage and His Calculating Engines*, p. xxiii. Os Morrison destacam que Tennyson teria aparentemente trocado “minuto” por “momento” nas edições posteriores a 1850.

53. Harriet Martineau, *Autobiography* (1877), citado por Anthony Hyman, *Charles Babbage*, p. 129.

54. Citado por Doron Swade, *The Difference Engine: Charles Babbage and the Quest to Build the First Computer*. Nova York: Viking, 2001. p. 132.

55. Citado em ibid., p. 38.

56. Anúncio publicado na *The Builder*, 31 dez. 1842. Disponível em: <http://www.victorianlondon.org/photography/adverts.htm>. Acesso em: 7 mar. 2006.

57. Lord Byron, “Childe Harold’s Pilgrimage”, canto 3, p. 118.

58. Byron a Augusta Leigh, 12 out. 1823, em Leslie A. Marchand (Org.), *Byron's Letters and Journals*. Londres: John Murray, 1973-94. v. 9, p. 47.

59. Ada a Lady Byron, 3 fev. 1828, em Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers: Prophet of the Computer Age*. Mill Valley: Strawberry Press, 1998. p. 25.

60. Ada a Lady Byron, 2 abr. 1828, ibid., p. 27.

61. Ada a Mary Somerville, 20 fev. 1835, ibid., p. 55.

62. Ibid., p. 33.

63. Sophia Elizabeth De Morgan, *Memoir of Augustus De Morgan*. Londres: Longmans, Green & Co., 1882. p. 89.

64. Ada ao dr. William King, 24 mar. 1834, em Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers*, p. 45.

65. Ada a Mary Somerville, 8 jul. 1834, ibid., p. 46.

66. "Of the Analytical Engine", em *Charles Babbage and His Calculating Engines*, p. 55.

67. Ibid., p. 65.

68. Ada a Mary Somerville, 22 jun. 1837, em Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers*, p. 70.

69. Ada a Lady Byron, 26 jun. 1838, ibid., p. 78.

70. Ada a Babbage, nov. 1839, ibid., p. 82.

71. Ada a Babbage, 16 fev. 1840, ibid., p. 83.

72. Augustus De Morgan a Lady Byron, citado por Betty Alexandra Toole, "Ada Byron, Lady Lovelace, an Analyst and Metaphysician", *ieee Annals of the History of Computing*, v. 18, n. 3, p. 7, 1996.

73. Ada a Babbage, 16 de fevereiro de 1840, em Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers*, p. 83.

74. Ada a Augustus De Morgan, 3 fev. 1841, ibid., p. 99.

75. Ensaio sem título, 5 jan. 1841, ibid., p. 94.

76. Ada a Woronzow Greig, 15 jan. 1841, ibid., p. 98.

77. Ada a Lady Byron, 6 fev. 1841, ibid., p. 101.

78. *Charles Babbage and His Calculating Engines*, p. 113.

79. Citado por Anthony Hyman, *Charles Babbage*, p. 185.

80. *Bibliothèque Universelle de Genève*, n. 82, out. 1842.

81. Ada a Babbage, 4 jul. 1843, em Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers*, p. 145.

82. Nota A (da tradutora, Ada Lovelace) à obra de L. F. Menabrea, "Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage", em *Charles Babbage and His Calculating Engines*, p. 247.

83. Ibid., p. 252.

84. H. Babbage, "The Analytical Engine", estudo lido em Bath, 12 set. 1888, em *Charles Babbage and His Calculating Engines*, p. 331.

85. Nota D (da tradutora, Ada Lovelace) à obra de L. F. Menabrea, "Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage".

86. Ada a Babbage, 5 jul. 1843, em Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers*, p. 147.

87. Nota D (da tradutora, Ada Lovelace) à obra de L. F. Menabrea, "Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage".

88. Ada a Babbage, 13 jul. 1843, em Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers*, p. 149.

89. Ada a Babbage, 22 jul. 1843, ibid., p. 150.

90. Ada a Babbage, 30 jul. 1843, ibid., p. 157.

91. H. P. Babbage, “The Analytical Engine”, p. 333.

92. “Maelzel’s Chess-Player”, em *The Prose Tales of Edgar Allan Poe: Third Series*. Nova York: A. C. Armstrong & Son, 1889. p. 230.

93. Ralph Waldo Emerson, *Society and Solitude*. Boston: Fields, Osgood, 1870. p. 143.

94. Oliver Wendell Holmes, *The Autocrat of the Breakfast-Table*. Nova York: Houghton Mifflin, 1893. p. 11.

95. Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, p. 235.

96. “On the Age of Strata, as Inferred from the Rings of Trees Embedded in Them”, de Charles Babbage, *The Ninth Bridgewater Treatise: A Fragment.* Londres: John Murray, 1837, em *Charles Babbage and His Calculating Engines*, p. 368.

97. Charles Babbage, *On the Economy of Machinery*, p. 10.

98. Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, p. 447.

99. Charles Babbage, *On the Economy of Machinery*, p. 273.

100. Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, p. 460.

101. Ibid., p. 301.

102. Jenny Uglow, “Possibility”, em Francis Spufford e Jenny Uglow, *Cultural Babbage*, p. 20.

103. Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*, p. 450.

104. Ada a Lady Byron, 10 ago. 1851, em Betty Alexandra Toole, *Ada, the Enchantress of Numbers*, p. 287.

105. Ada a Lady Byron, 29 out. 1851, ibid., p. 291.

5. um sistema nervoso para a terra

1. Nathaniel Hawthorne, *The House of the Seven Gables*. Boston: Ticknor, Reed, & Fields, 1851. p. 283.

2. Administravam o tráfego “sem dificuldade, e sem estar continuamente ocupados”. “Central Telegraph Stations”, *Journal of the Society of Telegraph Engineers*, n. 4, p. 106, 1875.

3. Andrew Wynter, “The Electric Telegraph”, *Quarterly Review*, n. 95, pp. 118-64, 1854.

4. Iwan Rhys Morus, “‘The Nervous System of Britain’: Space, Time and the Electric Telegraph in the Victorian Age”, *British Journal of the History of Science*, n. 33, pp. 455-75, 2000.

5. Citado por Iwan Rhys Morus, “‘The Nervous System of Britain’”, p. 471.

6. “Edison’s Baby”, *The New York Times*, 27 out. 1878, p. 5.

7. “The Future of the Telephone”, *Scientific American*, 10 jan. 1880.

8. Alexander Jones, *Historical Sketch of the Electric Telegraph: Including Its Rise and Progress in the United States*. Nova York: Putnam, 1852. v.

9. William Robert Grove, citado por Iwan Rhys Morus, “‘The Nervous System of Britain’”, p. 463.

10. Dionysius Lardner, *The Electric Telegraph*, revisado e reescrito por Edward B. Bright. Londres: James Walton, 1867. p. 6.

11. “The Telegraph”, *Harper’s New Monthly Magazine*, n. 47, ago. 1873, p. 337.

12. “The Electric Telegraph”, *The New York Times*, 11 nov. 1852.

13. Jó 38,35; Dionysius Lardner, *The Electric Telegraph*.

14. Gerard J. Holzmann e Björn Pehrson, *The Early History of Data Networks*. Washington, d.c.: ieee Computer Society, 1995. pp. 52 ss.

15. “Lettre sur une nouveau télégraphe”, citado por Jacques Attali e Yves Stourdze, “The Birth of the Telephone and the Economic Crisis: The Slow Death of Monologue in French Society”, em Ithiel de Sola Poolin (Org.), *The Social Impact of the Telephone*. Cambridge: mit Press, 1977. p. 97.

16. Gerard J. Holzmann e Björn Pehrson, *The Early History of Data Networks*, p. 59.

17. Bertrand Barère de Vieuzac, 17 ago. 1794, citado em ibid., p. 64.

18. Taliaferro P. Shaffner, *The Telegraph Manual: A Complete History and Description of the Semaphoric, Electric and Magnetic Telegraphs of Europe, Asia, Africa, and America, Ancient and Modern*. Nova York: Pudney & Russell, 1859. p. 42.

19. Gerard J. Holzmann e Björn Pehrson, *The Early History of Data Networks*, p. 81.

20. Charles Dibdin, “The Telegraph”, em *The Songs of Charles Dibdin, Chronologically Arranged*. Londres: G. H. Davidson, 1863. v.2, p. 69.

21. Taliaferro P. Shaffner, *The Telegraph Manual*, p. 31.

22. Gerard J. Holzmann e Björn Pehrson, *The Early History of Data Networks*, p. 56.

23. Ibid., p. 91.

24. Ibid., p. 93.

25. J. J. Fahie, *A History of Electric Telegraphy to the Year 1837*. Londres: E. & F. N. Spon, 1884. p. 90.

26. E. A. Marland, *Early Electrical Communication*. Londres: Abelard-Schuman, 1964. p. 37.

27. “Uma tentativa feita por Dyer de introduzir seu telégrafo ao uso geral enfrentou forte preconceito e, assustando-se com algumas manifestações desse sentimento, ele deixou o país.” Chauncey M. Depew, *One Hundred Years of American Commerce*. Nova York: D. O. Haynes, 1895. p. 126.

28. John Pickering, *Lecture on Telegraphic Language*. Boston: Hilliard, Gray, 1833. p. 11.

29. Citado por Daniel R. Headrick, *When Information Came of Age: Technologies of Knowledge in the Age of Reason and Revolution, 1700-1850*. Oxford: Oxford University Press, 2000. p. 200.

30. John Pickering, *Lecture on Telegraphic Language*, p. 26.

31. Manuscrito de Davy, citado por J. J. Fahie, *A History of Electric Telegraphy to the Year 1837*, p. 351.

32. William Fothergill Cooke, *The Electric Telegraph: Was it Invented By Professor Wheatstone?* Londres: W. H.Smith & Son, 1857. p. 27.

33. Alfred Vail, *The American Electro Magnetic Telegraph: With the Reports of Congress, and a Description of All Telegraphs Known, Employing Electricity Or Galvanism.* Filadélfia: Lea & Blanchard, 1847. p. 178.

34. *Samuel F. B. Morse: His Letters and Journals*. Boston: Houghton Mifflin, 1914. v. 2, p. 21.

35. R. W. Habersham, *Samuel F. B. Morse: His Letters and Journals*.

36. Alfred Vail, *The American Electro Magnetic Telegraph*, p. 70.

37. Andrew Wynter, “The Electric Telegraph”, p. 128.

38. Laurence Turnbull, *The Electro-Magnetic Telegraph, with an Historical Account of Its Rise, Progress, and Present Condition*. Filadélfia: A. Hart, 1853. p. 87.

39. “The Trial of John Tawell for the Murder of Sarah Hart by Poison, at the Aylesbury Spring Assizes, before Mr. Baron Parks, on March 12th 1845”, em William Otter Woodall, *A Collection of Reports of Celebrated Trials*. Londres: Shaw & Sons, 1873.

40. John Timbs, *Stories of Inventors and Discoverers in Science and the Useful Arts*. Londres: Kent, 1860. p. 335.

41. Citado por Tom Standage, *The Victorian Internet: The Remarkable Story of the Telegraph and the Nineteenth Century’s On-Line Pioneers*. Nova York: Berkley, 1998. p. 55.

42. Alexander Jones, *Historical Sketch of the Electric Telegraph*, p. 121.

43. Charles Maybury Archer (Org.), *The London Anecdotes: The Electric Telegraph*. Londres: David Bogue, 1848. v. 1, p. 85.

44. *Littell's Living Age*, v. 6, n. 63, 26 jul. 1845, p. 194.

45. Andrew Wynter, "The Electric Telegraph", p. 138.

46. Alexander Jones, *Historical Sketch of the Electric Telegraph*, p. 6.

47. "The Atlantic Telegraph", *The New York Times*, 6 ago. 1858, p. 1.

48. Charles Maybury Archer, *The London Anecdotes*, p. 51.

49. Ibid., p. 73.

50. George B. Prescott, *History, Theory, and Practice of the Electric Telegraph*. Boston: Ticknor and Fields, 1860. p. 5.

51. *The New York Times*, 7 ago. 1858, p. 1.

52. Citado por Iwan Rhys Morus, "'The Nervous System of Britain'", p. 463.

53. Charles Wilkes a S. F. B. Morse, 13 jun. 1844, em Alfred Vail, *The American Electro Magnetic Telegraph*, p. 60.

54. Citado por Adam Frank, "Valdemar's Tongue, Poe's Telegraphy", *ELH* 72, p. 637, 2005.

55. Andrew Wynter, "The Electric Telegraph", p. 133.

56. Alfred Vail, *The American Electro Magnetic Telegraph*, p. viii.

57. Acordo entre Cooke e Wheatstone, 1843, em William Fothergill Cooke, *The Electric Telegraph*, p. 46.

58. "The Telegraph", *Harper's New Monthly Magazine*, p. 336.

59. Andrew Wynter, *Subtle Brains and Lissom Fingers: Being Some of the Chisel-Marks of Our Industrial and Scientific Progress*. Londres: Robert Hardwicke, 1863. p. 363.

60. Robert Frost, "The Line-Gang", 1920.

61. *Littell's Living Age*, v. 6, n. 63, 26 jul. 1845, p. 194.

62. "The Telegraph", *Harper's New Monthly Magazine*, p. 333.

63. Andrew Wynter, *Subtle Brains and Lissom Fingers*, p. 371.

64. Andrew Wynter, "The Electric Telegraph", p. 132.

65. Alexander Jones, *Historical Sketch of the Electric Telegraph*, p. 123.

66. Alfred Vail, *The American Electro Magnetic Telegraph*, p. 46.

67. Francis O. J. Smith, *The Secret Corresponding Vocabulary; Adapted for Use to Morse's Electro-Magnetic Telegraph: And Also in Conducting Written Correspondence, Transmitted by the Mails, or Otherwise*. Portland: Thurston, Ilsley, 1845.

68. Exemplos de William Clauson-Thue, *The A B C Universal Commercial Electric Telegraph Code*. 4. ed. Londres: Eden Fisher, 1880.

69. Ibid., iv.

70. *Primrose v. Western Union Tel. Co.*, 154 U.S. 1 (1894); "Not Liable for Errors in Ciphers", *The New York Times*, 27 maio 1894, p. 1.

71. Posteriormente reproduzido, identificando o autor como John Wilkins, em *Mercury: Or the Secret and Swift Messenger. Shewing, How a Man May With Privacy and Speed Communicate His Thoughts to a Friend At Any Distance*. 3. ed. Londres: John Nicholson, 1708.

72. John Aubrey, citado por Richard Barber (Org.), *Brief Lives*. Woodbridge: Boydell Press, 1982. p.

324.

73. John Wilkins, *Mercury: Or the Secret and Swift Messenger*, p. 62.

74. Ibid., p. 69.

75. David Kahn, *The Codebreakers: The Story of Secret Writing*. Londres: Weidenfeld & Nicolson, 1968. p. 189.

76. "A Few Words on Secret Writing", *Graham's Magazine*, jul. 1841; Edgar Allan Poe, *Essays and Reviews.* Nova York: Library of America, 1984. p. 1277.

77. *The Literati of New York* (1846), em Edgar Allan Poe, *Essays and Reviews*, p. 1172.

78. Cf. William F. Friedman, "Edgar Allan Poe, Cryptographer", *American Literature*, v. 8, n. 3, pp. 266-80, 1936; Joseph Wood Krutch, *Edgar Allan Poe: A Study in Genius.* Nova York: Knopf, 1926.

79. Lewis Carroll, "The Telegraph-Cipher", cartão impresso de 8 × 12 centímetros, Berol Collection, New York University Library.

80. Charles Babbage, *Passages from the Life of a Philosopher*. Londres: Longman, Green, Longman, Roberts, & Green, 1864. p. 235.

81. Simon Singh, *The Code Book: The Secret History of Codes and Code-breaking*. Londres: Fourth Estate, 1999. pp. 63 ss.

82. Dionysius Lardner, "Babbage's Calculating Engines", *Edinburgh Review*, v. 59, n. 120, pp. 315-7, 1834.

83. De Morgan a Boole, 28 nov. 1847, em G. C. Smith (Org.), *The Boole-De Morgan Correspondence 1842-1864*. Oxford: Clarendon Press, 1982. p. 25.

84. De Morgan a Boole, rascunho, não enviado, ibid., p. 27.

85. Citado por Samuel Neil, "The Late George Boole, LL.D., D.C.L." (1865), em James Gasser (org.), *A Boole Anthology: Recent and Classical Studies in the Logic of George Boole*. Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic, 2000. p. 16.

86. George Boole, *An Investigation of the Laws of Thought, on Which Are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities*. Londres: Walton & Maberly, 1854. p. 34.

87. Ibid., pp. 24-5.

88. Ibid., p. 69.

89. "The Telegraph", *Harper's New Monthly Magazine*, p. 359.

90. Lewis Carroll, *Symbolic Logic: Part I, Elementary.* Londres: Macmillan, 1896. pp. 112 e 131. E cf. Steve Martin, *Born Standing Up: A Comic's Life.* Nova York: Simon & Schuster, 2007. p. 74.

91. Bertrand Russell, *Mysticism and Logic* (1918), reimpresso em Nova York: Dover, 2004. p. 57.

6. novos fios, nova lógica

1. James Clerk Maxwell, "The Telephone", palestra da série Rede Lecture, Cambridge, 1878, "ilustrada com o auxílio da harpa telefônica do sr. Gower", em W. D. Niven (Org.), *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Cambridge: Cambridge University Press, 1890; reimpresso em Nova York: Dover, 1965. v. 2, p. 750.

2. "Pequena o bastante a ponto de bastar uma caminhada de poucos quarteirões para chegarmos à zona rural." Entrevista de Shannon concedida a Anthony Liversidge, *Omni* (ago. 1987), em Claude Elwood Shannon, *Collected Papers*, N. J. A. Sloane e Aaron D. Wyner (Org.). Nova York: ieee Press, 1993. p. xx.

3. "In the World of Electricity", *The New York Times*, 14 jul. 1895, p. 28.

4. David B. Sicilia, "How the West Was Wired", *Inc*., 15 jun. 1997.

5. "O escaravelho de ouro" (1843), em *Complete Stories and Poems of Edgar Allan Poe*. Nova York:

Doubleday, 1966. p. 71.

6. Ibid., p. 90.

7. *The New York Times*, 21 out. 1927.

8. Vannevar Bush, "As We May Think", *The Atlantic*, jul. 1945.

9. Shannon a Rudolf E. Kalman, 12 jun. 1987, Divisão de Manuscritos da Biblioteca do Congresso.

10. Claude Shannon, "A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits", *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, n. 57 , pp. 38-50, 1938.

11. Vannevar Bush a Barbara Burks, 5 jan. 1938, Divisão de Manuscritos da Biblioteca do Congresso.

12. Claude Shannon, *Collected Papers*, p. 892.

13. Claude Shannon a Vannevar Bush, 16 fev. 1939, em Claude Shannon, *Collected Papers*, p. 455.

14. Leibniz a Jean Galloys, dez. 1678, em Martin Davis, *The Universal Computer: The Road from Leibniz to Turing*. Nova York: Norton, 2000. p. 16.

15. Alfred North Whitehead e Bertrand Russell, *Principia Mathematica*. Cambridge: Cambridge University Press, 1910. v. 1, p. 2.

16. Bertrand Russell, "Mathematical Logic Based on the Theory of Types", *American Journal of Mathematics* 30, n. 3, p. 222, jul. 1908.

17. Douglas R. Hofstadter, *I Am a Strange Loop*. Nova York: Basic Books, 2007. p. 109.

18. Alfred North Whitehead e Bertrand Russell, *Principia Mathematica*, v. 1, p. 61.

19. "The Philosophy of Logical Atomism" (1910), em Bertrand Russell, *Logic and Knowledge: Essays, 1901-1950*. Londres: Routledge, 1956. p. 261.

20. Kurt Gödel, "On Formally Undecidable Propositions of *Principia Mathematica* and Related Systems i" (1931), em *Kurt Gödel: Collected Works*, org. Solomon Feferman. Nova York: Oxford University Press, 1986. v.1 p. 146.

21. Kurt Gödel, "Russell's Mathematical Logic" (1944), em *Kurt Gödel: Collected Works*, v. 2, p. 119.

22. Kurt Gödel, "On Formally Undecidable Propositions of Principia Mathematica and Related Systems i" (1931), p. 145.

23. Ibid., p. 151, n15.

24. Kurt Gödel, "Russell's Mathematical Logic" (1944), p. 124.

25. Douglas R. Hofstadter, *I Am a Strange Loop*, p. 166.

26. John von Neumann, "Tribute to Dr. Gödel" (1951), citado por Steve J. Heims, *John von Neumann and Norbert Weiner*. Cambridge: mit Press, 1980. p. 133.

27. Russell a Leon Henkin, 1 abr. 1963.

28. Ludwig Wittgenstein, *Remarks on the Foundations of Mathematics*. Cambridge: mit Press, 1967. p. 158.

29. Gödel a Abraham Robinson, 2 jul. 1973, em *Kurt Gödel: Collected Works*, v. 5, p. 201.

30. Rebecca Goldstein, *Incompleteness: The Proof and Paradox of Kurt Gödel*. Nova York: Atlas, 2005. p. 207.

31. Hermann Weyl a Claude Shannon, 11 abr. 1940, Divisão de Manuscritos da Biblioteca do Congresso.

32. David A. Mindell, *Between Human and Machine: Feedback, Control, and Computing Before Cybernetics*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2002. p. 289.

33. Vannevar Bush, "Report of the National Defense Research Committee for the First Year of Operation, June 27, 1940, to June 28, 1941", Franklin D. Roosevelt Presidential Library and Museum, p.

19.

34. R. B. Blackman, H. W. Bode e Claude E. Shannon, “Data Smoothing and Prediction in Fire-Control Systems”, Summary Technical Report of Division 7, National Defense Research Committee, vol. 1, *Gunfire Control* (Washington d.c.: 1946), pp. 71-159 e 166-7; David A. Mindell, “Automation’s Finest Hour: Bell Labs and Automatic Control in World War ii”, *ieee Control Systems* 15, pp. 72-80, dez. 1995.

35. Elisha Gray a A. L. Hayes, out. 1875, citado por Michael E. Gorman, *Transforming Nature: Ethics, Invention and Discovery*. Boston: Kluwer Academic, 1998. p. 165.

36. Albert Bigelow Paine, *In One Man’s Life: Being Chapters from the Personal & Business Career of Theodore N. Vail*. Nova York: Harper & Brothers, 1921. p. 114.

37. Marion May Dilts, *The Telephone in a Changing World*. Nova York: Longmans, Green, 1941. p. 11.

38. “The Telephone Unmasked”, *The New York Times*, 13 out. 1877, p. 4.

39. *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, org. W. D. Niven. Cambridge: Cambridge University Press, 1890; reimpr. Nova York: Dover, 1965. v. 2, p. 744.

40. *Scientific American*, 10 jan. 1880.

41. *Telephones: 1907*, Special Reports, Bureau of the Census, p. 74.

42. Citado por Ithiel de Sola Pool (Org.), *The Social Impact of the Telephone*. Cambridge: mit Press, 1977. p. 140.

43. J. Clerk Maxwell, “A Dynamical Theory of the Electromagnetic Field”, *Philosophical Transactions of the Royal Society* 155, p. 459, 1865.

44. Michèle Martin, *“Hello, Central?”: Gender, Technology, and Culture in the Formation of Telephone Systems*. Montreal: McGill-Queen’s University Press, 1991. p. 55.

45. Proceedings of the National Telephone Exchange Association, 1881, em Frederick Leland Rhodes, *Beginnings of Telephony*. Nova York: Harper & Brothers, 1929. p. 154.

46. Citado por Peter Young, *Person to Person: The International Impact of the Telephone*. Cambridge: Granta, 1991. p. 65.

47. Herbert N. Casson, *The History of the Telephone*. Chicago: A. C. McClurg, 1910. p. 296.

48. John Vaughn, “The Thirtieth Anniversary of a Great Invention”, *Scribner’s* 40, p. 371, 1906.

49. G. E. Schindler, Jr. (Org.), *A History of Engineering and Science in the Bell System: Switching Technology 1925-1975*, Laboratórios Telefônicos Bell, 1982.

50. T. C. Fry, “Industrial Mathematics”, *Bell System Technical Journal* 20, jul. 1941, p. 255.

51. Bell Canada Archives, citado por Michèle Martin, “Hello, Central?”, p. 23.

52. H. Nyquist, “Certain Factors Affecting Telegraph Speed”, *Bell System Technical Journal* 3, abr. 1924, p. 332.

53. R. V. L. Hartley, “Transmission of Information”, *Bell System Technical Journal* 7, jul. 1928, p. 536.

54. Ibid.

55. H. Nyquist, “Certain Factors Affecting Telegraph Speed”, p. 333.

56. R. V. L. Hartley, “Transmission of Information”, p. 537.

7. teoria da informação

1. Jon Barwise, “Information and Circumstance”, *Notre Dame Journal of Formal Logic* 27, n. 3, p. 324, 1986.

2. Entrevista de Shannon concedida a Robert Price: “A Conversation with Claude Shannon: One Man’s Approach to Problem Solving”, *ieee Communications Magazine* 22, p. 125, 1984; cf. Alan Turing a Claude Shannon, 3 jun. 1953, Divisão de Manuscritos da Biblioteca do Congresso.

3. Andrew Hodges, *Alan Turing: The Enigma*. Londres: Vintage, 1992. p. 251.

4. Max H. A. Newman a Alonzo Church, 31 maio 1936, citado por Andrew Hodges, *Alan Turing*, p. 113.

5. Alan M. Turing, "On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem", *Proceedings of the London Mathematical Society*, n. 42, pp. 230-65, 1936.

6. Carta de Alan Turing aos pais, verão de 1923, amt/K/1/3, Turing Digital Archive. Disponível em: <http://www.turingarchive.org>.

7. Alan M. Turing, "On Computable Numbers", pp. 230-65.

8. "On the Seeming Paradox of Mechanizing Creativity", em Douglas R. Hofstadter, *Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern.* Nova York: Basic Books, 1985. p. 535.

9. "The Nature of Spirit", ensaio não publicado, 1932, em Andrew Hodges, *Alan Turing*, p. 63.

10. Herbert B. Enderton, "Elements of Recursion Theory", em Jon Barwise, *Handbook of Mathematical Logic* (Amsterdam: North Holland, 1977), p. 529.

11. Alan Turing a Sara Turing, 14 out. 1936, citado por Andrew Hodges, *Alan Turing*, p. 120.

12. "Communication Theory of Secrecy Systems" (1948), em Claude Elwood Shannon, *Collected Papers*, N. J. A. Sloane e Aaron D. Wyner (Orgs.). Nova York: ieee Press, 1993. p. 90.

13. Ibid., p. 113.

14. Edward Sapir, *Language: An Introduction to the Study of Speech*. Nova York: Harcourt, Brace, 1921. p. 21.

15. "Communication Theory of Secrecy Systems", em Claude Shannon, *Collected Papers*, p. 85.

16. Ibid., p. 97.

17. "Communication Theory—Exposition of Fundamentals", *IRE Transactions on Information Theory,* n. 1, fev. 1950, em Claude Shannon, *Collected Papers*, p. 173.

18. Carta de Warren Weaver a Claude Shannon, 27 jan. 1949, Divisão de Manuscritos da Biblioteca do Congresso.

19. John R. Pierce, "The Early Days of Information Theory", *IEEE Transactions on Information Theory*, v. 19, n. 1, p. 4, 1973.

20. Claude Elwood Shannon e Warren Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illinois Press, 1949. p. 31.

21. Ibid., p. 11.

22. "Stochastic Problems in Physics and Astronomy", *Reviews of Modern Physics*, v. 15, n. 1, p. 1, jan. 1943.

23. M. G. Kendall e B. Babbington Smith, *Table of Random Sampling Numbers* (Cambridge: Cambridge University Press, 1939). Kendall e Smith usaram uma "máquina aleatorizadora" — um disco em rotação no qual os dez dígitos eram iluminados por uma luz de neon a intervalos regulares. Numa tentativa anterior, em 1927, L. H. C. Tippett selecionou ao acaso 41 mil dígitos dos relatórios do censo populacional, prestando atenção apenas ao último algarismo de cada número. Um artigo um tanto ingênuo da *Mathematical Gazette* argumentava em 1944 que tais máquinas eram desnecessárias:

Numa comunidade moderna, ao que tudo indica não há necessidade de construir uma máquina aleatorizadora, pois muitos elementos da experiência sociológica apresentam características aleatórias. […] Portanto, um conjunto de números aleatórios que sirva para todos os propósitos convencionais pode ser obtido anotando as placas dos automóveis que passam pela rua, já que os carros, numerados em série, circulam pela rua de maneira não sequenciada, tomando o cuidado, claro, de evitar erros óbvios, como o de anotar todas as manhãs, a caminho da estação, as mesmas placas dos mesmos carros sempre estacionados

nas mesmas ruas.

Frank Sandon, “Random Sampling Numbers”, *The Mathematical Gazette*, n. 28, p. 216, dez. 1944.

24. Fletcher Pratt, *Secret and Urgent: The Story of Codes and Ciphers*. Garden City: Blue Ribbon, 1939.

25. Claude Elwood Shannon e Warren Weaver, *The Mathematical Theory of Communication*, p. 18.

26. “Palavra sugerida por J. W. Tukey”, acrescentou ele. O estatístico John Tukey fora colega de quarto de Richard Feynman em Princeton e passou algum tempo trabalhando nos Laboratórios Bell após a guerra.

27. Claude Shannon, “Prediction and Entropy of Printed English”, *Bell System Technical Journal*, n. 30, p. 50, 1951, em Claude Shannon, *Collected Papers*, p. 94.

28. Citado por M. Mitchell Waldrop, “Reluctant Father of the Digital Age”, *Technology Review*, pp. 64-71, jul.-ago. 2001.

29. Entrevista de Shannon concedida a Anthony Liversidge, *Omni* (ago. 1987), em Claude Shannon, *Collected Papers*, p. xxiii.

30. Nota manuscrita, 12 jul. 1949, Divisão de Manuscritos da Biblioteca do Congresso.

8. a virada informacional

1. Heinz von Foerster (Org.), *Cybernetics: Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems: Transactions of the Seventh Conference, March 23-24, 1950*. Nova York: Josiah Macy Jr. Foundation, 1951. p. 155.

2. J. J. Doob, resenha (sem título), *Mathematical Reviews*, n. 10, p. 133, fev. 1949.

3. A. Chapanis, resenha (sem título), *Quarterly Review of Biology*, v. 26, n. 3, p. 321, set. 1951.

4. Arthur W. Burks, resenha (sem título), *Philosophical Review*, v. 60, n. 3, p. 398, jul. 1951.

5. *Proceedings of the Institute of Radio Engineers*, n. 37 (1949), em Claude Elwood Shannon, *Collected Papers*, org. N. J. A. Sloane e Aaron D. Wyner. Nova York: ieee Press, 1993. p. 872.

6. John R. Pierce, “The Early Days of Information Theory”, *IEEE Transactions on Information Theory*, v. 19, n. 1, p. 5, 1973.

7. André-Marie Ampère tinha usado a palavra “cybernétics” em 1834 (*Essai sur la philosophie des sciences*).

8. “Boy of 14 College Graduate”, *The New York Times*, 9 maio 1909, p. 1.

9. Bertrand Russell a Lucy Donnelly, 19 out. 1913, citado por Steve J. Heims, *John von Neumann and Norbert Wiener*. Cambridge: mit Press, 1980. p. 18.

10. Norbert Wiener a Leo Wiener, 15 out. 1913, citado por Flo Conway e Jim Siegelman, *Dark Hero of the Information Age: In Search of Norbert Weiner, the Father of Cybernetics*. Nova York: Basic Books, 2005. p. 30.

11. Norbert Wiener, *I Am a Mathematician: The Later Life of a Prodigy*. Cambridge: mit Press, 1964. p. 324.

12. Ibid., p. 375.

13. Arturo Rosenblueth et al., “Behavior, Purpose and Teleology”, *Philosophy of Science*, n. 10, p. 18, 1943.

14. Citado por Warren S. McCulloch, “Recollections of the Many Sources of Cybernetics”, *ASC Forum*, v. 6, n. 2, 1974.

15. “In Man’s Image”, *Time*, 27 dez. 1948.

16. Norbert Wiener, *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. 2. ed. Cambridge: mit Press, 1961. p. 118.

17. Ibid., p. 132.

18. Warren S. McCulloch, “Through the Den of the Metaphysician”, *British Journal for the Philosophy of Science*, v. 5, n. 17, p. 18, 1954.

19. Warren S. McCulloch, “Recollections of the Many Sources of Cybernetics”, p. 11.

20. Steve J. Heims, *The Cybernetics Group*. Cambridge: mit Press, 1991. p. 22.

21. Heinz von Foerster (Org.), *Transactions of the Seventh Conference*, p. 11.

22. Ibid., p. 12.

23. Ibid., p. 18.

24. Ibid., p. 13.

25. Ibid., p. 20.

26. Warren S. McCulloch e John Pfeiffer, “Of Digital Computers Called Brains”, *Scientific Monthly*, v. 69, n. 6, p. 368, 1949.

27. J. C. R. Licklider, entrevista concedida a William Aspray e Arthur Norberg, 28 out. 1988, Charles Babbage Institute, Universidade de Minnesota. Disponível em: <http://special.lib.umn.edu/cbi/oh/pdf.phtml?id=180>. Acesso em: 6 jun. 2010.

28. Heinz von Foerster (Org.), *Transactions of the Seventh Conference*, p. 66.

29. Ibid., p. 92.

30. Ibid., p. 100.

31. Ibid., p. 123.

32. Ibid., p. 135.

33. Citado por Flo Conway e Jim Siegelman, *Dark Hero of the Information Age*, p. 189.

34. Heinz von Foerster (Org.), *Transactions of the Seventh Conference*, p. 143.

35. Heinz von Foerster (Org.), *Cybernetics: Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems: Transactions of the Eighth Conference, March 15-16, 1951*. Nova York: Josiah Macy Jr. Foundation, 1952. p. xiii.

36. Heinz von Foerster (Org.), *Transactions of the Seventh Conference*, p. 151.

37. Heinz von Foerster (Org.), *Transactions of the Eighth Conference*, p. 173.

38. “Computers and Automata”, em Claude Shannon, *Collected Papers*, p. 706.

39. Heinz von Foerster (Org.), *Transactions of the Eighth Conference*, p. 175.

40. Ibid., p. 180.

41. Citado por Roberto Cordeschi, *The Discovery of the Artificial: Behavior, Mind, and Machines Before and Beyond Cybernetics*. Dordrecht: Springer, 2002. p. 163.

42. Norbert Wiener, *Cybernetics*, p. 23.

43. John Bates a Grey Walter, citado por Owen Holland, “The First Biologically Inspired Robots”, *Robotica*, n. 21, p. 354, 2003.

44. Philip Husbands e Owen Holland, “The Ratio Club: A Hub of British Cybernetics”, em *The Mechanical Mind in History*. Cambridge: mit Press, 2008. p. 103.

45. Ibid., p. 110.

46. “Brain and Behavior”, *Comparative Psychology Monograph*, series 103 (1950), em Warren S. McCulloch, *Embodiments of Mind*. Cambridge: mit Press, 1965. p. 307.

47. Alan M. Turing, “Computing Machinery and Intelligence”, *Minds and Machines*, v. 59, n. 236, pp. 433-60, 1950.

48. Ibid., p. 436.

49. Ibid., p. 439.

50. Alan M. Turing, “Intelligent Machinery, A Heretical Theory”, palestra não publicada (*c.* 1951), em Stuart M. Shieber (Org.), *The Turing Test: Verbal Behavior as the Hallmark of Intelligence*. Cambridge: mit Press, 2004. p. 105.

51. Alan M. Turing, “Computing Machinery and Intelligence”, p. 442.

52. Claude Shannon a C. Jones, 16 jun. 1952, Divisão de Manuscritos da Biblioteca do Congresso, com permissão de Mary E. Shannon.

53. Traduzido em William Harvey, *Anatomical Exercises Concerning the Motion of the Heart and Blood.* Londres: [s.l.], 1653, citado em “psychology, *n*”, revisão do rascunho, *OED Online*, Oxford University Press, dez. 2009. Disponível em: <http://dictionary.oed.com/cgi/entry/50191636>.

54. *North British Review*, n. 22, p. 181, nov. 1854.

55. William James a Henry Holt, 9 maio 1890, citado por Robert D. Richardson, *William James: In the Maelstrom of American Modernism*. Nova York: Houghton Mifflin, 2006. p. 298.

56. George Miller, diálogo com Jonathan Miller, em Jonathan Miller, *States of Mind*. Nova York: Pantheon, 1983. p. 22.

57. Homer Jacobson, “The Informational Capacity of the Human Ear”, *Science*, n. 112, pp. 143-4, 4 ago. 1950; “The Informational Capacity of the Human Eye”, *Science*, n. 113, pp. 292-3, 16 mar. 1951.

58. G. A. Miller, G. A. Heise e W. Lichten, “The Intelligibility of Speech as a Function of the Context of the Test Materials”, *Journal of Experimental Psychology*, n. 41, pp. 329-35, 1951.

59. Donald E. Broadbent, *Perception and Communication*. Oxford: Pergamon, 1958. p. 31.

60. *Psychological Review*, n. 63, pp. 81-97, 1956.

61. Frederick Adams, “The Informational Turn in Philosophy”, *Minds and Machines*, n. 13, p. 495, 2003.

62. Jonathan Miller, *States of Mind*, p. 26.

63. Claude Shannon, “The Transfer of Information”, palestra apresentada no 75o aniversário da Faculdade de Pós-Graduação em Artes e Ciências da Universidade da Pensilvânia, Divisão de Manuscritos da Biblioteca do Congresso. Reproduzido com a permissão de Mary E. Shannon.

64. “The Bandwagon”, em Claude Shannon, *Collected Papers*, p. 462.

65. Citado por Steve J. Heims, *The Cybernetics Group*, p. 277.

66. Notas de Neil J. A. Sloane e Aaron D. Wyner, em Claude Shannon, *Collected Papers*, p. 882.

67. Claude E. Shannon, “Programming a Computer for Playing Chess”, apresentado pela primeira vez na Convenção Nacional do ire, 9 mar. 1949, em Claude Shannon, *Collected Papers*, p. 637; “A Chess-Playing Machine”, *Scientific American* (fev. 1950), em Claude Shannon, *Collected Papers*, p. 657.

68. Edward Lasker a Claude Shannon, 7 fev. 1949, Divisão de Manuscritos da Biblioteca do Congresso.

69. Claude Shannon a C. J. S. Purdy, 28 ago. 1952, Divisão de Manuscritos da Biblioteca do Congresso, com permissão de Mary E. Shannon.

70. Não publicado, em Claude Shannon, *Collected Papers*, p. 861. Os versos originais do poema de Cummings, “*voices to voices, lip to lip*”, citados em seguida, são: “*who cares if some oneeyed son of a bitch/ invents an instrument to measure Spring with?*”.

71. Claude Shannon a Irene Angus, 8 ago. 1952, Divisão de Manuscritos da Biblioteca do Congresso.

72. Robert McCraken, “The Sinister Machines”, *Wyoming Tribune*, mar. 1954.

73. Peter Elias, “Two Famous Papers”, *IRE Transactions on Information Theory*, v. 4, n. 3, p. 99, 1958.

74. E. Colin Cherry, *On Human Communication*. Cambridge: mit Press, 1957. p. 214.

9. a entropia e seus demônios

1. David L. Watson, “Entropy and Organization”, *Science*, n. 72, p. 222, 1930.

2. Robert Price, “A Conversation with Claude Shannon: One Man’s Approach to Problem Solving”, *IEEE Communications Magazine*, n. 22, p. 124, 1984.

3. Por exemplo, J. Johnstone, “Entropy and Evolution”, *Philosophy*, n. 7, p. 287, jul. 1932.

4. James Clerk Maxwell, *Theory of Heat*, 2. ed. Londres: Longmans, Green, 1872. p. 186; 8. ed. Londres: Longmans, Green, 1891. p. 189n.

5. Peter Nicholls e David Langford (Orgs.), *The Science in Science Fiction*. Nova York: Knopf, 1983. p. 86.

6. Lord Kelvin (William Thomson), “Physical Considerations Regarding the Possible Age of the Sun’s Heat”, palestra feita durante a reunião da Associação Britânica em Manchester, set. 1861, em *Philosophical Magazine*, n. 152, p. 158, fev. 1862.

7. Sigmund Freud, “From the History of an Infantile Neurosis”, 1918*b*, p. 116, em *The Standard Edition of the Complete Psychological Works of Sigmund Freud*. Londres: Hogarth Press, 1955.

8. James Clerk Maxwell, “Diffusion”, escrito para a nona edição da *Encyclopaedia Britannica*, em *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*, organizada por W. D. Niven. Cambridge: Cambridge University Press, 1890 (reimpr. Nova York: Dover, 1965). v. 2, p. 646.

9. Léon Brillouin, “Life, Thermodynamics, and Cybernetics” (1949), em Harvey S. Leff e Andrew F. Rex (orgs.), *Maxwell’s Demon 2: Entropy, Classical and Quantum Information, Computing*. Bristol, Grã-Bretanha: Institute of Physics, 2003. p. 77.

10. Richard Feynman, *The Character of Physical Law*. Nova York: Modern Library, 1994. p. 106.

11. James Clerk Maxwell a John William Strutt, 6 de dezembro de 1870, em Elizabeth Garber, Stephen G. Brush e C. W. F. Everitt, (Orgs.), *Maxwell on Heat and Statistical Mechanics: On “Avoiding All Personal Enquiries” of Molecules*. Londres: Associated University Presses, 1995. p. 205.

12. Citado por Andrew Hodges, “What Did Alan Turing Mean by ‘Machine’?”, em Philip Husbands et al., *The Mechanical Mind in History*. Cambridge: mit Press, 2008. p. 81.

13. James Clerk Maxwell a Peter Guthrie Tait, 11 dez. 1867, em *The Scientific Letters and Papers of James Clerk Maxwell*. Organização de P. M. Harman. Cambridge: Cambridge University Press, 2002. v. 3, p. 332.

14. Palestra na Royal Institution, 28 fev. 1879, *Proceedings of the Royal Institution*, n. 9, p. 113, 1880, em William Thomson, *Mathematical and Physical Papers*. Cambridge: Cambridge University Press, 1911. v. 5, p. 21.

15. “Editor’s Table”, *Popular Science Monthly*, n. 15, p. 412, 1879.

16. Henry Adams a Brooks Adams, 2 maio 1903, em *Henry Adams and His Friends: A Collection of His Unpublished Letters*. Organização de Harold Cater. Boston: Houghton Mifflin, 1947. p. 545.

17. Henri Poincaré, *The Foundations of Science*. Trad. de George Bruce Halsted. Nova York: Science Press, 1913. p. 152.

18. James Johnstone, *The Philosophy of Biology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1914. p. 118.

19. Leó Szilárd, “On the Decrease of Entropy in a Thermodynamic System by the Intervention of Intelligent Beings”, trad. de Anatol Rapoport e Mechthilde Knoller, de Leó Szilárd, “Über Die Entropieverminderung in Einem Thermodynamischen System Bei Eingriffen Intelligenter Wesen”, *Zeitschrift für Physik*, n. 53, pp. 840-56, 1929, em Harvey S. Leff e Andrew F. Rex (Orgs.), *Maxwell’s Demon 2*, p. 111.

20. Citado por William Lanouette, *Genius in the Shadows*. Nova York: Scribner’s, 1992. p. 64.

21. Entrevista de Shannon concedida a Friedrich-Wilhelm Hagemeyer, 1977, citada por Erico Mariu Guizzo, “The Essential Message: Claude Shannon and the Making of Information Theory”. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology, 2004. Tese de mestrado.

22. Claude Shannon a Norbert Wiener, 13 out. 1948, Massachusetts Institute of Technology Archives.

23. Erwin Schrödinger, *What Is Life?*, edição reimpressa. Cambridge: Cambridge University Press, 1967. p. 1.

24. Gunther S. Stent, “That Was the Molecular Biology That Was”, *Science*, v. 160, n. 3826, p. 392, 1968.

25. Erwin Schrödinger, *What Is Life?*, p. 69.

26. Norbert Wiener, *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. 2. ed. Cambridge: mit Press, 1961. p. 58.

27. Erwin Schrödinger, *What Is Life?*, p. 71.

28. Ibid., p. 23.

29. Ibid., p. 28.

30. Ibid., p. 61.

31. Ibid., p. 5 (grifo meu).

32. Léon Brillouin, “Life, Thermodynamics, and Cybernetics”, p. 84.

33. Léon Brillouin, “Maxwell’s Demon Cannot Operate: Information and Entropy”, em Harvey S. Leff e Andrew F. Rex (Orgs.), *Maxwell’s Demon 2*, p. 123.

34. Peter T. Landsberg, *The Enigma of Time*. Bristol: Adam Hilger, 1982. p. 15.

10. o código da própria vida

1. Richard Dawkins, *The Blind Watchmaker*. Nova York: Norton, 1986. p. 112.

2. W. D. Gunning, “Progression and Retrogression”, *The Popular Science Monthly*, n. 8, p. 189, n1, dez. 1875.

3. Wilhelm Johannsen, “The Genotype Conception of Heredity”, *American Naturalist*, v. 45, n. 531, p. 130, 1911.

4. “A descontinuidade e as constantes diferenças entre os ‘genes’ são o material cotidiano do mendelismo”, *American Naturalist*, v. 45, n. 531, p. 147, 1911.

5. Erwin Schrödinger, *What Is Life?*. Cambridge: Cambridge University Press, 1967. Edição reimpressa. p. 62.

6. Henry Quastler (Org.), *Essays on the Use of Information Theory in Biology*. Urbana: University of Illinois Press, 1953.

7. Sidney Dancoff a Henry Quastler, 31 jul. 1950, citado por Lily E. Kay, *Who Wrote the Book of Life: A History of the Genetic Code*. Stanford: Stanford University Press, 2000. p. 119.

8. Henry Linschitz, “The Information Content of a Bacterial Cell”, em Henry Quastler (org.), *Essays on the Use of Information Theory in Biology*, p. 252.

9. Sidney Dancoff e Henry Quastler, “The Information Content and Error Rate of Living Things”, em Henry Quastler (Org.), *Essays on the Use of Information Theory in Biology*, p. 264.

10. Ibid., p. 270.

11. Boris Ephrussi, Urs Leopold, J. D. Watson e J. J. Weigle, “Terminology in Bacterial Genetics”, *Nature*, n. 171, p. 701, 18 abr. 1953.

12. Cf. Sahotra Sarkar, *Molecular Models of Life*. Cambridge: mit Press, 2005; Lily E. Kay, *Who Wrote the Book of Life?*, p. 58; Harriett Ephrussi-Taylor a Joshua Lederberg, 3 set. 1953, e anotação de Lederberg,

30 abr. 2004, nos estudos de Lederberg, disponível em: <http://profiles.nlm.nih.gov/BB/A/J/R/R/>, acesso em: 22 jan. 2009; e James D. Watson, *Genes, Girls, and Gamow: After the Double Helix*. (Nova York: Knopf, 2002. p. 12.

13. Mais tarde, ao examinar com distanciamento a questão, todos compreenderam que isso fora provado em 1944 por Oswald Avery na Universidade Rockefeller. Mas, na época, poucos pesquisadores estavam convencidos disso.

14. Gunther S. Stent, "dna", *Daedalus*, n. 99, p. 924, 1970.

15. James D. Watson e Francis Crick, "A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid", *Nature*, n. 171, p. 737, 1953.

16. James D. Watson e Francis Crick, "Genetical Implications of the Structure of Deoxyribonucleic Acid", *Nature*, n. 171, p. 965, 1953.

17. George Gamow a James D. Watson e Francis Crick, 8 jul. 1953, citado por Lily E. Kay, *Who Wrote the Book of Life?*, p. 131. Reproduzido com permissão de R. Igor Gamow.

18. George Gamow a E. Chargaff, 6 maio 1954, ibid., p. 141.

19. Gunther S. Stent, "dna", p. 924.

20. Francis Crick, entrevista concedida a Horace Freeland Judson, 20 nov. 1975, em Horace Freeland Judson, *The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology*. Nova York: Simon & Schuster, 1979. p. 233.

21. George Gamow, "Possible Relation Between Deoxyribonucleic Acid and Protein Structures", *Nature*, n. 173, p. 318, 1954.

22. Douglas R. Hofstadter, "The Genetic Code: Arbitrary?" (mar. 1982), em *Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern*. Nova York: Basic Books, 1985. p. 671.

23. George Gamow, "Information Transfer in the Living Cell", *Scientific American*, v. 193, n. 10, p. 70, out. 1955.

24. Francis Crick, "General Nature of the Genetic Code for Proteins", *Nature*, n. 192, p. 1227, 30 dez. 1961.

25. Solomon W. Golomb, Basil Gordon e Lloyd R. Welch, "Comma-Free Codes", *Canadian Journal of Mathematics*, n. 10, pp. 202-9, 1958, citado por Lily E. Kay, *Who Wrote the Book of Life?*, p. 171.

26. Francis Crick, "On Protein Synthesis", *Symposium of the Society for Experimental Biology*, n. 12, p. 152, 1958; cf. Francis Crick, "Central Dogma of Molecular Biology", *Nature*, n. 227, pp. 561-3, 1970; e Hubert P. Yockey, *Information Theory, Evolution, and the Origin of Life*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005. pp. 20-1.

27. Horace Freeland Judson, *The Eighth Day of Creation*, pp. 219-21.

28. Gunther S. Stent, "You Can Take the Ethics Out of Altruism But You Can't Take the Altruism Out of Ethics", *Hastings Center Report*, v. 7, n. 6, p. 34, 1977; e Gunther S. Stent, "dna", p. 925.

29. Seymour Benzer, "The Elementary Units of Heredity", em W. D. McElroy e B. Glass (orgs.), *The Chemical Basis of Heredity*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1957. p. 70.

30. Richard Dawkins, *The Selfish Gene*. Oxford: Oxford University Press, 2006. Edição comemorativa do 30o aniversário. p. 237. [Ed. bras.: *O gene egoísta*. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.]

31. Ibid., p. xxi.

32. Ibid., p. 19.

33. Stephen Jay Gould, "Caring Groups and Selfish Genes", em *The Panda's Thumb*. Nova York: Norton, 1980. p. 86.

34. Gunther S. Stent, "You Can Take the Ethics Out of Altruism But You Can't Take the Altruism Out of

Ethics", p. 33.

35. Samuel Butler, *Life and Habit*. Londres: Trübner & Co, 1878. p. 134.

36. Daniel C. Dennett, *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*. Nova York: Simon & Schuster, 1995. p. 346.

37. Edward O. Wilson, "Biology and the Social Sciences", *Daedalus*, v. 106, n. 4, p. 131, outono de 1977.

38. Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, p. 265.

39. Ibid., p. 36.

40. Ibid., p. 25.

41. Werner R. Loewenstein, *The Touchstone of Life: Molecular Information, Cell Communication, and the Foundations of Life*. Nova York: Oxford University Press, 1999. pp. 93-4.

42. Richard Dawkins, *The Extended Phenotype*. Oxford: Oxford University Press, 1999. Edição revisada. p. 117.

43. Ibid., pp. 196-7.

44. Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, p. 37.

45. Richard Dawkins, *The Extended Phenotype*, p. 21.

46. Ibid., p. 23.

47. Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, p. 60.

48. Ibid., p. 34.

49. Max Delbrück, "A Physicist Looks at Biology", *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences*, n. 38, p. 194, 1949.

11. um mergulho no caldo dos memes

1. Douglas R. Hofstadter, "On Viral Sentences and Self-Replicating Structures", em *Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern*. Nova York: Basic Books, 1985. p. 52.

2. Jacques Monod, *Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*. Trad. de Austryn Wainhouse. Nova York: Knopf, 1971. p. 145.

3. Ibid., p. 165.

4. Roger Sperry, "Mind, Brain, and Humanist Values", em *New Views of the Nature of Man*. Organização de John R. Platt. Chicago: University of Chicago Press, 1983. p. 82.

5. Richard Dawkins, *The Selfish Gene*. Oxford: Oxford University Press, 2006. Edição comemorativa do 30o aniversário. p. 192.

6. Daniel C. Dennett, *Darwin's Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life.* Nova York: Simon & Schuster, 1995. p. 347.

7. Daniel C. Dennett, *Consciousness Explained*. Boston: Little, Brown, 1991. p. 204.

8. Mary Midgley, "Gene-Juggling", *Philosophy*, n. 54, out. 1979.

9. Daniel C. Dennett, "Memes: Myths, Misunderstandings, and Misgivings", rascunho para palestra em Chapel Hill, out. 1998. Disponível em: <http://ase.tufts.edu/cogstud/papers/MEMEMYTH.FIN.htm>. Acesso em: 7 jun. 2010.

10. George Jean Nathan e H. L. Mencken, "Clinical Notes", *American Mercury*, v. 3, n. 9, p. 55, set. 1924.

11. Edmund Spenser, citado por Thomas Fuller, *The History of the Worthies of England*. Londres: [s. n.], 1662.

12. Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, p. 322.

13. Citado por Dawkins, ibid., p. 192.

14. W. D. Hamilton, “The Play by Nature,” *Science*, n. 196, p. 759, 13 maio 1977.

15. Juan D. Delius, “Of Mind Memes and Brain Bugs, A Natural History of Culture”, em *The Nature of Culture*. Organização de Walter A. Koch. Bochum, Alemanha: Bochum, 1989. p. 40.

16. James Thomson, “Autumn”, 1730.

17. John Milton, *Paradise Lost*, ix:1036.

18. Douglas R. Hofstadter, “On Viral Sentences and Self-Replicating Structures”, p. 52.

19. Daniel C. Dennett, *Darwin’s Dangerous Idea*, p. 346.

20. Richard Dawkins, *The Selfish Gene*, p. 197.

21. Ibid., p. 329.

22. Daniel W. VanArsdale, “Chain Letter Evolution”. Disponível em: <http://www.silcom.com/~barnowl/chain-letter/evolution.html>. Acesso em: 8 jun. 2010.

23. Harry Middleton Hyatt, *Folk-Lore from Adams County, Illinois*. 2. ed. revisada. Hannibal, Missouri: Alma Egan Hyatt Foundation, 1965. p. 581.

24. Charles H. Bennett, Ming Li, e Bin Ma, “Chain Letters and Evolutionary Histories”, *Scientific American*, v. 288, n. 6, p. 77, jun. 2003.

25. Daniel C. Dennett, *Darwin’s Dangerous Idea*, p. 344.

26. Richard Dawkins, prefácio a Susan Blackmore, *The Meme Machine*. Oxford: Oxford University Press, 1999. p. xii.

27. David Mitchell, *Ghostwritten*. Nova York: Random House, 1999. p. 378.

28. Margaret Atwood, *The Year of the Flood*. Nova York: Doubleday, 2009. p. 170.

29. John Updike, “The Author Observes His Birthday, 2005”, *Endpoint and Other Poems*. Nova York: Knopf, 2009. p. 8.

30. Fred I. Dretske, *Knowledge and the Flow of Information*. Cambridge: mit Press, 1981. p. xii.

12. a sensação de aleatoriedade

1. Michael Cunningham, *Specimen Days*. Nova York: Farrar Straus Giroux, 2005. p. 154.

2. Entrevistas, Gregory J. Chaitin, 27 out. 2007 e 14 set. 2009; Gregory J. Chaitin, “The Limits of Reason”, *Scientific American*, v. 294, n. 3, p. 74, mar. 2006.

3. Ernest Nagel e James R. Newman, *Gödel’s Proof*. Nova York: New York University Press, 1958. p. 6.

4. Citado por Gregory J. Chaitin, *Information, Randomness & Incompleteness: Papers on Algorithmic Information Theory*. Cingapura: World Scientific, 1987. p. 61.

5. “Algorithmic Information Theory”, em Gregory J. Chaitin, *Conversations with a Mathematician*. Londres: Springer, 2002. p. 80.

6. John Archibald Wheeler, *At Home in the Universe, Masters of Modern Physics*. Nova York: American Institute of Physics, 1994. v. 9, p. 304.

7. Cf. John Maynard Keynes, *A Treatise on Probability*. Londres: Macmillan, 1921. p. 291.

8. Ibid., p. 281.

9. Henri Poincaré, “Chance”, em *Science and Method*. Trad. de Francis Maitland. Mineola, Nova York: Dover, 2003. p. 65.

10. *A Million Random Digits with 100,000 Normal Deviates*. Glencoe, Illinois: Free, 1955.

11. Ibid., pp. ix-x.

12. Von Neumann citado por Peter Galison, *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*.

Chicago: University of Chicago Press, 1997. p. 703.

13. “A Universal Turing Machine with Two Internal States”, em Claude Elwood Shannon, *Collected Papers*. Organização de N. J. A. Sloane e Aaron D. Wyner. Nova York: ieee Press, 1993. pp. 733-41.

14. Gregory J. Chaitin, “On the Length of Programs for Computing Finite Binary Sequences”, *Journal of the Association for Computing Machinery*, n. 13, p. 567, 1966.

15. Isaac Newton, “Rules of Reasoning in Philosophy; Rule i”, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*.

16. Obituário, *Bulletin of the London Mathematical Society*, n. 22, p. 31, 1990; A. N. Shiryaev, “Kolmogorov: Life and Creative Activities”, *Annals of Probability*, v. 17, n. 3, p. 867, 1989.

17. David A. Mindell et al., “Cybernetics and Information Theory in the United States, France, and the Soviet Union”, em *Science and Ideology: A Comparative History*. Organização de Mark Walker. Londres: Routledge, 2003. pp. 66 e 81.

18. Cf. “Amount of Information and Entropy for Continuous Distributions”, nota 1, em *Selected Works of A. N. Kolmogorov*. Trad. de A. B. Sossinksky. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993. v. 3: Information Theory and the Theory of Algorithms. p. 33.

19. A. N. Kolmogorov e A. N.Shiryaev, *Kolmogorov in Perspective*. Trad. do russo de Harold H. McFaden. [S. l.]: American Mathematical Society, London Mathematical Society, 2000. History of Mathematics, v. 20, p. 54.

20. Citado por Slava Gerovitch, *From Newspeak to Cyberspeak: A History of Soviet Cybernetics*. Cambridge: mit Press, 2002. p. 58.

21. “Intervention at the Session”, em *Selected Works of A. N. Kolmogorov*, p. 31.

22. Registro no diário de Kolmogorov, 14 set. 1943, em A. N. Kolmogorov e A. N. Shiryaev, *Kolmogorov in Perspective*, p. 50.

23. “Three Approaches to the Definition of the Concept ‘Quantity of Information’”, em *Selected Works of A. N. Kolmogorov*, p. 188.

24. Ibid., p. 221.

25. “On the Logical Foundations of Information Theory and Probability Theory”, *Problems of Information Transmission*, v. 5, n. 3, pp. 1-4, 1969.

26. V. I. Arnold, “On A. N. Kolmogorov”, em A. N. Kolmogorov e A. N. Shiryaev, *Kolmogorov in Perspective*, p. 94.

27. Gregory J. Chaitin, *Thinking About Gödel and Turing: Essays on Complexity, 1970-2007*. Cingapura: World Scientific, 2007. p. 176.

28. Gregory J. Chaitin, “The Berry Paradox”, *Complexity*, v. 1, n. 1, p. 26, 1995; “Paradoxes of Randomness”, *Complexity*, v. 7, n. 5, pp. 14-21, 2002.

29. Entrevista, Gregory J. Chaitin, 14 set. 2009.

30. Prefácio a Cristian S. Calude, *Information and Randomness: An Algorithmic Perspective*. Berlim: Springer, 2002. p. viii.

31. Joseph Ford, “Directions in Classical Chaos”, em *Directions in Chaos*. Organização de Hao Bai-lin. Cingapura: World Scientific, 1987. p. 14.

32. Ray J. Solomonoff, “The Discovery of Algorithmic Probability”, *Journal of Computer and System Sciences*, v. 55, n. 1, pp. 73-88, 1997.

33. Noam Chomsky, “Three Models for the Description of Language”, *IRE Transactions on Information Theory*, v. 2, n. 3, pp. 113-24, 1956.

34. Ray J. Solomonoff, “A Formal Theory of Inductive Inference”, *Information and Control*, v. 7, n. 1,

pp. 1-22, 1964.

35. Prefácio a Cristian S. Calude, *Information and Randomness*, p. vii.

36. Gregory J. Chaitin, "Randomness and Mathematical Proof", em *Information, Randomness & Incompleteness*, p. 4.

37. Charles H. Bennett, "Logical Depth and Physical Complexity", em *The Universal Turing Machine: A Half-Century Survey*. Organização de Rolf Herken. Oxford: Oxford University Press, 1988. pp. 209-10.

13. a informação é física

1. Seth Lloyd, *Programming the Universe*. Nova York: Knopf, 2006. p. 44.

2. Christopher A. Fuchs, "Quantum Mechanics as Quantum Information (and Only a Little More)", *arXiv:quant-ph/0205039v1*, 8 maio 2002, p. 1.

3. Ibid., p. 4.

4. John Archibald Wheeler com Kenneth Ford, *Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics*. Nova York: Norton, 1998. p. 298.

5. "It from Bit", em John Archibald Wheeler, *At Home in the Universe, Masters of Modern Physics*. Nova York: American Institute of Physics, 1994. v. 9, p. 296.

6. Stephen Hawking, "Black Hole Explosions?", *Nature*, n. 248, DOI:10.1038/248030a0, pp. 30-1, 1 mar. 1974.

7. Stephen Hawking, "The Breakdown of Predictability in Gravitational Collapse", *Physical Review D*, n. 14, pp. 2460-73, 1976; Gordon Belot et al., "The Hawking Information Loss Paradox: The Anatomy of a Controversy", *British Journal for the Philosophy of Science*, n. 50, pp. 189-229, 1999.

8. John Preskill, "Black Holes and Information: A Crisis in Quantum Physics", Seminário Teórico da Caltech, 21 out. 1994. Disponível em: <http://www.theory.caltech.edu/~preskill/talks/blackholes.pdf>. Acesso em: 20 mar. 2010.

9. John Preskill, "Black Holes and the Information Paradox", *Scientific American*, p. 54, abr. 1997.

10. Citado por Tom Siegfried, *The Bit and the Pendulum: From Quantum Computing to M Theory — The New Physics of Information*. Nova York: Wiley and Sons, 2000. p. 203.

11. Stephen Hawking, "Information Loss in Black Holes", *Physical Review D*, n. 72, p. 4, 2005.

12. Charles H. Bennett, "Notes on the History of Reversible Computation", *IBM Journal of Research and Development*, v. 44, n. 1-2, p. 270, 2000.

13. Charles H. Bennett, "The Thermodynamics of Computation — A Review", *International Journal of Theoretical Physics*, v. 21, n. 12, p. 906, 1982.

14. Ibid.

15. "Information Is Physical", *Physics Today*, n. 23 (maio 1991); "Information Is Inevitably Physical", em Anthony H. G. Hey (Org.), *Feynman and Computation*. Boulder: Westview Press, 2002. p. 77.

16. Charles Bennett, citado por George Johnson em "Rolf Landauer, Pioneer in Computer Theory, Dies at 72", *The New York Times*, 30 abr. 1999.

17. Entrevista ao autor, Charles Bennett, 27 out. 2009.

18. J. A. Smolin, "The Early Days of Experimental Quantum Cryptography", *IBM Journal of Research and Development*, v. 48, pp. 47-52, 2004.

19. Barbara M. Terhal, "Is Entanglement Monogamous?", *IBM Journal of Research and Development*, v. 48, n. 1, pp. 71-8, 2004.

20. Uma explicação detalhada pode ser encontrada em Simon Singh, *The Code Book: The Secret History of Codes and Codebreaking*. Londres: Fourth Estate, 1999; estende-se por dez páginas de prosa única, começando na p. 339.

21. Propaganda da ibm, *Scientific American* (fev. 1996), pp. 0-1; Anthony H. G. Hey (Org.), *Feynman and Computation*, p. xiii; Tom Siegfried, *The Bit and the Pendulum*, p. 13.

22. *Physical Review*, n. 47, pp. 777-80, 1935.

23. Wolfgang Pauli a Werner Heisenberg, 15 jun. 1935, citado por Louisa Gilder, *The Age of Entanglement: When Quantum Physics Was Reborn*. Nova York: Knopf, 2008. p. 162.

24. Albert Einstein a Max Born, mar. 1948, em *The Born-Einstein Letters*. Trad. de Irene Born. Nova York: Walker, 1971. p. 164.

25. Asher Peres, "Einstein, Podolsky, Rosen, and Shannon", *arXiv:quant-ph/0310010 v1*, 2003.

26. Christopher A. Fuchs, "Quantum Mechanics as Quantum Information (and Only a Little More)": *arXiv: quant-ph/1003.5209 v1*, 26 mar. 2010, p. 3.

27. Charles H. Bennett et al., "Teleporting an Unknown Quantum State Via Dual Classical and Einstein-Podolsky-Rosen Channels", *Physical Review Letters*, n. 70, p. 1895, 1993.

28. Richard Feynman, "Simulating Physics with Computers", em Anthony H. G. Hey (Org.), *Feynman and Computation*, p. 136.

29. Entrevista ao autor, Charles H. Bennett, 27 out. 2009.

30. N. David Mermin, *Quantum Computer Science*, p. 17.

31. Batizada em homenagem a seus inventores, Ron Rivest, Adi Shamir e Len Adleman.

32. Kleinjung, K. Aoki, J. Franke et al., "Factorization of a 768-bit rsa modulus", Eprint archive n. 2010/006, 2010.

33. Dorit Aharonov, no debate "Harnessing Quantum Physics", 18 out. 2009, Perimeter Institute, Waterloo, Ontario; e mensagem de e-mail de 10 de fevereiro de 2010.

34. Charles H. Bennett, "Publicity, Privacy, and Permanence of Information", em *Quantum Computing: Back Action*, aip Conference Proceeding n. 864. Organizado por Debabrata Goswami. Melville: American Institute of Physics, 2006. pp. 175-9.

35. Charles H. Bennett, entrevista ao autor, 27 out. 2009.

36. Entrevista concedida por Shannon a Anthony Liversidge, *Omni* (ago. 1987), em Claude Elwood Shannon, *Collected Papers*. Organização de N. J. A. Sloane e Aaron D. Wyner. Nova York: ieee Press, 1993. p. xxxii.

37. John Archibald Wheeler, "Information, Physics, Quantum: The Search for Links", *Proceedings of the Third International Symposium on the Foundations of Quantum Mechanics* (1989), p. 368.

14. o transbordamento

1. Hilary Mantel, *Wolf Hall*. Nova York: Henry Holt, 2009. p. 394.

2. Jorge Luis Borges, "The Library of Babel", em *Labyrinths: Selected Stories and Other Writings*. Nova York: New Directions, 1962. p. 54.

3. Jorge Luis Borges, "Tlön, Uqbar, Orbis Tertius", em *Labyrinths*, p. 8.

4. William Gibson, "An Invitation", introdução a *Labyrinths*, p. xii.

5. Charles Babbage, *The Ninth Bridgewater Treatise: A Fragment*. 2. ed. Londres: John Murray, 1838. p. 111.

6. Edgar Allan Poe, "The Power of Words" (1845), em *Poetry and Tales*. Nova York: Library of America, 1984. pp. 823-4.

7. Pierre-Simon Laplace, *A Philosophical Essay on Probabilities*. Trad. de Frederick Wilson Truscott e Frederick Lincoln Emory. Nova York: Dover, 1951.

8. Charles Babbage, *The Ninth Bridgewater Treatise*, p. 44.

9. Nathaniel Parker Willis, “The Pencil of Nature: A New Discovery”, *The Corsair*, v. 1, n. 5, p. 72, abr. 1839.

10. Ibid., p. 71.

11. Alan M. Turing, “Computing Machinery and Intelligence”, *Minds and Machines*, v. 59, n. 236, p. 440, 1950.

12. H. G. Wells, *A Short History of the World*. San Diego: Book Tree, 2000. p. 97.

13. Isaac Disraeli, *Curiosities of Literature*. Londres: Routledge & Sons, 1893. p. 17.

14. Tom Stoppard, *Arcadia*. Londres: Samuel French, 1993. p. 38.

15. Wikipedia: Requested Articles. Disponível em: <http://web.archive.org/web/20010406104800/www.wikipedia.com/wiki/Requested_articles>. Acesso em: 4 abr. 2001.

16. Citado por Nicholson Baker em “The Charms of Wikipedia”, *New York Review of Books*, v. 55, n. 4, 20 mar. 2008. Posteriormente, o mesmo usuário anônimo atacou outra vez, vandalizando os verbetes referentes à angioplastia e a Sigmund Freud.

17. Lewis Carroll, *Sylvie and Bruno Concluded*. Londres: Macmillan, 1893. p. 169.

18. Entrevista ao autor, Jimmy Wales, 24 jul. 2008.

19. Disponível em: <http://meta.wikimedia.org/wiki/Die_Schraube_an_der_hinteren_linken_Bremsbacke_am_Fahrrad_von_Ul Acesso em: 25 jul. 2008.

20. *Encyclopaedia Britannica*, 3. ed., página do título; cf. Richard Yeo, *Encyclopædic Visions: Scientific Dictionaries and Enlightenment Culture*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001, p. 181.

21. “Wikipedia: What Wikipedia Is Not”. Disponível em: <http://en.wikipedia.org/wiki/Wikipedia:What_Wikipedia_is_not>. Acesso em: 3 ago. 2008.

22. Charles Dickens, *The Pickwick Papers*, cap. 51.

23. Nicholson Baker, “The Charms of Wikipedia”.

24. John Banville, *The Infinities*. Londres: Picador, 2009. p. 178.

25. Deming Seymour, “A New Yorker at Large”, *Sarasota Herald*, 25 ago. 1929.

26. “Regbureau”, *The New Yorker*, p. 16, 26 maio 1934.

27. Brian W. Ogilvie, *The Science of Describing: Natural History in Renaissance Europe*. Chicago: University of Chicago Press, 2006.

28. Ibid., p. 173.

29. Caspar Bauhin; ibid., p. 208.

30. Ernst Pulgram, *Theory of Names*. Berkeley, Califórnia: American Name Society, 1954. p. 3.

31. Michael Amrine, “‘Megabucks’ for What’s ‘Hot’”, *The New York Times Magazine*, 22 abr. 1951.

32. Jaron Lanier, *You Are Not a Gadget*. Nova York: Knopf, 2010. p. 8.

33. Cf. Tom Vanderbilt, “Data Center Overload”, *The New York Times Magazine*, 14 jun. 2009.

34. Seth Lloyd, “Computational Capacity of the Universe”, *Physical Review Letters*, v. 88, n. 23, 2002.

15. novas notícias todos os dias

1. Disponível em: <http://www.andrewtobias.com/bkoldcolumns/070118.html>. Acesso em: 18 jan. 2007.

2. Carl Bridenbaugh, “The Great Mutation”, *American Historical Review*, v. 68, n. 2, pp. 315-31, 1963.

3. Ibid., p. 322.

4. “Historical News”, *American Historical Review*, v. 63, n. 3, p. 880, abr. 1963.

5. Elizabeth L. Eisenstein, *The Printing Press as an Agent of Change: Communications and Cultural Transformations in Early-Modern Europe*. Cambridge: Cambridge University Press, 1979. p. 25.

6. Ibid., p. xvi.

7. Elizabeth L. Eisenstein, "Clio and Chronos: An Essay on the Making and Breaking of History-Book Time", *History and Theory*, v. 6, supl. 6: History and the Concept of Time, p. 64, 1966.

8. Ibid., p. 42.

9. Ibid., p. 61.

10. Elizabeth L. Eisenstein, *The Printing Press as an Agent of Change*, pp. 624 ss.

11. Carl Bridenbaugh, "The Great Mutation", p. 326.

12. Elizabeth L. Eisenstein, "Clio and Chronos", p. 39.

13. Robert Burton, *The Anatomy of Melancholy*. Organização de Floyd Dell e Paul Jordan-Smith. Nova York: Tudor, 1927. p. 14.

14. Gottfried Wilhelm Leibniz, *Leibniz Selections*, organização de Philip P. Wiener. Nova York: Scribner's, 1951. p. 29; cf. Marshall McLuhan, *The Gutenberg Galaxy.* Toronto: University of Toronto Press, 1962. p. 254.

15. Alexander Pope, *The Dunciad* (1729). Londres: Methuen, 1943. p. 41.

16. T.S. Eliot, "The Rock", em *Collected Poems: 1909-1962*. Nova York: Harcourt Brace, 1963. p. 147.

17. David Foster Wallace, introdução a *The Best American Essays 2007*. Nova York: Mariner, 2007.

18. Lewis Mumford, *The Myth of the Machine*. Nova York: Harcourt, Brace, 1970. v. 2: The Pentagon of Power, p. 182.

19. Jacob Palme, "You Have 134 Unread Mail! Do You Want to Read Them Now?", em *Computer-Based Message Services*. Organização de Hugh T. Smith. North Holland: Elsevier, 1984. pp. 175-6.

20. C. J. Bartlett e Calvin G. Green, "Clinical Prediction: Does One Sometimes Know Too Much", *Journal of Counseling Psychology*, v. 13, n. 3, pp. 267-70, 1966.

21. Siegfried Streufert et al., "Conceptual Structure, Information Search, and Information Utilization", *Journal of Personality and Social Psychology*, v. 2, n. 5, pp. 736-40, 1965.

22. Por exemplo, Naresh K. Malhotra, "Information Load and Consumer Decision Making", *Journal of Consumer Research*, n. 8, p. 419, mar. 1982.

23. Tonyia J. Tidline, "The Mythology of Information Overload", *Library Trends*, v. 47, n. 3, p. 502, inverno 1999.

24. Charles H. Bennett, "Demons, Engines, and the Second Law", *Scientific American*, v. 257, n. 5, p. 116, 1987.

25. G. Bernard Shaw ao Editor, *Whitaker's Almanack*, 31 maio 1943.

26. *The New York Times*, 8 out. 1929, p. 1.

27. Anthony Lane, "Byte Verse", *The New Yorker*, 20 fev. 1995, p. 108.

28. Daniel C. Dennett, "Memes and the Exploitation of Imagination", *Journal of Aesthetics and Art Criticism*, n. 48, p. 132, 1990.

29. Augustus De Morgan, *Arithmetical Books: From the Invention of Printing to the Present Time*. Londres: Taylor & Walton, 1847. p. ix.

30. Vincent of Beauvais, Prólogo, *Speculum Maius*, citado por Ann Blair, "Reading Strategies for Coping with Information Overload ca. 1550-1700", *Journal of the History of Ideas*, v. 64, n. 1, p. 12, 2003.

31. Ibid.

32. Brian W. Ogilvie, "The Many Books of Nature: Renaissance Naturalists and Information Overload",

*Journal of the History of Ideas*, v. 64, n. 1, p. 40, 2003.

33. Bertolt Brecht, *Radio Theory* (1927), citado por Kathleen Woodward, *The Myths of Information: Technology and Postindustrial Culture*. Madison: Coda Press, 1980.

epílogo

1. Jean-Pierre Dupuy, *The Mechanization of the Mind: On the Origins of Cognitive Science*. Trad. de M. B. DeBevoise. Princeton, Nova Jersey: Princeton University Press, 2000. p. 119.

2. Marshall McLuhan, *The Gutenberg Galaxy*. Toronto: University of Toronto Press, 1962. p. 1.

3. Marshall McLuhan, *Understanding Media: The Extensions of Man*. Nova York: McGraw-Hill, 1965. p. 3.

4. Walt Whitman, "Years of the Modern", *Leaves of Grass*. Garden City: Doubleday, 1919. p. 272.

5. Por exemplo, "Dois seres, ou dois milhões — qualquer que seja o número doravante posto 'em comunicação' — possuem todos uma só consciência". Parley Parker Pratt, *Key to the Science of Theology* (1855), citado por John Durham Peters, *Speaking into the Air: A History of the Idea of Communication*. Chicago: University of Chicago Press, 1999. p. 275.

6. "… isso corresponde a imaginar, acima da biosfera animal e como continuidade dela, uma esfera humana, a esfera da reflexão, da invenção consciente e livre, do pensamento propriamente dito, em resumo, a esfera da mente, ou noosfera." Édouard Le Roy, *Les Origines humaines et l'évolution de l'intelligence.* Paris: Boivin et Cie, 1928, citado e traduzido por M. J. Aronson, *Journal of Philosophy*, v. 27, n. 18, p. 499, 28 ago. 1930.

7. Pierre Teilhard de Chardin, *The Human Phenomenon*. Trad. de Sarah Appleton-Weber. Brighton: Sussex Academic Press, 1999. p. 174.

8. *Mind*, v. 70, n. 277, p. 99, 1961. Medawar também não gostava muito da prosa de Teilhard: "uma prosa-poética inebriada e eufórica que é uma das manifestações mais vexatórias do espírito francês".

9. Talvez o primeiro e mais notável tenha sido Olaf Stapledon, *Last and First Men.* Londres: Methuen, 1930.

10. H. G. Wells, *World Brain*. Londres: Methuen, 1938. p. xiv.

11. Ibid., p. 56.

12. Ibid., p. 63.

13. H. G. Wells, *The Passionate Friends.* Londres: Harper, 1913. p. 332; H. G. Wells, *The War in the Air.* Nova York: Macmillan, 1922. p. 14.

14. Citado por Flo Conway e Jim Siegelman, *Dark Hero of the Information Age: In Search of Norbert Wiener, the Father of Cybernetics*. Nova York: Basic Books, 2005. p. 189.

15. Jorge Luis Borges, "The Library of Babel", *Labyrinths: Selected Stories and Other Writings*. Nova York: New Directions, 1962. p. 54.

16. Fred I. Dretske, *Knowledge and the Flow of Information.* Cambridge: mit Press, 1981. p. vii.

17. Jean-Pierre Dupuy, "Myths of the Informational Society", em Kathleen Woodward, *The Myths of Information*: *Technology and Postindustrial Culture*. Madison: Coda, 1980. p. 3.

18. Dexter Palmer, *The Dream of Perpetual Motion*. Nova York: St. Martin's, 2010. p. 220.

19. Gottfried Wilhelm Leibniz, *De scientia universali seu calculo philosophico*, 1875; cf. Umberto Eco, *The Search for the Perfect Language*, trad. de James Fentress. Malden, Mass.: Blackwell, 1995, p. 281.

20. Margaret Atwood, "Atwood in the Twittersphere", blog da *The New York Review of Books*. Disponível em: <http://www.nybooks.com/blogs/nyrblog/2010/mar/29/atwood-in-the-twittersphere/>. Acesso em: 29 mar. 2010.

21. Charles Mackay, *Memoirs of Extraordinary Popular Delusions*. Filadélfia: Lindsay & Blakiston,

1850. p. 14.

22. Nicholson Baker, “Discards” (1994), em *The Size of Thoughts: Essays and Other Lumber*. Nova York: Random House, 1996. p.168.

23. Entrevista ao autor, Allan Jennings, fev. 1996; James Gleick, “Here Comes the Spider”, em *What Just Happened: A Chronicle from the Information Frontier.* Nova York: Pantheon, 2002.pp. 128-32.

24. John Guare, *Six Degrees of Separation*. Nova York: Dramatists Play Service, 1990. p. 45.

25. Albert-László Barabási, *Linked*. Nova York: Plume, 2003. pp. 26 ss.

26. Duncan J. Watts e Steven H. Strogatz, “Collective Dynamics of ‘Small-World’ Networks”, *Nature*, n. 393, pp. 440-2, 1998; também Duncan J. Watts, *Six Degrees: The Science of a Connected Age*. Nova York: Norton, 2003; Albert-László Barabási, *Linked*.

27. Duncan J. Watts e Steven H. Strogatz, “Collective Dynamics of ‘Small-World’ Networks”, p. 442.

28. Stanislaw Lem, *The Cyberiad*. Trad. de Michael Kandel. Londres: Secker & Warburg, 1975. p. 155.

29. Jorge Luis Borges, “The Library of Babel”, *Labyrinths*, p. 54.

30. John Donne, “From a Sermon Preached before King Charles i” (abr. 1627).

# Bibliografia


aaboe, Asger. *Episodes from the Early History of Mathematics*. Nova York: L. W. Singer, 1963.

adams, Frederick. “The Informational Turn in Philosophy”. *Minds and Machines*, n. 13, pp. 471-501, 2003.

allen, William; thompson, Thomas R. H. *A Narrative of the Expedition to the River Niger in 1841*. Londres: Richard Bentley, 1848.

archer, Charles Maybury (Org.). *The London Anecdotes: The Electric Telegraph*. Londres: David Bogue, 1848. v. 1.

archibald, Raymond Clare. “Seventeenth Century Calculating Machines”. *Mathematical Tables and Other Aids to Computation*, v. 1, n. 1, pp. 27-8, 1943.

aspray, William. *From Mathematical Constructivity to Computer Science: Alan Turing, John von Neumann, and the Origins of Computer Science in Mathematical Logic*. Madison: Universidade de Wisconsin-Madison, 1980. Tese de doutorado.

_____. “The Scientific Conceptualization of Information: A Survey”. *Annals of the History of Computing*, v. 7, n. 2, pp. 117-40, 1985.

aunger, Robert (Org.). *Darwinizing Culture: The Status of Memetics as a Science*. Oxford: Oxford University Press, 2000.

avery, John. *Information Theory and Evolution*. Cingapura: World Scientific, 2003.

baars, Bernard J. *The Cognitive Revolution in Psychology*. Nova York: Guilford, 1986.

babbage, Charles. “On a Method of Expressing by Signs the Action of Machinery”. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London* 116, n. 3, pp. 250-65, 1826.

_____. *Reflections on the Decline of Science in England and on Some of Its Causes*. Londres: B. Fellowes, 1830.

babbage, Charles. *Table of the Logarithms of the Natural Numbers, From 1 to 108,000*. Londres: B. Fellowes, 1831.

_____. *On the Economy of Machinery and Manufactures*. 4. ed. Londres: Charles Knight, 1835.

_____. *The Ninth Bridgewater Treatise: A Fragment*. 2. ed. Londres: John Murray, 1838.

_____. *Passages from the Life of a Philosopher*. Londres: Longman, Green, Longman, Roberts & Green, 1864.

_____. *Charles Babbage and His Calculating Engines: Selected Writings*. Organização de Philip Morrison e Emily Morrison. Nova York: Dover Publications, 1961.

_____. *The Analytical Engine and Mechanical Notation*. Nova York: New York University Press, 1989.

_____. *The Difference Engine and Table Making*. Nova York: New York University Press, 1989.

_____. *The Works of Charles Babbage*. Organização de Martin Campbell-Kelly. Nova York: New York University Press, 1989.

babbage, Henry Prevost (Org.). *Babbage’s Calculating Engines: Being a Collection of Papers Relating to Them; Their History and Construction*. Londres: E. & F. N. Spon, 1889.

bairstow, Jeff. “The Father of the Information Age”. *Laser Focus World* (2002), p. 114.

baker, Nicholson. *The Size of Thoughts: Essays and Other Lumber*. Nova York: Random House, 1996.

ball, W. W. Rouse. *A History of the Study of Mathematics at Cambridge*. Cambridge: Cambridge

University Press, 1889.

bar-hillel, Yehoshua. “An Examination of Information Theory”. *Philosophy of Science*, v. 22, n. 2, pp. 86-105, 1955.

barabási, Albert-László. *Linked: How Everything Is Connected to Everything Else and What It Means for Business, Science, and Everyday Life*. Nova York: Plume, 2003.

barnard, G. A. “The Theory of Information”. *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*, v. 13, n. 1, pp. 46-64, 1951.

baron, Sabrina Alcorn; lindquist, Eric N.; shevlin, Eleanor F. *Agent of Change: Print Culture Studies After Elizabeth L. Eisenstein*. Amherst: University of Massachusetts Press, 2007.

bartlett, C. J.; green, Calvin G. “Clinical Prediction: Does One Sometimes Know Too Much”. *Journal of Counseling Psychology*, v. 13, n. 3, pp. 267-70, 1966.

barwise, Jon. “Information and Circumstance”. *Notre Dame Journal of Formal Logic*, v. 27, n. 3, pp. 324-38, 1986.

battelle, John. *The Search: How Google and Its Rivals Rewrote the Rules of Business and Transformed Our Culture*. Nova York: Portfolio, 2005.

baugh, Albert C. *A History of the English Language*. 2. ed. Nova York: Appleton-Century-Crofts, 1957.

baum, Joan. *The Calculating Passion of Ada Byron*. Hamden: Shoe String, 1986.

belot, Gordon; earman, John; ruetsche, Laura. “The Hawking Information Loss Paradox: The Anatomy of a Controversy”. *British Journal for the Philosophy of Science*, n. 50, pp. 189-229, 1999.

benjamin, Park. *A History of Electricity* (*the Intellectual Rise in Electricity*) *from Antiquity to the Days of Benjamin Franklin*. Nova York: Wiley and Sons, 1898.

bennett, Charles H. “On Random and Hard-to-Describe Numbers”. ibm Watson Research Center Report rc 7483, 1979.

_____. “The Thermodynamics of Computation: A Review”. *International Journal of Theoretical Physics*, v. 21, n. 12, pp. 906-40, 1982.

_____. “Dissipation, Information, Computational Complexity and the Definition of Organization”. *Emerging Syntheses in Science*. Organização de D. Pines. Santa Fe: Santa Fe Institute, 1985. pp. 297-313.

_____. “Demons, Engines, and the Second Law”. *Scientific American*, v. 257, n. 5, pp. 108-16, 1987.

_____. “Logical Depth and Physical Complexity”. In: herken, Rolf (Org.). *The Universal Turing Machine: A Half-Century Survey*. Oxford: Oxford University Press, 1988.

_____. “How to Define Complexity in Physics, and Why.” In: zurek, W. H. (Org.). *Complexity, Entropy, and the Physics of Information*. Reading: Addison-Wesley, 1990.

_____. “Notes on the History of Reversible Computation”. *ibm Journal of Research and Development* 44, pp. 270-77, 2000.

_____. “Notes on Landauer’s Principle, Reversible Computation, and Maxwell’s Demon”. *arXiv:physics* 0210005 v2 (2003).

_____. “Publicity, Privacy, and Permanence of Information”. In: goswami, Debabrata (Org.). *Quantum Computing: Back Action 2006, AIP Conference Proceedings 864*. Melville: American Institute of Physics, 2006.

bennett, Charles H.; brassard, Gilles. “Quantum Cryptography: Public Key Distribution and Coin Tossing”. *Proceedings of IEEE International Conference on Computers, Systems and Signal Processing*,

pp. 175-9. Bangalore: 1984.

bennett, Charles H.; brassard, Gilles; crépeau, Claude; jozsa, Richard; peres, Asher; wootters, William K. “Teleporting an Unknown Quantum State Via Dual Classical and Einstein-Podolsky-Rosen Channels”. *Physical Review Letters* 70, pp. 1895, 1993.

bennett, Charles H.; landauer, Rolf. “Fundamental Physical Limits of Computation”. *Scientific American* 253, n. 1, pp. 48-56, 1985.

bennett, Charles H.; li, Ming; ma, Bin. “Chain Letters and Evolutionary Histories”. *Scientific American* 288, n. 6, pp. 76-81, jun. 2003.

benzer, Seymour. “The Elementary Units of Heredity”. In: mcelroy, W. D.; glass, B. (Org.). *The Chemical Basis of Heredity*, pp. 70-93. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1957.

berlinski, David. *The Advent of the Algorithm: The Idea That Rules the World*. Nova York: Harcourt, 2000.

bernstein, Jeremy. *The Analytical Engine: Computers—Past, Present and Future*. Nova York: Random House, 1963.

bikhchandani, Sushil; hirshleifer, David; welch, Ivo. “A Theory of Fads, Fashion, Custom, and Cultural Change as Informational Cascades”. *Journal of Political Economy* 100, n. 5, pp. 992-1026, 1992.

blackmore, Susan. *The Meme Machine*. Oxford: Oxford University Press, 1999.

blair, Ann. “Reading Strategies for Coping with Information Overload ca. 1550-1700”. *Journal of the History of Ideas* 64, n. 1, pp. 11-28, 2003.

blohm, Hans; beer, Stafford; suzuki, David. *Pebbles to Computers: The Thread*. Toronto: Oxford University Press, 1986.

boden, Margaret A. *Mind as Machine: A History of Cognitive Science*. Oxford: Oxford University Press, 2006.

bollobás, Béla; riordan, Oliver. *Percolation*. Cambridge: Cambridge University Press, 2006.

bolter, J. David. *Turing’s Man: Western Culture in the Computer Age*. Chapel Hill: University of North Carolina Press, 1984.

boole, George. “The Calculus of Logic”. *Cambridge and Dublin Mathematical Journal* 3, pp. 183-98, 1848.

_____. *An Investigation of the Laws of Thought, on Which Are Founded the Mathematical Theories of Logic and Probabilities*. Londres: Walton & Maberly, 1854.

_____. *Studies in Logic and Probability*, vol. 1. La Salle: Open Court, 1952.

borges, Jorge Luis. *Labyrinths: Selected Stories and Other Writings*. Nova York: New Directions, 1962.

bouwmeester, Dik; pan, Jian-Wei; mattle, Klaus; eibl, Manfred; weinfurter, Harald; zeilinger, Anton. “Experimental Quantum Teleportation”. *Nature* 390, pp. 575-9, 11 dez. 1997.

bowden, B. V. (Org.). *Faster Than Thought: A Symposium on Digital Computing Machines*. Nova York: Pitman, 1953.

braitenberg, Valentino. *Vehicles: Experiments in Synthetic Psychology*. Cambridge: mit Press, 1984.

brewer, Charlotte. “Authority and Personality in the *Oxford English Dictionary*”. *Transactions of the Philological Society* 103, n. 3, pp. 261-301, 2005.

brewster, David. *Letters on Natural Magic*. Nova York: Harper & Brothers, 1843.

brewster, Edwin Tenney. *A Guide to Living Things*. Garden City: Doubleday, 1913.

bridenbaugh, Carl. “The Great Mutation”. *American Historical Review* 68, n. 2, pp. 315-31, 1963.

briggs, Henry. *Logarithmicall Arithmetike: Or Tables of Logarithmes for Absolute Numbers from an Unite to 100000*. Londres: George Miller, 1631.

brillouin, Léon. *Science and Information Theory*. Nova York: Academic Press, 1956.

broadbent, Donald E. *Perception and Communication*. Oxford: Pergamon Press, 1958.

bromley, Allan G. "The Evolution of Babbage's Computers". *Annals of the History of Computing* 9, pp. 113-36, 1987.

brown, John Seely; duguid, Paul. *The Social Life of Information*. Boston: Harvard Business School Press, 2002.

browne, Thomas. *Pseudoxia Epidemica: Or, Enquiries into Very Many Received Tenents, and Commonly Presumed Truths*. 3. ed. Londres: Nath. Ekins, 1658.

bruce, Robert V. *Bell: Alexander Graham Bell and the Conquest of Solitude*. Boston: Little, Brown, 1973.

buckland, Michael K. "Information as Thing". *Journal of the American Society for Information Science* 42, pp. 351-60, 1991.

burchfield, R. W.; aarsleff, Hans. *Oxford English Dictionary and the State of the Language*. Washington, D.C.: Biblioteca do Congresso, 1988.

burgess, Anthony. *But Do Blondes Prefer Gentlemen? Homage to Qwert Yuiop and Other Writings*. Nova York: McGraw-Hill, 1986.

bush, Vannevar. "As We May Think". *The Atlantic*, jul. 1945.

butler, Samuel. *Life and Habit*. Londres: Trübner & Co, 1878.

_____. *Essays on Life, Art, and Science*. Organização de R. A Streatfeild. Port Washington: Kennikat Press, 1970.

buxton, H. W; hyman, Anthony. *Memoir of the Life and Labours of the Late Charles Babbage Esq., F.R.S*. V. 13 da Charles Babbage Institute Reprint Series for the History of Computing. Cambridge: mit Press, 1988.

calude, Cristian S. *Information and Randomness: An Algorithmic Perspective*. Berlim: Springer, 2002.

calude, Cristian S.; chaitin, Gregory J. *Randomness and Complexity: From Leibniz to Chaitin*. Cingapura, Hackensack: World Scientific, 2007.

campbell-kelly, Martin. "Charles Babbage's Table of Logarithms (1827)". *Annals of the History of Computing* 10, pp. 159-69, 1988.

campbell-kelly, Martin; aspray, William. *Computer: A History of the Information Machine*. Nova York: Basic Books, 1996.

campbell-kelly, Martin; croarken, Mary; flood, Raymond; robson, Eleanor (orgs.). *The History of Mathematical Tables: From Sumer to Spreadsheets*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

campbell, Jeremy. *Grammatical Man: Information, Entropy, Language, and Life*. Nova York: Simon & Schuster, 1982.

campbell, Robert V. D. "Evolution of Automatic Computation". In: *Proceedings of the 1952 ACM National Meeting* (*Pittsburgh*). Nova York: acm, 1952, pp. 29-32.

carr, Nicholas. *The Big Switch: Rewiring the World, from Edison to Google*. Nova York: Norton, 2008.

_____. *The Shallows: What the Internet Is Doing to Our Brains*. Nova York: Norton, 2010.

carrington, John F. *A Comparative Study of Some Central African Gong-Languages*. Bruxelas: Falk, G. van Campenhout, 1949.

_____. *The Talking Drums of Africa*. Londres: Carey Kingsgate, 1949.

_____. *La Voix des tambours: comment comprendre le langage tambouriné d'Afrique*. Kinshasa: Centre Protestant d'Éditions et de Diffusion, 1974.

casson, Herbert N. *The History of the Telephone*. Chicago: A. C. McClurg, 1910.

cawdrey, Robert. *A Table Alphabeticall of Hard Usual English Words* (*1604*)*; the First English Dictionary*. Gainesville: Scholars' Facsimiles & Reprints, 1966.

ceruzzi, Paul. *A History of Modern Computing*. Cambridge: mit Press, 2003.

chaitin, Gregory J. "On the Length of Programs for Computing Finite Binary Sequences". *Journal of the Association for Computing Machinery* 13, pp. 547-69, 1966.

_____. "Information-Theoretic Computational Complexity". *IEEE Transactions on Information Theory* 20, pp. 10-5, 1974.

_____. *Information, Randomness & Incompleteness: Papers on Algorithmic Information Theory*. Cingapura: World Scientific, 1987.

_____. *Algorithmic Information Theory*. Cambridge: Cambridge University Press, 1990.

_____. *At Home in the Universe*. Woodbury: American Institute of Physics, 1994.

_____. *Conversations with a Mathematician*. Londres: Springer, 2002.

_____. *Meta Math: The Quest for Omega*. Nova York: Pantheon, 2005.

chaitin, Gregory J. "The Limits of Reason." *Scientific American* 294, n. 3, p. 74, mar. 2006.

_____. *Thinking About Gödel and Turing: Essays on Complexity, 1970-2007*. Cingapura: World Scientific, 2007.

chandler, Alfred D.; cortada, James W. (Orgs.). "A Nation Transformed By Information: How Information Has Shaped the United States from Colonial Times to the Present". (2000).

chentsov, Nicolai N. "The Unfathomable Influence of Kolmogorov". *The Annals of Statistics* 18, n. 3, pp. 987-98, 1990.

cherry, E. Colin. "A History of the Theory of Information". *Transactions of the IRE Professional Group on Information Theory* 1, n. 1, pp. 22-43, 1953.

_____. *On Human Communication*. Cambridge: mit Press, 1957.

chomsky, Noam. "Three Models for the Description of Language". *IRE Transactions on Information Theory* 2, n. 3, pp. 113-24, 1956.

_____. *Reflections on Language*. Nova York: Pantheon, 1975.

chrisley, Ronald (Org.). *Artificial Intelligence: Critical Concepts*. Londres: Routledge, 2000.

church, Alonzo. "On the Concept of a Random Sequence". *Bulletin of the American Mathematical Society* 46, n. 2, pp. 130-5, 1940.

churchland, Patricia S.; sejnowski, Terrence J. *The Computational Brain*. Cambridge: mit Press, 1992.

cilibrasi, Rudi; vitanyi, Paul. "Automatic Meaning Discovery Using Google." *arXiv:cs.CL/0412098 v2*, 2005.

clanchy, M. T. *From Memory to Written Record, England, 1066-1307*. Cambridge: Harvard University Press, 1979.

clarke, Roger T. "The Drum Language of the Tumba People". *American Journal of Sociology* 40, n. 1, pp. 34-48, 1934.

clayton, Jay. *Charles Dickens in Cyberspace: The Afterlife of the Nineteenth Century in Postmodern Culture*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

clerke, Agnes M. *The Herschels and Modern Astronomy*. Nova York: Macmillan, 1895.

coe, Lewis. *The Telegraph: A History of Morse's Invention and Its Predecessors in the United States*. Jefferson: McFarland, 1993.

colton, F. Barrows. "The Miracle of Talking by Telephone". *National Geographic* 72 , pp. 395-433, 1937.

conway, Flo; siegelman, Jim. *Dark Hero of the Information Age: In Search of Norbert Wiener, the Father of Cybernetics*. Nova York: Basic Books, 2005.

cooke, William Fothergill. *The Electric Telegraph: Was It Invented by Professor Wheatstone?* Londres: W. H. Smith & Son, 1857.

coote, Edmund. *The English Schoole-maister*. Londres: Ralph Jackson & Robert Dexter, 1596.

cordeschi, Roberto. *The Discovery of the Artificial: Behavior, Mind, and Machines Before and Beyond Cybernetics*. Dordrecht: Springer, 2002.

cortada, James W. *Before the Computer*. Princeton: Princeton University Press, 1993.

cover, Thomas M.; gacs, Peter; gray, Robert M. "Kolmogorov's Contributions to Information Theory and Algorithmic Complexity". *The Annals of Probability* 17, n. 3, pp. 840-65, 1989.

craven, Kenneth. *Jonathan Swift and the Millennium of Madness: The Information Age in Swift's Tale of a Tub*. Leiden: E. J. Brill, 1992.

crick, Francis. "On Protein Synthesis". *Symposium of the Society for Experimental Biology* 12, pp. 138-63, 1958.

_____. "Central Dogma of Molecular Biology". *Nature* 227, pp. 561-63, 1970.

_____. *What Mad Pursuit*. Nova York: Basic Books, 1988.

croarken, Mary. "Tabulating the Heavens: Computing the Nautical Almanac in 18th-Century England". *IEEE Annals of the History of Computing* 25, n. 3, pp. 48-61, 2003.

_____. "Mary Edwards: Computing for a Living in 18th-Century England". *IEEE Annals of the History of Computing* 25, n. 4, pp. 9-15, 2003.

crowley, David; heyer, Paul (Org.). *Communication in History: Technology, Culture, Society*. Boston: Allyn and Bacon, 2003.

crowley, David; mitchell, David (Org.). *Communication Theory Today*. Stanford: Stanford University Press, 1994.

daly, Lloyd W. *Contributions to a History of Alphabeticization in Antiquity and the Middle Ages*. Bruxelas: Latomus, 1967.

danielsson, Ulf H.; schiffer, Marcelo. "Quantum Mechanics, Common Sense, and the Black Hole Information Paradox". *Physical Review D* 48, n. 10, pp. 4779-84, 1993.

darrow, Karl K. "Entropy". *Proceedings of the American Philosophical Society* 87, n. 5, pp. 365-7, 1944.

davis, Martin. *The Universal Computer: The Road from Leibniz to Turing*. Nova York: Norton, 2000.

dawkins, Richard. "In Defence of Selfish Genes". *Philosophy* 56, n. 218, pp. 556-73, 1981.

_____. *The Blind Watchmaker*. Nova York: Norton, 1986.

_____. *The Extended Phenotype*. Edição revisada. Oxford: Oxford University Press, 1999.

_____. *The Selfish Gene*. 30th anniversary edition. Oxford: Oxford University Press, 2006.

de chadarevian, Soraya. "The Selfish Gene at 30: The Origin and Career of a Book and Its Title". *Notes and Records of the Royal Society* 61, pp. 31-8, 2007.

de morgan, Augustus. *Arithmetical Books: From the Invention of Printing to the Present Time*.

Londres: Taylor & Walton, 1847.

de morgan, Sophia Elizabeth. *Memoir of Augustus De Morgan*. Londres: Longmans, Green, 1882.

delbrück, Max. “A Physicist Looks at Biology”. *Transactions of the Connecticut Academy of Arts and Sciences* 38, pp. 173-90, 1949.

delius, Juan D. “Of Mind Memes and Brain Bugs, a Natural History of Culture”. In: koch, Walter A. (Org.). *The Nature of Culture*. Bochum: Bochum, 1989.

denbigh, K. G.; denbigh, J. S. *Entropy in Relation to Incomplete Knowledge*. Cambridge: Cambridge University Press, 1984.

dennett, Daniel C. “Memes and the Exploitation of Imagination”. *Journal of Aesthetics and Art Criticism* 48, pp. 127-35, 1990.

_____. *Consciousness Explained*. Boston: Little, Brown, 1991.

_____. *Darwin’s Dangerous Idea: Evolution and the Meanings of Life*. Nova York: Simon & Schuster, 1995.

_____. *Brainchildren: Essays on Designing Minds*. Cambridge: mit Press, 1998.

desmond, Adrian; moore, James. *Darwin*. Londres: Michael Joseph, 1991.

díaz vera, Javier E. *A Changing World of Words: Studies in English Historical Lexicography, Lexicology and Semantics*. Amsterdam: Rodopi, 2002.

dilts, Marion May. *The Telephone in a Changing World*. Nova York: Longmans, Green, 1941.

diringer, David; regensburger, Reinhold. *The Alphabet: A Key to the History of Mankind*. 3. ed. Nova York: Funk & Wagnalls, 1968.

dretske, Fred I. *Knowledge and the Flow of Information*. Cambridge: mit Press, 1981.

duane, Alexander. “Sight and Signalling in the Navy”. *Proceedings of the American Philosophical Society* 55, n. 5, pp. 400-14, 1916.

dubbey, J. M. *The Mathematical Work of Charles Babbage*. Cambridge: Cambridge University Press, 1978.

dupuy, Jean-Pierre. *The Mechanization of the Mind: On the Origins of Cognitive Science*. Tradução de M. B. DeBevoise. Princeton: Princeton University Press, 2000.

dyson, George B. *Darwin Among the Machines: The Evolution of Global Intelligence*. Cambridge: Perseus, 1997.

eco, Umberto. *The Search for the Perfect Language*. Tradução de James Fentress. Malden: Blackwell, 1995.

edwards, P. N. *The Closed World: Computers and the Politics of Discourse in Cold War America*. Cambridge: mit Press, 1996.

eisenstein, Elizabeth L. “Clio and Chronos: An Essay on the Making and Breaking of History-Book Times”. In: *History and Theory* Suppl. 6: History and the Concept of Time (1966), pp. 36-64.

_____. *The Printing Press as an Agent of Change: Communications and Cultural Transformations in Early-Modern Europe*. Cambridge: Cambridge University Press, 1979.

ekert, Artur. “Shannon’s Theorem Revisited.” *Nature* 367, pp. 513-4, 1994.

_____. “From Quantum Code-Making to Quantum Code-Breaking”. *arXiv:quant-ph/ 9703035 v1*, 1997.

elias, Peter. “Two Famous Papers”. *IRE Transactions on Information Theory* 4, n. 3, p. 99, 1958.

emerson, Ralph Waldo. *Society and Solitude*. Boston: Fields, Osgood, 1870.

everett, Edward. “The Uses of Astronomy”. In: *Orations and Speeches on Various Occasions*.

Boston: Little, Brown, 1870, pp. 422-65.

fahie, J. J. *A History of Electric Telegraphy to the Year 1837*. Londres: E. & F. N. Spon, 1884.

fauvel, John; jeremy Gray. *The History of Mathematics: A Reader*. Mathematical Association of America, 1997.

feferman, Solomon (Org.). *Kurt Gödel: Collected Works*. Nova York: Oxford University Press, 1986.

feynman, Richard P. *The Character of Physical Law*. Nova York: Modern Library, 1994.

_____. *Feynman Lectures on Computation*. Organização de Anthony J. G. Hey e Robin W. Allen. Boulder: Westview Press, 1996.

finnegan, Ruth. *Oral Literature in Africa*. Oxford: Oxford University Press, 1970.

fischer, Claude S. *America Calling: A Social History of the Telephone to 1940*. Berkeley: University of California Press, 1992.

ford, Joseph. "Directions in Classical Chaos". In: bai-lin, Hao (Org.). *Directions in Chaos*. Cingapura: World Scientific, 1987.

franksen, Ole I. "Introducing 'Mr. Babbage's Secret' ". *APL Quote Quad* 15, n. 1, pp. 14-7, 1984.

friedman, William F. "Edgar Allan Poe, Cryptographer." *American Literature* 8, n. 3, pp. 266-80, 1936.

fuchs, Christopher A. "Notes on a Paulian Idea: Foundational, Historical, Anecdotal and Forward-Looking Thoughts on the Quantum". *arXiv:quant-ph/0105039*, 2001.

_____. "Quantum Mechanics as Quantum Information (and Only a Little More)", 2002. *arXiv:quant-ph/0205039 v1*, 8 de maio de 2001.

_____. "QBism, the Perimeter of Quantum Bayesianism", *arXiv:quant-ph/1003.5209 vi*, 2010.

_____. *Coming of Age with Quantum Information: Notes on a Paulian Idea*. Cambridge: Cambridge University Press, 2010.

galison, Peter. *Image and Logic: A Material Culture of Microphysics*. Chicago: University of Chicago Press, 1997.

gallager, Robert G. "Claude E. Shannon: A Retrospective on His Life, Work, and Impact". *IEEE Transactions on Information* 47, n. 7, pp. 2681-95, 2001.

gamow, George. "Possible Relation Between Deoxyribonucleic Acid and Protein Structures". *Nature* 173, p. 318, 1954.

_____. "Information Transfer in the Living Cell". *Scientific American* 193, n. 10, p. 70, out. 1955.

gardner, Martin. *Hexaflexagons and Other Mathematical Diversions*. Chicago: University of Chicago Press, 1959.

_____. *Martin Gardner's Sixth Book of Mathematical Games from Scientific American*. San Francisco: W. H. Freeman, 1963.

gasser, James (Org.). *A Boole Anthology: Recent and Classical Studies in the Logic of George Boole*. Dordrecht: Kluwer, 2000.

gell-mann, Murray; lloyd, Seth. "Information Measures, Effective Complexity, and Total Information". *Complexity* 2, n. 1, pp. 44-52, 1996.

genosko, Gary. *Marshall McLuhan: Critical Evaluations in Cultural Theory*. Abingdon: Routledge, 2005.

geoghegan, Bernard Dionysius. "The Historiographic Conceptualization of Information: A Critical Survey". *Annals of the History of Computing*, pp. 66-81, 2008.

gerovitch, Slava. *From Newspeak to Cyberspeak: A History of Soviet Cybernetics*. Cambridge: mit

Press, 2002.

gilbert, E. N. “Information Theory After 18 Years”. *Science* 152, n. 3720, pp. 320-26, 1966.

gilder, Louisa. *The Age of Entanglement: When Quantum Physics Was Reborn*. Nova York: Knopf, 2008.

gilliver, Peter; marshall, Jeremy; weiner, Edmund. *The Ring of Words: Tolkien and the Oxford English Dictionary*. Oxford: Oxford University Press, 2006.

gitelman, Lisa; pingree, Geoffrey B. (Orgs.). *New Media 1740-1915*. Cambridge: mit Press, 2003.

glassner, Jean-Jacques. *The Invention of Cuneiform*. Tradução e organização de Zainab Bahrani e Marc Van De Mieroop. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2003.

gleick, James. *Chaos: Making a New Science*. Nova York: Viking, 1987.

_____. “The Lives They Lived: Claude Shannon, B. 1916; Bit Player.” *New York Times Magazine*, n. 48, 30 dez 2001.

gleick, James. *What Just Happened: A Chronicle from the Information Frontier*. Nova York: Pantheon, 2002.

gödel, Kurt. “Russell’s Mathematical Logic” (1944). In: feferman, Solomon (Org.). *Kurt Gödel: Collected Works*, v. 2, p. 119. Nova York: Oxford University Press, 1986.

goldsmid, Frederic John. *Telegraph and Travel: A Narrative of the Formation and Development of Telegraphic Communication Between England and India, Under the Orders of Her Majesty’s Government, With Incidental Notices of the Countries Traversed By the Lines*. Londres: Macmillan, 1874.

goldstein, Rebecca. *Incompleteness: The Proof and Paradox of Kurt Gödel*. Nova York: Atlas, 2005.

goldstine, Herman H. “Information Theory”. *Science* 133, n. 3462, pp. 1395-99, 1961.

_____. *The Computer: From Pascal to Von Neumann*. Princeton: Princeton University Press, 1973.

goodwin, Astley J. H. *Communication Has Been Established*. Londres: Methuen, 1937.

goody, Jack. *The Domestication of the Savage Mind*. Cambridge: Cambridge University Press, 1977.

_____. *The Interface Between the Written and the Oral*. Cambridge: Cambridge University Press, 1987.

goody, Jack; watt, Ian. “The Consequences of Literacy”. *Comparative Studies in Society and History* 5, n. 3, pp. 304-45, 1963.

goonatilake, Susantha. *The Evolution of Information: Lineages in Gene, Culture and Artefact*. Londres: Pinter, 1991.

gorman, Michael E. *Transforming Nature: Ethics, Invention and Discovery*. Boston: Kluwer Academic, 1998.

gould, Stephen Jay. *The Panda’s Thumb*. Nova York: Norton, 1980.

_____. “Humbled by the Genome’s Mysteries”. *The New York Times*, 19 fev. 2001.

grafen, Alan; ridley, Mark (Org.). *Richard Dawkins: How a Scientist Changed the Way We Think*. Oxford: Oxford University Press, 2006.

graham, A. C. *Studies in Chinese Philosophy and Philosophical Literature*. V. suny Series in Chinese Philosophy and Culture. Albany: State University of New York Press, 1990.

green, Jonathon. *Chasing the Sun: Dictionary Makers and the Dictionaries They Made*. Nova York: Holt, 1996.

gregersen, Niels Henrik (Org.). *From Complexity to Life: On the Emergence of Life and Meaning*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

griffiths, Robert B. “Nature and Location of Quantum Information”. *Physical Review A* 66 (2002), 012311-1.

grünwald, Peter; vitányi, Paul. “Shannon Information and Kolmogorov Complexity”. *arXiv:cs.IT/0410002 v1*, 8 ago. 2005.

guizzo, Erico Mariu. “The Essential Message: Claude Shannon and the Making of Information Theory”. Tese de mestrado, Massachusetts Institute of Technology, set. 2003.

gutfreund, H.; toulouse, G. *Biology and Computation: A Physicist’s Choice*. Cingapura: World Scientific, 1994.

hailperin, Theodore. “Boole’s Algebra Isn’t Boolean Algebra”. *Mathematics Magazine* 54, n. 4, pp. 172-84, 1981.

halstead, Frank G. “The Genesis and Speed of the Telegraph Codes”. *Proceedings of the American Philosophical Society* 93, n. 5, pp. 448-58, 1949.

halverson, John. “Goody and the Implosion of the Literacy Thesis”. *Man* 27, n. 2, pp, 301-17, 1992.

harlow, Alvin F. *Old Wires and New Waves*. Nova York: D. Appleton-Century, 1936.

harms, William F. “The Use of Information Theory in Epistemology”. *Philosophy of Science* 65, n. 3, pp. 472-501, 1998.

harris, Roy. *Rethinking Writing*. Bloomington: Indiana University Press, 2000.

hartley, Ralph V. L. “Transmission of Information”. *Bell System Technical Journal* 7, pp. 535-63, 1928.

havelock, Eric A. *Preface to Plato*. Cambridge: Harvard University Press, 1963.

_____. *The Muse Learns to Write: Reflections on Orality and Literacy from Antiquity to the Present*. New Haven: Yale University Press, 1986.

havelock, Eric Alfred; hershbell, Jackson P. *Communication Arts in the Ancient World*. Nova York: Hastings House, 1978.

hawking, Stephen. *God Created the Integers: The Mathematical Breakthroughs That Changed History*. Filadélfia: Running Press, 2005.

_____. “Information Loss in Black Holes”. *Physical Review D* 72, *arXiv:hep-th/0507 171v2*, 2005.

hayles, N. Katherine. *How We Became Posthuman: Virtual Bodies in Cybernetics, Literature, and Informatics*. Chicago: University of Chicago Press, 1999.

headrick, Daniel R. *When Information Came of Age: Technologies of Knowledge in the Age of Reason and Revolution, 1700-1850*. Oxford: Oxford University Press, 2000.

heims, Steve J. *John von Neumann and Norbert Wiener*. Cambridge: mit Press, 1980.

_____. *The Cybernetics Group*. Cambridge: mit Press, 1991.

herken, Rolf (Org.). *The Universal Turing Machine: A Half-Century Survey*. Viena: Springer-Verlag, 1995.

hey, Anthony J. G. (Org.). *Feynman and Computation*. Boulder: Westview Press, 2002.

hobbes, Thomas. *Leviathan, or, the Matter, Forme, and Power of a Commonwealth, Eclesiasticall and Civill*. Londres: Andrew Crooke, 1660.

hodges, Andrew. *Alan Turing: The Enigma*. Londres: Vintage, 1992.

hofstadter, Douglas R. *Gödel, Escher, Bach: An Eternal Golden Braid*. Nova York: Basic Books, 1979.

_____. *Metamagical Themas: Questing for the Essence of Mind and Pattern*. Nova York: Basic Books, 1985.

_____. *I Am a Strange Loop*. Nova York: Basic Books, 2007.

holland, Owen. “The First Biologically Inspired Robots”. *Robotica* 21, pp. 351-63, 2003.

holmes, Oliver Wendell. *The Autocrat of the Breakfast-Table*. Nova York: Houghton Mifflin, 1893.

holzmann, Gerard J.; pehrson, Björn. *The Early History of Data Networks*. Washington D.C.: ieee Computer Society, 1995.

hopper, Robert. *Telephone Conversation*. Bloomington: Indiana University Press, 1992.

horgan, John. “Claude E. Shannon”. *IEEE Spectrum*, pp. 72-5, abr. 1992.

horsley, Victor. “Description of the Brain of Mr. Charles Babbage, F.R.S.”. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B* 200 (1909), pp. 117-31.

huberman, Bernardo A. *The Laws of the Web: Patterns in the Ecology of Information*. Cambridge: mit Press, 2001.

hughes, Geoffrey. *A History of English Words*. Oxford: Blackwell, 2000.

hüllen, Werner. *English Dictionaries 800-1700: The Topical Tradition*. Oxford: Clarendon Press, 1999.

hume, Alexander. *Of the Orthographie and Congruitie of the Britan Tongue* (1620). Editado a partir do manuscrito original no British Museum por Henry B. Wheatley. Londres: Early English Text Society, 1865.

husbands, Philip; holland, Owen. “The Ratio Club: A Hub of British Cybernetics”. In: *The Mechanical Mind in History*. Cambridge: mit Press, 2008. pp. 91-148.

husbands, Philip; holland, Owen; wheeler, Michael (Orgs.). *The Mechanical Mind in History*. Cambridge: mit Press, 2008.

huskey, Harry D.; huskey, Velma R. “Lady Lovelace and Charles Babbage”. *Annals of the History of Computing* 2, n. 4, pp. 299-329, 1980.

hyatt, Harry Middleton. *Folk-Lore from Adams County, Illinois*. 2. ed. rev. Hannibal: Alma Egan Hyatt Foundation, 1965.

hyman, Anthony. *Charles Babbage: Pioneer of the Computer*. Princeton: Princeton University Press, 1982.

_____. (Org.). *Science and Reform: Selected Works of Charles Babbage*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

ifrah, Georges. *The Universal History of Computing: From the Abacus to the Quantum Computer*. Nova York: Wiley and Sons, 2001.

ivanhoe, P. J.; van norden, Bryan W. *Readings in Classical Chinese Philosophy*. 2. ed. Indianápolis: Hackett Publishing, 2005.

jackson, Willis (Org.). *Communication Theory*. Nova York: Academic Press, 1953.

james, William. *Principles of Psychology*. Chicago: Encyclopædia Britannica, 1952.

jaynes, Edwin T. “Information Theory and Statistical Mechanics”. *Physical Review* 106, n. 4, pp. 620-30, 1957.

_____. “Where Do We Stand on Maximum Entropy”. In: levine, R. D. e tribus, Myron (Orgs.). *The Maximum Entropy Formalism*. Cambridge: mit Press, 1979.

jaynes, Edwin T.; grandy, Walter T.; milonni, Peter W. *Physics and Probability: Essays in Honor of Edwin T. Jaynes*. Cambridge: Cambridge University Press, 1993.

jaynes, Julian. *The Origin of Consciousness in the Breakdown of the Bicameral Mind*. Boston: Houghton Mifflin, 1977.

jennings, Humphrey. *Pandaemonium: The Coming of the Machine as Seen by Contemporary Observers, 1660-1886*. Organização de Mary-Lou Jennings e Charles Madge. Nova York: Free Press, 1985.

johannsen, Wilhelm. “The Genotype Conception of Heredity”. *American Naturalist* 45, n. 531, pp. 129-59, 1911.

johns, Adrian. *The Nature of the Book: Print and Knowledge in the Making*. Chicago: University of Chicago Press, 1998.

johnson, George. *Fire in the Mind: Science, Faith, and the Search for Order*. Nova York: Knopf, 1995.

johnson, George. “Claude Shannon, Mathematician, Dies at 84”. *The New York Times*, 27 fev. 2001, p. B7.

johnson, Horton A. “Thermal Noise and Biological Information”. *Quarterly Review of Biology* 62, n. 2, pp. 141-52, 1987.

joncourt, Élie de. *De Natura et Praeclaro Usu Simplicissimae Speciei Numerorum Trigonalium*. Organização de É. de Joncourt Auctore. Haia: Husson, 1762.

jones, Alexander. *Historical Sketch of the Electric Telegraph: Including Its Rise and Progress in the United States*. Nova York: Putnam, 1852.

jones, Jonathan. “Quantum Computers Get Real”. *Physics World* 15, n. 4, pp. 21-2, 2002.

_____. “Quantum Computing: Putting It into Practice”. *Nature* 421, pp. 28-9, 2003.

judson, Horace Freeland. *The Eighth Day of Creation: Makers of the Revolution in Biology*. Nova York: Simon & Schuster, 1979.

kahn, David. *The Codebreakers: The Story of Secret Writing*. Londres: Weidenfeld & Nicolson, 1968.

_____. *Seizing the Enigma: The Race to Break the German U-Boat Codes, 1939—1943*. Nova York: Barnes & Noble, 1998.

kahn, Robert E. “A Tribute to Claude E. Shannon”. *IEEE Communications Magazine*, pp. 18-22, 2001.

kalin, Theodore A. “Formal Logic and Switching Circuits”. In: *Proceedings of the 1952 acm National Meeting* (*Pittsburgh*). Nova York: acm, pp. 251-7, 1952.

kauffman, Stuart. *Investigations*. Oxford: Oxford University Press, 2002.

kay, Lily E. *Who Wrote the Book of Life: A History of the Genetic Code*. Stanford: Stanford University Press, 2000.

kelly, Kevin. *Out of Control: The Rise of Neo-Biological Civilization*. Reading: Addison-Wesley, 1994.

kendall, David G. “Andrei Nikolaevich Kolmogorov. 25 de abril de 1903-20 de outubro de 1987”. *Biographical Memoirs of Fellows of the Royal Society* 37, pp. 301-19, 1991.

keynes, John Maynard. *A Treatise on Probability*. Londres: Macmillan, 1921.

kneale, William. “Boole and the Revival of Logic”. *Mind* 57, n. 226, pp. 149-75, 1948.

knuth, Donald E. “Ancient Babylonian Algorithms”. *Communications of the Association for Computing Machinery* 15, n. 7, pp. 671-7, 1972.

kolmogorov, A. N. “Combinatorial Foundations of Information Theory and the Calculus of Probabilities”. *Russian Mathematical Surveys* 38, n. 4, pp. 29-43, 1983.

_____. *Selected Works of A. N. Kolmogorov. Vol. 3, Information Theory and the Theory of Algorithms*. Tradução de A. B. Sossinksky. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1993.

kolmogorov, A. N.; gelfand, I. M.; yaglom, A. M. “On the General Definition of the Quantity of Information” (1956). In: *Selected Works of A. N. Kolmogorov, v. 3, Information Theory and the Theory of Algorithms*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 2-5, 1993.

kolmogorov, A. N.; shiryaev, A. N. *Kolmogorov in Perspective*. *History of Mathematics*. Tradução de Harold H. McFaden. [S. l.]: American Mathematical Society, London Mathematical Society, 2000. v. 20.

krutch, Joseph Wood. *Edgar Allan Poe: A Study in Genius*. Nova York: Knopf, 1926.

kubát, Libor; zeman, Jirí. *Entropy and Information in Science and Philosophy*. Amsterdam: Elsevier, 1975.

langville, Amy N.; meyer, Carl D. *Google’s Page Rank and Beyond: The Science of Search Engine Rankings*. Princeton: Princeton University Press, 2006.

lanier, Jaron. *You Are Not a Gadget*. Nova York: Knopf, 2010.

lanouette, William. *Genius in the Shadows*. Nova York: Scribner’s, 1992.

lardner, Dionysius. “Babbage’s Calculating Engines”. *Edinburgh Review* 59, n. 120, pp. 263-327, 1834.

_____. *The Electric Telegraph*. Revisto e reescrito por Edward B. Bright. Londres: James Walton, 1867.

lasker, Edward. *The Adventure of Chess*. 2. ed. Nova York: Dover, 1959.

leavitt, Harold J.; whisler, Thomas L. “Management in the 1980s”. *Harvard Business Review,* pp. 1-48, 1958.

leff, Harvey S.; rex, Andrew F. (orgs.). *Maxwell’s Demon: Entropy, Information, Computing*. Princeton: Princeton University Press, 1990.

_____. *Maxwell’s Demon 2: Entropy, Classical and Quantum Information, Computing*. Bristol: Institute of Physics, 2003.

lenoir, Timothy (Org.). *Inscribing Science: Scientific Texts and the Materiality of Communication*. Stanford: Stanford University Press, 1998.

licklider, J. C. R. “Interview Conducted by William Aspray and Arthur Norberg”. (1988).

lieberman, Phillip. “Voice in the Wilderness: How Humans Acquired the Power of Speech”. *Sciences*, pp. 23-9, 1988.

lloyd, Seth. “Computational Capacity of the Universe”. *Physical Review Letters* 88, n. 23. *arXiv:quant-ph/0110141v1*, 2002.

_____. *Programming the Universe*. Nova York: Knopf, 2006.

loewenstein, Werner R. *The Touchstone of Life: Molecular Information, Cell Communication, and the Foundations of Life*. Nova York: Oxford University Press, 1999.

lucky, Robert W. *Silicon Dreams: Information, Man, and Machine*. Nova York: St. Martin’s Press, 1989.

lundheim, Lars. “On Shannon and ‘Shannon’s Formula’ ”. *Telektronikk* 98, n. 1, pp. 20-9, 2002.

luria, A. R. *Cognitive Development: Its Cultural and Social Foundations*. Cambridge: Harvard University Press, 1976.

lynch, Aaron. *Thought Contagion: How Belief Spreads Through Society*. Nova York: Basic Books, 1996.

mabee, Carleton. *The American Leonardo: A Life of Samuel F. B. Morse*. Nova York: Knopf, 1943.

macfarlane, Alistair G. J. “Information, Knowledge, and the Future of Machines”. *Philosophical Transactions: Mathematical, Physical and Engineering Sciences* 361, n. 1809, pp. 1581-616, 2003.

machlup, Fritz; mansfield, Una (Orgs.). *The Study of Information: Interdisciplinary Messages*. Nova York: Wiley and Sons, 1983.

machta, J. "Entropy, Information, and Computation". *American Journal of Physics* 67, n. 12, pp. 1074-7, 1999.

mackay, Charles. *Memoirs of Extraordinary Popular Delusions*. Filadélfia: Lindsay & Blakiston, 1850.

mackay, David J. C. *Information Theory, Inference, and Learning Algorithms*. Cambridge: Cambridge University Press, 2002.

mackay, Donald M. *Information, Mechanism, and Meaning*. Cambridge: mit Press, 1969.

macrae, Norman. *John Von Neumann: The Scientific Genius Who Pioneered the Modern Computer, Game Theory, Nuclear Deterrence, and Much More*. Nova York: Pantheon, 1992.

macray, William Dunn. *Annals of the Bodleian Library, Oxford, 1598-1867*. Londres: Rivingtons, 1868.

mancosu, Paolo. *From Brouwer to Hilbert: The Debate on the Foundations of Mathematics in the 1920s*. Nova York: Oxford University Press, 1998.

marland, E. A. *Early Electrical Communication*. Londres: Abelard-Schuman, 1964.

martin, Michèle. *"Hello, Central?": Gender, Technology, and Culture in the Formation of Telephone Systems*. Montreal: McGill-Queen's University Press, 1991.

marvin, Carolyn. *When Old Technologies Were New: Thinking About Electric Communication in the Late Nineteenth Century*. Nova York: Oxford University Press, 1988.

maxwell, James Clerk. *Theory of Heat*. 8. ed. Londres: Longmans, Green, 1885.

mayr, Otto. "Maxwell and the Origins of Cybernetics". *Isis* 62, n. 4, pp. 424-44, 1971.

mcculloch, Warren S. "Brain and Behavior". *Comparative Psychology Monograph 20* 1, Series 103, 1950.

_____. "Through the Den of the Metaphysician". *British Journal for the Philosophy of Science* 5, n. 17, pp. 18-31, 1954.

_____. *Embodiments of Mind*. Cambridge: mit Press, 1965.

_____. "Recollections of the Many Sources of Cybernetics." *ASC Forum* 6, n. 2, pp. 5-16, 1974.

mcculloch, Warren S.; pfeiffer, John. "Of Digital Computers Called Brains." *Scientific Monthly* 69, n. 6, pp. 368-76, 1949.

mcluhan, Marshall. *The Mechanical Bride: Folklore of Industrial Man*. Nova York: Vanguard Press, 1951.

_____. *The Gutenberg Galaxy*. Toronto: University of Toronto Press, 1962.

_____. *Understanding Media: The Extensions of Man*. Nova York: McGraw-Hill, 1965.

_____. *Essential McLuhan*. Organização de Eric McLuhan e Frank Zingrone. Nova York: Basic Books, 1996.

mcluhan, Marshall; fiore, Quentin. *The Medium Is the Massage*. Nova York: Random House, 1967.

mcneely, Ian F.; com wolverton, Lisa. *Reinventing Knowledge: From Alexandria to the Internet*. Nova York: Norton, 2008.

menabrea, L. F. "Sketch of the Analytical Engine Invented by Charles Babbage. With notes upon the Memoir by the Translator, Ada Augusta, Countess of Lovelace". *Bibliothèque Universelle de Genève* 82 (out. 1842). Também disponível on-line em http://www.fourmilab.ch/babbage/sketch.html.

menninger, Karl; broneer, Paul. *Number Words and Number Symbols: A Cultural History of*

*Numbers*. Nova York: Dover Publications, 1992.

mermin, N. David. “Copenhagen Computation: How I Learned to Stop Worrying and Love Bohr”. *ibm Journal of Research and Development* 48, pp. 53-61, 2004.

_____. *Quantum Computer Science: An Introduction*. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

miller, George A. “The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information”. *Psychological Review* 63, pp. 81-97, 1956.

miller, Jonathan. *Marshall McLuhan*. Nova York: Viking, 1971.

_____. *States of Mind*. Nova York: Pantheon, 1983.

millman, S. (Org.). *A History of Engineering and Science in the Bell System: Communications Sciences* (*1925-1980*). [S.l.]: Laboratórios Telefônicos Bell, 1984.

mindell, David A. *Between Human and Machine: Feedback, Control, and Computing Before Cybernetics*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2002.

mindell, David A.; segal, Jérôme; gerovitch, Slava. “Cybernetics and Information Theory in the United States, France, and the Soviet Union”. In: walker, Mark (Org.). *Science and Ideology: A Comparative History*. Londres: Routledge, 2003, pp. 66-95.

monod, Jacques. *Chance and Necessity: An Essay on the Natural Philosophy of Modern Biology*. Tradução de Austryn Wainhouse. Nova York: Knopf, 1971.

moore, Francis. *Travels Into the Inland Parts of Africa*. Londres: J. Knox, 1767.

moore, Gordon E. “Cramming More Components onto Integrated Circuits.” *Electronics* 38, n. 8, pp. 114-17, 1965.

morowitz, Harold J. *The Emergence of Everything: How the World Became Complex*. Nova York: Oxford University Press, 2002.

morse, Samuel F. B. *Samuel F. B. Morse: His Letters and Journals*. Organização de Edward Lind Morse. Boston: Houghton Mifflin, 1914.

morus, Iwan Rhys. “‘The Nervous System of Britain’: Space, Time and the Electric Telegraph in the Victorian Age”. *British Journal of the History of Science* 33, pp. 455-75, 2000.

moseley, Maboth. *Irascible Genius: A Life of Charles Babbage, Inventor*. Londres: Hutchinson, 1964.

mugglestone, Lynda. “Labels Reconsidered: Objectivity and the *OED*”. *Dictionaries* 21, pp. 22-37, 2000.

_____. *Lost for Words: The Hidden History of the Oxford English Dictionary*. New Haven: Yale University Press, 2005.

mulcaster, Richard. *The First Part of the Elementarie Which Entreateth Chefelie of the Right Writing of Our English Tung*. Londres: Thomas Vautroullier, 1582.

mullett, Charles F. “Charles Babbage: A Scientific Gadfly”. *Scientific Monthly* 67, n. 5, pp. 361-71, 1948.

mumford, Lewis. *The Myth of the Machine*. *The Pentagon of Power*. Nova York: Harcourt, Brace, 1970, v. 2.

murray, K. M. E. *Caught in the Web of Words*. New Haven: Yale University Press, 1978.

mushengyezi, Aaron. “Rethinking Indigenous Media: Rituals, ‘Talking’ Drums and Orality as Forms of Public Communication in Uganda”. *Journal of African Cultural Studies* 16, n. 1, pp. 107-17, 2003.

nagel, Ernest; newman, James R. *Gödel’s Proof*. Nova York: New York University Press, 1958.

napier, John. *A Description of the Admirable Table of Logarithmes*. Tradução de Edward Wright.

Londres: Nicholas Okes, 1616.

nemes, Tihamér. *Cybernetic Machines*. Tradução de I. Földes. Nova York: Gordon & Breach, 1970.

neugebauer, Otto. *The Exact Sciences in Antiquity*. 2. ed. Providence, R.I.: Brown University Press, 1957.

_____. *A History of Ancient Mathematical Astronomy*. *Studies in the History of Mathematics and Physical Sciences*. Nova York: Springer-Verlag, 1975, v. 1.

neugebauer, Otto; sachs, Abraham Joseph; götze, Albrecht. *Mathematical Cuneiform Texts*. American Oriental Series, v. 29. New Haven: American Oriental Society and the American Schools of Oriental Research, 1945.

newman, M. E. J. "The Structure and Function of Complex Networks". *siam Review* 45, n. 2, pp. 167-256, 2003.

niven, W. D. (Org.). *The Scientific Papers of James Clerk Maxwell*. Cambridge: Cambridge University Press, 1890; reimpr. Nova York: Dover, 1965.

norman, Donald A. *Things That Make Us Smart: Defending Human Attributes in the Age of the Machine*. Reading: Addison-Wesley, 1993.

nørretranders, Tor. *The User Illusion: Cutting Consciousness Down to Size*. Tradução de Jonathan Sydenham. Nova York: Penguin, 1998.

noyes, Gertrude E. "The First English Dictionary, Cawdrey's Table Alphabeticall". *Modern Language Notes* 58, n. 8, pp. 600-5, 1943.

ogilvie, Brian W. "The Many Books of Nature: Renaissance Naturalists and Information Overload". *Journal of the History of Ideas* 64, n. 1, pp. 29-40, 2003.

_____. *The Science of Describing: Natural History in Renaissance Europe*. Chicago: University of Chicago Press, 2006.

olson, David R. "From Utterance to Text: The Bias of Language in Speech and Writing". *Harvard Educational Review* 47, pp. 257-81, 1977.

_____. "The Cognitive Consequences of Literacy". *Canadian Psychology* 27, n. 2, pp. 109-21, 1986.

ong, Walter J. "This Side of Oral Culture and of Print." *Lincoln Lecture* (1973).

_____. "African Talking Drums and Oral Noetics". *New Literary History* 8, n. 3, pp. 411-29, 1977.

_____. *Interfaces of the Word*. Ithaca: Cornell University Press, 1977.

_____. *Orality and Literacy: The Technologizing of the Word*. Londres: Methuen, 1982.

oslin, George P. *The Story of Telecommunications*. Macon: Mercer University Press, 1992.

page, Lawrence; brin, Sergey; motwani, Rajeev; winograd, Terry. "The Pagerank Citation Ranking: Bringing Order to the Web". Technical Report sidl-wp-1999-0120, Stanford University InfoLab (1998). Disponível na internet em http://ilpubs.stanford.edu:8090/422/1/1999-66.pdf.

pain, Stephanie. "Mr. Babbage and the Buskers". *New Scientist* 179, n. 2408, p. 42, 2003.

paine, Albert Bigelow. *In One Man's Life: Being Chapters from the Personal & Business Career of Theodore N. Vail*. Nova York: Harper & Brothers, 1921.

palme, Jacob. "You Have 134 Unread Mail! Do You Want to Read Them Now?". In: smith, Hugh T. (Org.). *Computer-Based Message Services*, organização de. North Holland: Elsevier, 1984.

peckhaus, Volker. "19th Century Logic Between Philosophy and Mathematics". *Bulletin of Symbolic Logic* 5, n. 4, pp. 433-50, 1999.

peres, Asher. "Einstein, Podolsky, Rosen, and Shannon". *arXiv:quant-ph/0310010 v1*, 2003.

_____. “What Is Actually Teleported?”. *ibm Journal of Research and Development* 48, n. 1, pp. 63-9, 2004.

pérez-montoro, Mario. *The Phenomenon of Information: A Conceptual Approach to Information Flow*. Tradução de Dick Edelstein. Lanham: Scarecrow, 2007.

peters, John Durham. *Speaking Into the Air: A History of the Idea of Communication*. Chicago: University of Chicago Press, 1999.

philological society. *Proposal for a Publication of a New English Dictionary by the Philological Society*. Londres: Trübner & Co., 1859.

pickering, John.*A Lecture on Telegraphic Language*. Boston: Hilliard, Gray, 1833.

pierce, John R. *Symbols, Signals and Noise: The Nature and Process of Communication*. Nova York: Harper & Brothers, 1961.

_____. “The Early Days of Information Theory”. *ieee Transactions on Information Theory* 19, n. 1, pp. 3-8, 1973.

_____. *An Introduction to Information Theory: Symbols, Signals and Noise*. 2. ed. Nova York: Dover, 1980.

_____. “Looking Back: Claude Elwood Shannon”. *ieee Potentials* 12, n. 4, pp. 38-40, dez. 1993.

pinker, Steven. *The Language Instinct: How the Mind Creates Language*. Nova York: William Morrow, 1994.

_____. *The Stuff of Thought: Language as a Window into Human Nature*. Nova York: Viking, 2007.

platt, John R. (Org.). *New Views of the Nature of Man*. Chicago: University of Chicago Press, 1983.

plenio, Martin B.; vitelli, Vincenzo. “The Physics of Forgetting: Landauer’s Erasure Principle and Information Theory”. *Contemporary Physics* 42, n. 1, pp. 25-60, 2001.

poe, Edgar Allan. *Essays and Reviews*. Nova York: Library of America, 1984.

_____. *Poetry and Tales*. Nova York: Library of America, 1984.

pool, Ithiel de Sola (Org.). *The Social Impact of the Telephone*. Cambridge: mit Press, 1977.

poundstone, William. *The Recursive Universe: Cosmic Complexity and the Limits of Scientific Knowledge*. Chicago: Contemporary Books, 1985.

prager, John. *On Turing*. Belmont: Wadsworth, 2001.

price, Robert. “A Conversation with Claude Shannon: One Man’s Approach to Problem Solving”. *ieee Communications Magazine* 22, pp. 123-6, 1984.

pulgram, Ernst. *Theory of Names*. Berkeley: American Name Society, 1954.

purbrick, Louise. “The Dream Machine: Charles Babbage and His Imaginary Computers”. *Journal of Design History* 6, n.1, pp. 9-23, 1993.

quastler, Henry (Org.). *Essays on the Use of Information Theory in Biology*. Urbana: University of Illinois Press, 1953.

_____. *Information Theory in Psychology: Problems and Methods*. Glencoe: Free Press, 1955.

radford, Gary P. “Overcoming Dewey’s ‘False Psychology’: Reclaiming Communication for Communication Studies”. Estudo apresentado no 80o Encontro Anual da Sociedade de Comunicação pela Fala, Nova Orleans, nov. 1994. Disponível na internet em http://www.theprofessors.net/dewey.html.

rattray, Robert Sutherland. “The Drum Language of West Africa: Part i”. *Journal of the Royal African Society* 22, n. 87, pp. 226-36, 1923.

_____. “The Drum Language of West Africa: Part ii”. *Journal of the Royal African Society* 22, n. 88, pp. 302-16, 1923.

redfield, Robert. *The Primitive World and Its Transformations*. Ithaca: Cornell University Press, 1953.

rényi, Alfréd. *A Diary on Information Theory*. Chichester: Wiley and Sons, 1984.

rheingold, Howard. *Tools for Thought: The History and Future of Mind-Expanding Technology*. Cambridge: mit Press, 2000.

rhodes, Frederick Leland. *Beginnings of Telephony*. Nova York: Harper & Brothers, 1929.

rhodes, Neil; sawday, Jonathan (Orgs.) *The Renaissance Computer: Knowledge Technology in the First Age of Print*. Londres: Routledge, 2000.

richardson, Robert D. *William James: In the Maelstrom of American Modernism*. Nova York: Houghton Mifflin, 2006.

robertson, Douglas S. *The New Renaissance: Computers and the Next Level of Civilization*. Oxford: Oxford University Press, 1998.

_____. *Phase Change: The Computer Revolution in Science and Mathematics*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

rochberg, Francesca. *The Heavenly Writing: Divination, Horoscopy, and Astronomy in Mesopotamian Culture*. Cambridge: Cambridge University Press, 2004.

roederer, Juan G. *Information and Its Role in Nature*. Berlim: Springer, 2005.

rogers, Everett M. "Claude Shannon's Cryptography Research during World War ii and the Mathematical Theory of Communication". In *Proceedings, ieee 28th International Carnaham Conference on Security Technology*, pp. 1-5, out. 1994.

romans, James. *ABC of the Telephone*. Nova York: Audel & Co., 1901.

ronell, Avital. *The Telephone Book: Technology, Schizophrenia, Electric Speech*. Lincoln: University of Nebraska Press, 1991.

rosenblueth, Arturo; wiener, Norbert; bigelow, Julian. "Behavior, Purpose and Teleology". *Philosophy of Science* 10, pp. 18-24, 1943.

rosenheim, Shawn James. *The Cryptographic Imagination: Secret Writing from Edgar Poe to the Internet*. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 1997.

russell, Bertrand. *Logic and Knowledge: Essays, 1901-1950*. Londres: Routledge, 1956.

sagan, Carl. *Murmurs of Earth: The Voyager Interstellar Record*. Nova York: Random House, 1978.

sapir, Edward. *Language: An Introduction to the Study of Speech*. Nova York: Harcourt, Brace, 1921.

sarkar, Sahotra. *Molecular Models of Life*. Cambridge: mit Press, 2005.

schaffer, Simon. "Babbage's Intelligence: Calculating Engines and the Factory System". *Critical Inquiry* 21, n. 1, pp. 203-27, 1994.

_____. "Paper and Brass: The Lucasian Professorship 1820-39". In: knox, Kevin C.; noakes, Richard (Orgs.). *From Newton to Hawking: A History of Cambridge University's Lucasian Professors of Mathematics*. Cambridge: Cambridge University Press, 2003, pp. 241-94.

schindler jr., G. E. (Org.). *A History of Engineering and Science in the Bell System: Switching Technology* (*1925-1975*). [S. l.]: Laboratórios Telefônicos Bell, 1982.

schrödinger, Erwin. *What Is Life?* Edição reimpressa. Cambridge: Cambridge University Press, 1967.

seife, Charles. *Decoding the Universe*. Nova York: Viking, 2006.

shaffner, Taliaferro P. *The Telegraph Manual: A Complete History and Description of the Semaphoric, Electric and Magnetic Telegraphs of Europe, Asia, Africa, and America, Ancient and*

*Modern*. Nova York: Pudney & Russell, 1859.

shannon, Claude Elwood. *Collected Papers*. Organização de N. J. A. Sloane e Aaron D. Wyner. Nova York: ieee Press, 1993.

_____. *Miscellaneous Writings*. Organização de N. J. A. Sloane e Aaron D. Wyner. Murray Hill: Mathematical Sciences Research Center, at&t Bell Laboratories, 1993.

shannon, Claude Elwood; weaver, Warren. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana: University of Illinois Press, 1949.

shenk, David. *Data Smog: Surviving the Information Glut*. Nova York: HarperCollins, 1997.

shieber, Stuart M. (Org.). *The Turing Test: Verbal Behavior as the Hallmark of Intelligence*. Cambridge: mit Press, 2004.

shiryaev, A. N. "Kolmogorov: Life and Creative Activities". *Annals of Probability* 17, n. 3, pp. 866-944, 1989.

siegfried, Tom. *The Bit and the Pendulum: From Quantum Computing to M Theory — The New Physics of Information*. Nova York: Wiley and Sons, 2000.

silverman, Kenneth. *Lightning Man: The Accursed Life of Samuel F. B. Morse*. Nova York: Knopf, 2003.

simpson, John. "Preface to the Third Edition of the Oxford English Dictionary". Oxford University Press, http://oed.com/about/oed3-preface/#general (acessado em: 13 jun. 2010).

_____. (Org.). *The First English Dictionary, 1604: Robert Cawdrey's A Table Alphabeticall*. Oxford: Bodleian Library, 2007.

singh, Jagjit. *Great Ideas in Information Theory, Language and Cybernetics*. Nova York: Dover, 1966.

singh, Simon. *The Code Book: The Secret History of Codes and Codebreaking*. Londres: Fourth Estate, 1999.

slater, Robert. *Portraits in Silicon*. Cambridge: mit Press, 1987.

slepian, David. "Information Theory in the Fifties". *ieee Transactions on Information Theory* 19, n. 2, pp. 145-8, 1973.

sloman, Aaron. *The Computer Revolution in Philosophy*. Hassocks: Harrester Press, 1978.

smith, D. E. *A Source Book in Mathematics*. Nova York: McGraw-Hill, 1929.

smith, Francis O. J. *The Secret Corresponding Vocabulary; Adapted for Use to Morse's Electro-Magnetic Telegraph: And Also in Conducting Written Correspondence, Transmitted by the Mails, or Otherwise*. Portland: Thurston, Ilsley, 1845.

smith, G. C. *The Boole — De Morgan Correspondence 1842-1864*. Oxford: Clarendon Press, 1982.

smith, John Maynard. "The Concept of Information in Biology". *Philosophy of Science* 67, 177-94, 2000.

smolin, J. A. "The Early Days of Experimental Quantum Cryptography". *IBM Journal of Research and Development* 48, pp. 47-52, 2004.

solana-ortega, Alberto. "The Information Revolution Is Yet to Come: An Homage to Claude E. Shannon". In: *Bayesian Inference and Maximum Entropy Methods in Science and Engineering*, aip Conference Proceedings 617, organização de Robert L. Fry. Melville: American Institute of Physics, 2002.

solomonoff, Ray J. "A Formal Theory of Inductive Inference". *Information and Control* 7, n. 1, pp. 1-22, 1964.

_____. "The Discovery of Algorithmic Probability". *Journal of Computer and System Sciences* 55,

n. 1, pp. 73-88, 1997.

solymar, Laszlo. *Getting the Message: A History of Communications*. Oxford: Oxford University Press, 1999.

spellerberg, Ian F.; fedor, Peter J. “A Tribute to Claude Shannon (1916-2001) and a Plea for More Rigorous Use of Species Richness, Species Diversity and the ‘Shannon-Wiener’ Index”. *Global Ecology and Biogeography* 12, pp. 177-9, 2003.

sperry, Roger. “Mind, Brain, and Humanist Values”. In: platt, John R. (Org.). *New Views of the Nature of Man*. Chicago: University of Chicago Press, pp. 71-92, 1983.

sprat, Thomas. *The History of the Royal Society of London, for the Improving of Natural Knowledge*. 3. ed. Londres: 1722.

spufford, Francis; uglow, Jenny (Orgs.). *Cultural Babbage: Technology, Time and Invention*. Londres: Faber and Faber, 1996.

standage, Tom. *The Victorian Internet: The Remarkable Story of the Telegraph and the Nineteenth Century’s On-Line Pioneers*. Nova York: Berkley, 1998.

starnes, De Witt T.; noyes, Gertrude E. *The English Dictionary from Cawdrey to Johnson 1604-1755*. Chapel Hill: University of North Carolina Press, 1946.

steane, Andrew M.; rieffel, Eleanor G. “Beyond Bits: The Future of Quantum Information Processing”. *Computer* 33, pp. 38-45, 2000.

stein, Gabriele. *The English Dictionary Before Cawdrey*. Tübingen: Max Neimeyer, 1985.

steiner, George. “On Reading Marshall McLuhan”. In: *Language and Silence: Essays on Language, Literature, and the Inhuman*. Nova York: Atheneum, pp. 251-68, 1967.

stent, Gunther S. “That Was the Molecular Biology That Was”. *Science* 160, n. 3826, pp. 390-95, 1968.

_____. “dna”. *Daedalus* 99, pp. 909-37, 1970.

_____. “You Can Take the Ethics Out of Altruism But You Can’t Take the Altruism Out of Ethics”. *Hastings Center Report* 7, n. 6, pp. 33-6, 1977.

stephens, Mitchell. *The Rise of the Image, the Fall of the Word*. Oxford: Oxford University Press, 1998.

stern, Theodore. “Drum and Whistle ‘Languages’: An Analysis of Speech Surrogates”. *American Anthropologist* 59, pp. 487-506, 1957.

stix, Gary. “Riding the Back of Electrons”. *Scientific American*, pp. 32-3, set. 1998.

stonier, Tom. *Beyond Information: The Natural History of Intelligence*. Londres: Springer-Verlag, 1992.

_____. *Information and Meaning: An Evolutionary Perspective*. Berlim: Springer-Verlag, 1997.

streufert, Siegfried; suedfeld, Peter; driver, Michael J. “Conceptual Structure, Information Search, and Information Utilization”. *Journal of Personality and Social Psychology* 2, n. 5, pp. 736-40, 1965.

sunstein, Cass R. *Infotopia: How Many Minds Produce Knowledge*. Oxford: Oxford University Press, 2006.

surowiecki, James. *The Wisdom of Crowds*. Nova York: Doubleday, 2004.

swade, Doron. “The World Reduced to Number”. *Isis* 82, n. 3, pp. 532-36, 1991.

_____. *The Cogwheel Brain: Charles Babbage and the Quest to Build the First Computer*. Londres: Little, Brown, 2000.

_____. *The Difference Engine: Charles Babbage and the Quest to Build the First Computer*. Nova York: Viking, 2001.

swift, Jonathan. *A Tale of a Tub: Written for the Universal Improvement of Mankind*. [S.l., s.n.]: 1692.

szilárd, Leó. “On the Decrease of Entropy in a Thermodynamic System by the Intervention of Intelligent Beings”. Tradução de Anatol Rapoport e Mechtilde Knoller a partir de “*Über Die Entropieverminderung in Einem Thermodynamischen System Bei Eingriffen Intelligenter Wesen”, Zeitschrift Für Physik* 53 (1929). *Behavioral Science* 9, n. 4, pp. 301-10, 1964.

teilhard de chardin, Pierre. *The Human Phenomenon*. Tradução de Sarah Appleton-Weber. Brighton: Sussex Academic Press, 1999.

terhal, Barbara M. “Is Entanglement Monogamous?”. *ibm Journal of Research and Development* 48, n. 1, pp. 71-8, 2004.

thompson, A. J.; pearson, Karl. “Henry Briggs and His Work on Logarithms”. *American Mathematical Monthly* 32, n. 3, pp. 129-31, 1925.

thomsen, Samuel W. “Some Evidence Concerning the Genesis of Shannon’s Information Theory”. *Studies in History and Philosophy of Science* 40, pp. 81-91, 2009.

thorp, Edward O. “The Invention of the First Wearable Computer”. In: *Proceedings of the 2nd IEEE International Symposium on Wearable Computers*. Washington, D.C.: ieee Computer Society, 1998.

toole, Betty Alexandra. “Ada Byron, Lady Lovelace, an Analyst and Metaphysician”. *ieee Annals of the History of Computing* 18, n. 3, pp. 4-12, 1996.

_____. *Ada, the Enchantress of Numbers: Prophet of the Computer Age*. Mill Valley: Strawberry Press, 1998.

tufte, Edward R. “The Cognitive Style of PowerPoint”. Cheshire: Graphics Press, 2003.

turing, Alan M. “On Computable Numbers, with an Application to the *Entscheidungsproblem*”. *Proceedings of the London Mathematical Society* 42, pp. 230-65, 1936.

_____. “Computing Machinery and Intelligence”. *Minds and Machines* 59, n. 236, pp. 433-60, 1950.

_____. “The Chemical Basis of Morphogenesis”. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London, Series B* 237, n. 641, pp. 37-72, 1952.

turnbull, Laurence. *The Electro-Magnetic Telegraph, With an Historical Account of Its Rise, Progress, and Present Condition*. Filadélfia: A. Hart, 1853.

vail, Alfred. *The American Electro Magnetic Telegraph: With the Reports of Congress, and a Description of All Telegraphs Known, Employing Electricity Or Galvanism*. Filadélfia: Lea & Blanchard, 1847.

verdú, Sergio. “Fifty Years of Shannon Theory”. *IEEE Transactions on Information Theory* 44, n. 6, pp. 2057-78, 1998.

vincent, David. *Literacy and Popular Culture: England 1750-1914*. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.

virilio, Paul. *The Information Bomb*. Tradução de Chris Turner. Londres: Verso, 2000.

von baeyer, Hans Christian. *Maxwell’s Demon: Why Warmth Disperses and Time Passes*. Nova York: Random House, 1998.

_____. *Information: The New Language of Science*. Cambridge: Harvard University Press, 2004.

von foerster, Heinz. *Cybernetics: Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems: Transactions of the Seventh Conference, March 23-24, 1950*. Nova York: Josiah Macy, Jr. Foundation, 1951.

_____. *Cybernetics: Circular Causal and Feedback Mechanisms in Biological and Social Systems:*

*Transactions of the Eighth Conference, March 15-16, 1951*. Nova York: Josiah Macy, Jr. Foundation, 1952.

_____. “Interview with Stefano Franchi, Güven Güzeldere, and Eric Minch”. *Stanford Humanities Review* 4, n. 2, 1995. Disponível na internet em http://www.stanford.edu/group/SHR/4-2/text/interviewvonf.html.

von neumann, John. *The Computer and the Brain*. New Haven: Yale University Press, 1958.

_____. *Collected Works*. Oxford: Pergamon Press, 1961. v. 1-6.

vulpiani, A.; livi, Roberto. *The Kolmogorov Legacy in Physics: A Century of Turbulence and Complexity*. Lecture Notes in Physics, n. 642. Berlim: Springer, 2003.

waldrop, M. Mitchell. “Reluctant Father of the Digital Age”. *Technology Review*, pp. 64-71, jul.-ago. 2001.

wang, Hao. “Some Facts About Kurt Gödel”. *Journal of Symbolic Logic* 46, pp. 653-59, 1981.

watson, David L. “Biological Organization”. *Quarterly Review of Biology* 6, n. 2, pp. 143-66, 1931.

watson, James D. *The Double Helix*. Nova York: Atheneum, 1968.

_____. *Genes, Girls, and Gamow: After the Double Helix*. Nova York: Knopf, 2002.

_____. *Molecular Models of Life*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

watson, James D.; Crick, Francis. “A Structure for Deoxyribose Nucleic Acid”. *Nature* 171, p. 737, 1953.

_____. “Genetical Implications of the Structure of Deoxyribonucleic Acid”. *Nature* 171, p. 964-6, 1953.

watts, Duncan J. “Networks, Dynamics, and the Small-World Phenomenon”. *American Journal of Sociology* 105, n. 2, pp. 493-527, 1999.

_____. *Small Worlds: The Dynamics of Networks Between Order and Randomness*. Princeton: Princeton University Press, 1999.

_____. *Six Degrees: The Science of a Connected Age*. Nova York: Norton, 2003.

watts, Duncan J.; strogatz, Steven H. “Collective Dynamics of ‘Small-World’ Networks”. *Nature* 393, pp. 440-2, 1998.

weaver, Warren. “The Mathematics of Communication”. *Scientific American* 181, n. 1, pp. 11-5, 1949.

wells, H. G. *World Brain*. Londres: Methuen, 1938.

_____. *A Short History of the World*. San Diego: Book Tree, 2000.

wheeler, John Archibald. “Information, Physics, Quantum: The Search for Links”. *Proceedings of the Third International Symposium on the Foundations of Quantum Mechanics*, pp. 354-68, 1989.

_____. *At Home in the Universe*. *Masters of Modern Physics*. Nova York: American Institute of Physics, 1994, v. 9.

wheeler, John Archibald; ford, Kenneth. *Geons, Black Holes, and Quantum Foam: A Life in Physics*. Nova York: Norton, 1998.

whitehead, Alfred North; russell, Bertrand. *Principia Mathematica*. Cambridge: Cambridge University Press, 1910.

wiener, Norbert. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*. 2. ed. Cambridge: mit Press, 1961.

_____. *I Am a Mathematician: The Later Life of a Prodigy*. Cambridge: mit Press, 1964.

wiener, Philip P. (Org.). *Leibniz Selections*. Nova York: Scribner’s, 1951.

wilkins, John. *Mercury: Or the Secret and Swift Messenger. Shewing, How a Man May With Privacy and Speed Communicate His Thoughts to a Friend At Any Distance*. 3. ed. Londres: John Nicholson, 1708.

williams, Michael. *A History of Computing Technology*. Washington, D.C.: ieee Computer Society, 1997.

wilson, Geoffrey. *The Old Telegraphs*. Londres: Phillimore, 1976.

winchester, Simon. *The Meaning of Everything: The Story of the Oxford English Dictionary*. Oxford: Oxford University Press, 2003.

wisdom, J. O. "The Hypothesis of Cybernetics". *British Journal for the Philosophy of Science* 2, n. 5, pp. 1-24, 1951.

wittgenstein, Ludwig. *Philosophical Investigation*. Tradução de G. E. M. Anscombe. Nova York: Macmillan, 1953.

_____. *Remarks on the Foundations of Mathematics*. Cambridge: mit Press, 1967.

woodward, Kathleen. *The Myths of Information: Technology and Postindustrial Culture*. Madison: Coda Press, 1980.

woolley, Benjamin. *The Bride of Science: Romance, Reason, and Byron's Daughter*. Nova York: McGraw-Hill, 1999.

wynter, Andrew. "The Electric Telegraph". *Quarterly Review* 95, pp. 118-64, 1854.

_____. *Subtle Brains and Lissom Fingers: Being Some of the Chisel-Marks of Our Industrial and Scientific Progress*. Londres: Robert Hardwicke, 1863.

yeo, Richard. "Reading Encyclopedias: Science and the Organization of Knowledge in British Dictionaries of Arts and Sciences, 1730-1850". *Isis* 82:1, pp. 24-49, 1991.

_____. *Encyclopædic Visions: Scientific Dictionaries and Enlightenment Culture*. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

yockey, Hubert P. *Information Theory, Evolution, and the Origin of Life*. Cambridge: Cambridge University Press, 2005.

young, Peter. *Person to Person: The International Impact of the Telephone*. Cambridge: Granta, 1991.

yourgrau, Palle. *A World Without Time: The Forgotten Legacy of Gödel and Einstein*. Nova York: Basic Books, 2005.

yovits, Marshall C.; jacobi, George T.; Goldstein, Gordon D. (Orgs.). *Self-Organizing Systems*. Washington D.C.: Spartan, 1962.

# Créditos das ilustrações

p. 108 Cortesia do Instituto Charles Babbage, da Universidade de Minnesota, Minneapolis

p. 181 The New York Times Archive/ Redux

p. 223 Copyright © Robert Lord

p. 226 Reproduzido com permissão de *Journal Franklin Institute*, v. 262, E. F. Moore e C. E. Shannon, "Reliable Circuits Using Less Reliable Rays", pp. 191-208, copyright © 1956, com permissão de Elsevier

p. 231 Extraída de *Claude Elwood Shannon Collected Papers*, organizado por N. J. A. Sloane e Aaron Wyner. Copyright © 1993 by ieee

p. 233 Extraída de *Claude Elwood Shannon Collected Papers*, organizado por N. J. A. Sloane e Aaron Wyner. Copyright © 1993 by ieee

p. 240 Copyright © Mary E. Shannon

p. 245 Alfred Eisenstaedt/ Time & Life Pictures/ Getty Images

p. 260 Keystone/ Stringer/ Hulton Archive/ Getty Images

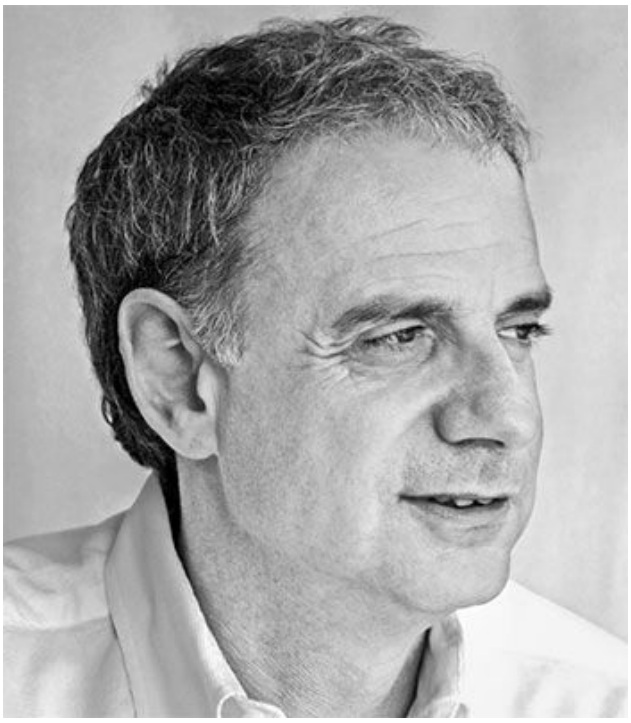
p. 273 Alfred Eisenstaedt/ Time & Life Pictures/ Getty Images

p. 285 Extraída de *Entropy and Energy Level*, de Gasser e Richards (1974). Figuras 9.7 e 9.8, pp. 117-8. Com permissão da Oxford University Press.

p. 286 No sentido horário, a partir da esquerda, acima: de *Symbols, Signals & Noise*, de J. R. Pierce (Harper & Brothers, Nova York, 1961), p. 199; copyright © 2010 by Stanley Angrist, reimpressa com permissão de Basic Books, um membro do Perseus Books Group; reproduzida de *Fundamentals of Cybernetics*, de Lerner ay (Plenum Publishing Corp., Nova York, 1975), p. 257; copyright © 2010 by Stanley Angrist, reimpressa com permissão de Basic Books, um membro do Perseus Books Group

p. 359 Cortesia de nasa/ jpl-Caltech

p. 365 Christopher Fuchs



PHYLLIS ROSE

James Gleick nasceu em Nova York, em 1954. Jornalista e biógrafo, é autor, entre outros, de *Caos: A criação de uma nova ciência, Isaac Newton: Uma biografia e Feynman: A natureza do gênio,* os três finalistas do prêmio Pulitzer. *A informação* foi vencedor do PEN/ E. O. Wilson Literary Science Writing Award. Seus livros foram traduzidos para mais de vinte idiomas.

Copyright © 2011 by James Gleick

*Grafia atualizada segundo o Acordo Ortográfico da Língua Portuguesa de 1990, que entrou em vigor no Brasil em 2009.*

*Título original*
The Information: A History, A Theory, A Flood

*Capa*
Peter Mendelsund

*Preparação*
Alexandre Boide

*Revisão*
Carmen T. S. Costa
Márcia Moura

ISBN 978-85-8086-711-4

Todos os direitos desta edição reservados à
EDITORA SCHWARCZ S.A.
Rua Bandeira Paulista, 702, cj. 32
04532-002 — São Paulo — sp
Tel.: (11) 3707-3500
Fax: (11) 3707-3501
www.companhiadasletras.com.br
www.blogdacompanhia.com.br