PDP/TS – TECNOLOGIA SUBMARINA

FMEA-FMECA



Apresentação:

Salvador Simões F

salvador@petrobras.com.br tel.:3865-7150

FMEA-FMECA

- FMEA - Failure Mode and Effects Analysis.
  (AMFEA - Análise de Modos e Efeitos de Falhas)
- FMECA - Failure Mode, Effects and Criticality Analysis.
  (AMFECA - Análise de Modos, Efeitos e Criticidade de Falhas)

DEFINIÇÃO

- Técnica indutiva que analisa todos os modos de falhas dos componentes de um sistema e indica os efeitos e a criticidade destas falhas sobre outros componentes e sobre o sistema.
- Técnica sistemática, simples e estruturada com ênfase nas falhas de "**hardware**", que se preocupa com erros, falhas e melhorias e

FMEA-FMECA é um instrumento de:

– Atendimento as necessidades do Cliente e do Público;

– Filosofia de Melhoria Contínua (ISO-9000);

– Mudança → Mudança Cultural;

– Competitividade;

– Melhoria de Comunicação;

– Análise Crítica e Revisão de Projeto;

– Atende exigências Reguladoras, Aspectos Legais e Responsabilidade Civil;

– Percepção dos Riscos → Gerenciamento de Riscos;

– Melhora Qualidade, Confiabilidade e Segurança

Histórico

- **1949 - MIL-P-1629** - A FMEA-FMECA foi desenvolvida pela Indústria Militar Americana - Procedure MIL-P-1629, titled Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis , is dated November 9, 1949.

- **Anos 60** - NASA - Apollo Space Program - a indústria aeroespacial foi pioneira no desenvolvimento e evolução da FMEA.

- **1974 - MIL-1629** - Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis. Posteriormente revisada em 1980 - **MIL-1629A**

- **1985 - IEC-60812** - Analysis Techniques for System Reliability - Procedure for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA).

- **1988 - ISO9000 - QS9000** - Padrão de qualidade para Daimler-Chrysler Corporation, Ford Motor Company, and General Motors Corporation. **1993 - SAE J1739** e

Normalização

NORMAS:

- **MIL-STD-1629A**- Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis.
- **IEC-60812** - Analysis Techniques for System Reliability - Procedure for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA).
- **SAE J 1739** - Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA) and Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and assembly Processes (Process FMEA) Reference Manual.
- **SAE AIR 4845** - The FMECA Process in the Concurrent Engineering (CE) Environment.

O QUE É FMEA-FMECA?

A FMEA/FMECA - é uma técnica de análise que foi desenvolvida para ser aplicada principalmente a componentes (“hardware”), cujo objetivo primordial é radiografar cada um dos componentes de um sistema a fim de levantar todas as maneiras pelas quais o componente possa vir a falhar e avaliar quais os efeitos que estas falhas acarretam sobre os demais componentes e sobre o sistema (instalação, equipamento, etc.). Como o próprio nome da técnica diz, é um método útil para documentar de forma organizada os modos e os efeitos de falhas de componentes. Ou seja, investiga-se o componente a fim de levantar todos os elementos, incluindo as ações inadequadas do ser humano, que possam

O QUE É FMEA-FMECA?

Apesar de ser uma técnica de análise essencialmente qualitativa, uma extensão da FMEA, denominada Análise de Modos, Efeitos e Criticidade de Falhas, em Inglês FMECA, pode fornecer também estimativas para as freqüências de ocorrência dos modos de falhas, bem como, o grau (categoria, classe) de severidade dos seus efeitos. O modelo não provê cálculo da confiabilidade total do sistema, mas pode servir como entrada de outras análises de Confiabilidade (em geral análise por Árvore de Falhas).

Numa FMEA/FMECA podem ser enfocados tanto os aspectos relacionados com a confiabilidade do sistema como com a segurança da instalação. Assim pode ser avaliada a gravidade dos efeitos

PRINCIPAIS OBJETIVOS DA FMEA-

- Identificação dos Modos de Falhas dos Componentes de um Sistema;
- Avaliação das Causas e dos Efeitos das Falhas;
- Aumentar a Segurança Funcional, Operacional e Ambiental;
- Aumentar a Confiabilidade;
- Produção em Série com Menores Índices Globais de Falhas;
- Diminuir os Custos de Garantia e Cortesia;
- Ciclos de Desenvolvimento de Produto mais Curtos;
- Aumentar o Cumprimento dos Prazos Estabelecidos;
- Melhorar a Comunicação Interna;
- Melhorar a Assistência Técnica;

APLICAÇÃO DA FMEA-FMECA?

A FMEA/FMECA pode ser aplicada em vários níveis, ou seja, componentes, equipamentos ou sistemas, dependendo do grau de detalhamento desejado. Esta técnica pode ser usada:

- Na fase de projeto de sistemas visando detectar possíveis falhas e melhorar a confiabilidade do sistema;
- Na revisão de segurança de sistemas/unidades em operação procurando verificar a propagação das falhas sobre os outros componentes do sistema e as implicações para a segurança das instalações.
- No contexto de uma análise global de riscos, tanto de sistemas na fase de projeto, como de

APLICAÇÃO DA FMEA-FMECA?

A FMEA/FMECA é muito útil para avaliar um projeto, pois identifica os efeitos de cada modo de falha sobre os demais componentes e sobre o sistema e estabelece sugestões de melhorias do projeto no sentido de evitar ou mitigar os efeitos das falhas, critérios para realização de testes, programas de manutenção e elaboração de rotinas operacionais.

Além disso, a FMEA/FMECA é de grande valia, como precursora de uma análise através de Árvores de Falhas. O conhecimento adquirido durante a execução da FMEA/FMECA ajuda bastante a etapa de construção da Árvore de Falhas, pois a análise sistemática de todos os modos de falhas e dos efeitos dessas falhas ajuda a evitar que modos de falhas importantes deixem de ser considerados ou que aqueles modos de falhas sem importância sejam modelados detalhadamente.

APLICAÇÃO DA FMEA-FMECA?

A análise de FMEA/FMECA, é desenvolvida pela pergunta: Como pode esta unidade (componente, subsistema, ...) falhar? Para assumir uma análise sistemática e completa, é prático utilizar um formulário especial de FMEA/FMECA, o qual lista as informações necessárias. Um formulário de FMECA utilizado na Tecnologia Submarina do CENPES é apresentado na página seguinte.

Os formulários em geral, a depender da norma adotada, tem os seguintes campos principais:

Ativo, Unidade, Data, Subsistema, Número Desenho, Item (Componente), Função, Modo de Falha, Causas de Falha, Efeitos sobre outros Componentes e sobre o Sistema, Modos de Detecção, Categorias de Freqüência(F), Severidade(S) e Risco(R), Ações/Observações/Recomendações e Responsável.

PETROBRAS

PETRÓLEO BRASILEIRO S.A. PETROBRAS

CENPES/TECNOLOGIA SUBMARINA

FMECA - (ANÁLISE DE MODOS, EFEITOS E CRITICIDADE DE FALHAS)

Ativo:	Unidade:	Data:
Subsistema:		Nº Desenho:

Item	Função	Modo de Falha	Causas de Falha	Efeitos		Modos de Detecção	F	S	R	Ações/Observações/Recomendações: Responsável:
				sistema	componentes					
										R01)
										R02)
										R03)
										R04)
										R05)
										R06)
										R07)
										R08)
										R09)
										R010)
										R011)
										R012)
										R013)
										R014)
										R015)

ETAPAS DO PROCESSO

- Diagrama de blocos funcional;
- Identificação de cada item – componente e suas função;
- Todos os modos de falhas prováveis de cada componente e suas causas, incluindo mecanismos de falhas;
- Efeitos de cada modo de falha sobre os outros componentes e sobre o sistema;
- Estimativa da categoria de severidade (S) de cada modo de falha;
- Estimativa da categoria de freqüência de ocorrência de cada modo de falha;
- Estimativa dos modos de detecção das falhas;
- Ações, Observações e recomendações, dentro do sistema, que possam mitigar os efeitos das falhas;

DADOS NECESSÁRIOS

- Fluxograma de engenharia do sistema (Diagramas de Tubulação e Instrumentação P&ID’s);
- Diagrama de fluxo de processo (PFD);
- Memorial descritivo do sistema, incluindo a filosofia do projeto;
- Lista de equipamentos do sistema;
- Desenhos de engenharia dos equipamentos incluindo detalhes de projeto;
- Folhas de dados de todos os equipamentos da instalação;
- Dados de projeto de instrumentos, válvulas de controle, etc.;
- Dados de projeto e “setpoints” de todas as válvulas de alívio, discos de ruptura, etc.;
- Relatórios de manutenção, Especificações e Padrões

EQUIPE

Função	Perfil/Atividades
Líder de Equipe	**De preferência deve ser um engenheiro com espírito de liderança e especializado na técnica de FMEA/FMECA, cabendo-lhe as seguintes atividades:** **1. Providenciar a documentação necessária;** **2. Convocar os especialistas de acordo com o tipo de equipamento que estiver sendo analisado;** **3. Planejar a análise;** **4. Conduzir a análise;** **5. Divulgar os resultados;** **6. Acompanhar a execução das recomendações.**

EQUIPE

Função	Perfil/Atividades
Secretário	**Pessoa responsável pelo preenchimento da planilha, devendo ser capaz de sintetizar de forma clara e objetiva os resultados das discussões do grupo.**
Represen-tante da Operação	**Pessoa que entenda a operação do sistema, as funções de cada um dos componentes do sistema e os efeitos que as falhas acarretam sobre os demais componentes e sobre o sistema.**

EQUIPE

Função	Perfil/Atividades
Representante da Manutenção	**Pessoa que conhece os componentes e os problemas ocorridos com os mesmos a nível de detalhes e/ou dispõe do histórico de manutenção de componentes similares ao analisado.**
Especialista em Instrumentação e Controle	**Este membro deve participar quando da análise de componentes que envolvam intrumentação e/ou controle.**

PADRÕES DE FMEA-FMECA



MIL - STD - 1629A

IEC - 60812

SAE J 1739

SAE AIR 4845

API - 581

CONSULTORAS

(Por Exemplo: DNV, ABS, BV, Reliasoft, Dyadem, EIDOS, etc)

PETROBRÁS - ONSHORE

PETROBRÁS - OFFSHORE (SINTEF)

INDÚSTRIA AUTOMOTIVA BRITÂNICA E AMERICANA

(Por Exemplo fabricantes: FORD, GM, VOLKS etc)

PE-2B-00012-B (ANÁLISE DE MODOS, EFEITOS E CRITICIDADE DE FALHAS (FMEA/FMECA) do CENPES

PADRÃO DA MIL - STD

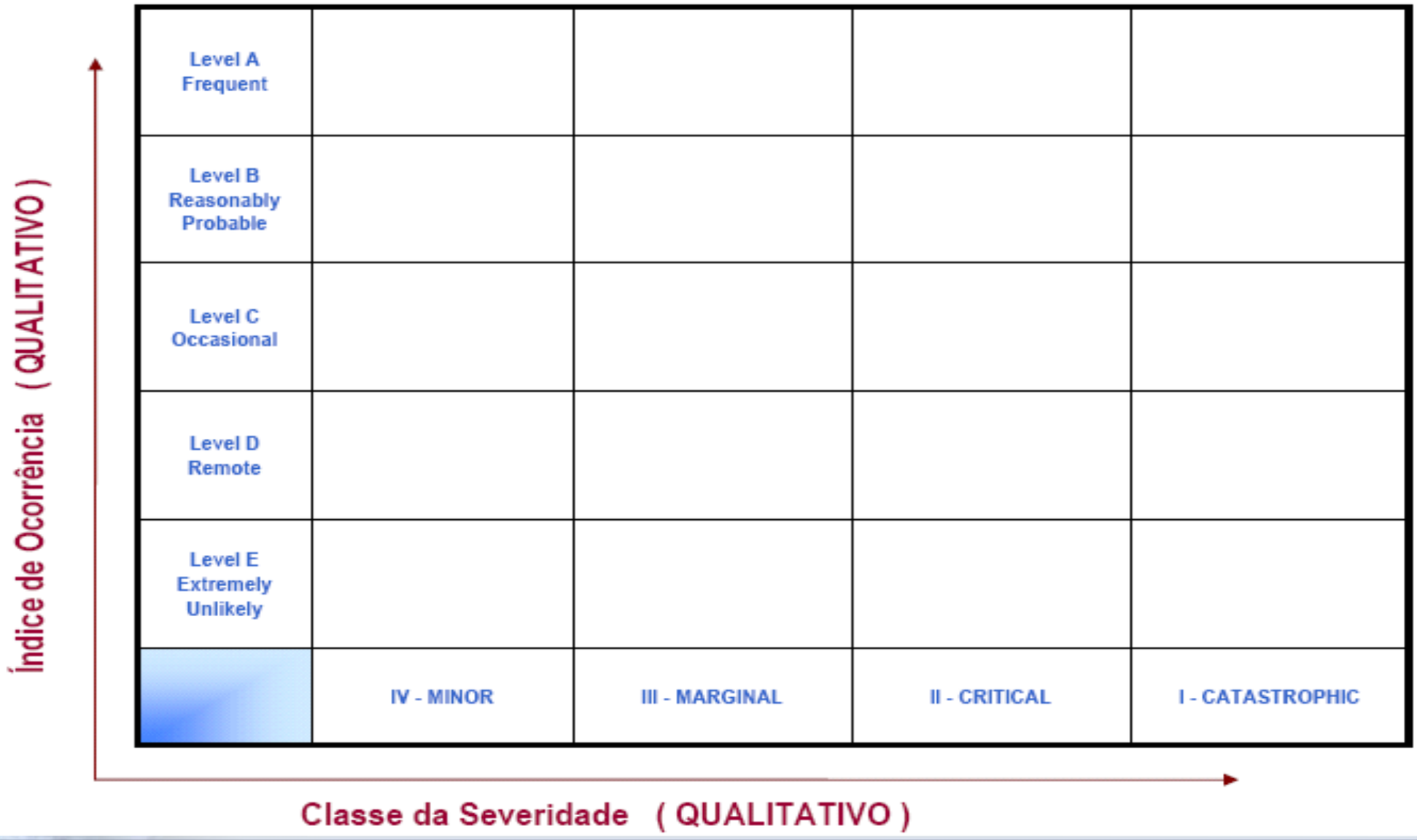
CRITICALITY ANALYSIS - Qualitative Analysis

A

IDENTIFICATION NUMBER	ITEM/FUNCTIONAL IDENTIFICATION (NOMENCLATURE)	FUNCTION	FAILURE MODES AND CAUSES	MISSION PHASE/ OPERATIONAL MODE	SEVERITY CLASS.	FAILURE PROBABILITY	OPERATING TIME (t)	REMARKS

PADRÃO DA MIL - STD

CRITICALITY MATRIX – Qualitative Analysis 1629A



PADRÃO DA MIL - STD

CRITICALITY ANALYSIS - Quantitative Analysis

IDENTIFICATION NUMBER	ITEM/FUNCTIONAL IDENTIFICATION (NOMENCLATURE)	FUNCTION	FAILURE MODES AND CAUSES	MISSION PHASE/ OPERATIONAL MODE	UNRELIABILITY DATA SOURCE	FAILURE EFFECT PROBABILITY (β)	FAILURE MODE RATIO (α)	ITEM UNRELI ABILITY	OPERATING TIME (t)	FAILURE MODE CRIT # Cm	ITEM CRIT # Cr	REMARKS

PADRÃO DA MIL - STD

FMECA STANDARD

ITEMS	OPERATING TIME	ITEM UNRELIABILITY	FUNCTIONS	FAILURES AND CAUSES	MODE RATIO OF UNRELIABILITY	PROBABILITY OF LOSS	MODE CRITICALITY	ITEM CRITICALITY

PADRÃO DA MIL - STD

CRITICALITY RANKS

ITEMS	ITEM CRITICALITY	FAILURES AND CAUSES	MODE CRITICALITY

PADRÃO DA MIL - STD

CRITICALITY MATRIX – Quantitative Analysis

1629A



PADRÃO DA MIL - STD

Índices

Classe da Severidade - QUALITATIVO (tabelado)

α = Relação do Modo de Falha - QUANTITATIVO (calculado)

β = Probabilidade de Perda da Função - QUALITATIVO (tabelado)

Índice de Ocorrência - QUALITATIVO (tabelado)

F(t) = Probabilidade de Falha – F(t) - QUANTITATIVO (calculado)

Ciclagem - QUALITATIVO (Ponderado)

C_M = Criticidade do Modo de Falha - QUANTITATIVO (calculado)

C_R = Criticidade do Item - QUANTITATIVO (calculado)

A norma MIL-STD-1629A utiliza um critério adicional no cálculo da criticidade que é:

$$C_R = \sum_{i=1}^{N} (C_M)_i \qquad C_M = \beta . \alpha . \lambda_p . t \qquad C_M = \beta . \alpha . F(t)$$

PADRÃO DA MIL - STD

Classe da Severidade (Tabelado)

São medidas qualitativas classificando as piores conseqüências potenciais que resultam em erro de projeto ou a falha do equipamento ou componente. Como na FMEA, uma tabela com CATEGORIAS DE SEVERIDADE será usada qualitativamente pela Equipe FMECA.

" Severity classification.

Severity classifications are assigned to provide a qualitative measure of the worst potential consequences resulting from design error or item failure. A severity classification shall be assigned to each identified failure mode and each item analyzed in accordance with the loss statements below. Where it may not be possible to identify an item or a failure mode according to the loss statements in the four categories below, similar loss statements based upon loss of system inputs or outputs shall be developed and included in the FMECA ground rules for procuring activity approval. Severity classification categories which are consistent with MIL-STD-882 severity categories "

Severity Classificatio 1629A

S	DESCRIPTION		CRITERIA
1	IV	Minor	A failure not serious enough to cause injury, property damage, or system damage, but which will result in unscheduled maintenance or repair.
2	III	Marginal / Major	A failure which may cause minor injury, minor property damage, or minor system damage which will result in delay or loss of availability or mission degradation.
3	II	Critical / Hazardous	A failure which may cause severe injury, major property damage, or major system damage which will result in mission loss.
4	I	Catastrophic	A failure which may cause death or weapon system loss (i.e. aircraft, tank, missile, ship, etc.).

PADRÃO DA MIL - STD 1629A

Relação do Modo de Falha (Calculado) – α

É a relação entre o volumes de uma determinada falha e o total de falhas observadas num mesmo equipamento ou componente. Sendo uma fração decimal do item, a soma destas resultam 1, ou seja, 100% de falhas observadas no mesmo equipamento ou componente.

" Failure mode ratio (∝).

The fraction of the part failure rate (lambdap) related to the particular failure mode under consideration shall be evaluated by the analyst and recorded. The failure mode ratio is the probability expressed as a decimal fraction that the part or item will fail in the identified mode. If all potential failure modes of a particular part or item are listed, the sum of the ∝ values for that part or item will equal one. Individual failure mode multipliers may be derived from failure rate source data or from test and operational data. If failure mode data are not available, the ∝ values shall represent the analyst's judgement based upon an analysis of the item's functions. "

MODOS DE FALHA	TEMPOS ATÉ FALHA			α
Modo de Falha A	20	35	84	0,6
Modo de Falha B	9	15	–	0,4

Probabilidade de Perda da Função (Tabelado) – β

É a probabilidade condicional e subjetiva de determinado equipamento/componente perder sua função primária quando há a ocorrência do Modo de Falha analisado.

" Failure effect probability (β).

The β values are the conditional probability that the failure effect will result in the identified criticality classification, given that the failure mode occurs. The β values represent the analyst's judgment as to the conditional probability the loss will occur and should be quantified in general accordance with the following: "

Probability of Loss	
Actual loss	1.00
Probable loss	> 0.10 to < 1.00
Possible loss	> 0 to = 0.10
No effect	0

PADRÃO DA MIL - STD

Índice de Ocorrência (Tabelado)

É a probabilidade ESTIMADA da Ocorrência de Falhas, quando não há nenhum registro de ocorrências ou dados de Falhas.

" Qualitative approach.

Failure modes identified in the FMEA are assessed in terms of probability of occurrence when specific parts configuration or failure rate data are not available. Individual failure mode probabilities of occurrence should be grouped into distinct, logically defined levels, which establish the qualitative failure probability level for entry into the appropriate CA worksheet column. Probability of occurrence levels are defined as follows: "

Failure Probability 1629A

O	DESCRIPTION	CRITERIA
1	Level E Extremely Unlikely	Probability of occurrence is essentially zero during item operating time interval. A single failure mode probability of occurrence is less than 0.001 of the overall probability of failure during the item operating time.
2	Level D Remote	An unlikely probability of occurrence during item operating time interval. A single failure mode probability of occurrence is more than 0.001 but less than 0.01 of the overall probability of failure during the item operating time.
3	Level C Occasional	An occasional probability of occurrence during item operating time interval. A single failure mode probability of occurrence is more than 0.01 but less than 0.10 of the overall probability of failure during the item operating time.
4	Level B Reasonably Probable	A moderate probability of occurrence during the item operating time interval. A single failure mode probability of occurrence is more than 0.10 but less than 0.20 of the overall probability of failure during the item operating time.
5	Level A Frequent	A high probability of occurrence during the item operating time interval. A single failure mode probability greater than 0.20 of the overall probability of failure during the item operating time interval.

PADRÃO DA MIL - STD

Probabilidade de Falha (Calculado) – $F_{(t)}$

1629A

É a probabilidade CALCULADA da Ocorrência dos Modos de Falhas ao longo do Tempo com base em dados de Tempos até Falhas levantados anteriormente.

" Failure probability/failure rate data source.

When failure modes are assessed in terms of probability of occurrence, the failure probability of occurrence level shall be listed. When failure rate data are to be used in the calculation of criticality numbers, the data source of the failure rates used in each calculation shall be listed. When a failure probability is listed, the remaining columns are not required and the next step will be the construction of a criticality matrix "

$$F(t) = 1 - R(t)$$

Ciclagem (Ponderado)

É o Tempo de Operação que se pretente analisar as Criticidades da FMECA. Esta grandeza deve ser ponderada junto à Equipe.

" Operating time (t).

The operating time in hours or the number of operating cycles of the item per mission shall be derived from the system definition and listed on the worksheet. "

PADRÃO DA MIL - STD

Criticidade do Modo de Falha (Calculado) – C_M

1629A

É a medida QUANTITATIVA da Criticidade de determinado Modo de Falha de um equipamento ou componente.

" Failure mode criticality number (C_M).

The value of the failure mode criticality number (Cm) shall be calculated and listed on the worksheet. Cm is the portion of the criticality number for the item due to one of its failure modes under a particular severity classification. For a particular severity classification and operational phase, the Cm for a failure mode may be calculated with the following formula: "

$$C_M = \alpha \times \beta \times F(t)$$

Criticidade do Modo de Falha (Calculado) – C_R

É a medida QUANTITATIVA da Criticidade do Item ou Componente conforme seus Modos de Falhas.

" Item criticality numbers (C_R).

The second criticality number calculation is for the item under analysis. Criticality numbers (Cr) for the items of the system shall be calculated and listed on the worksheet. A criticality number for an item is the number of system failures of a specific type expected due to the item's failure modes. The specific type of system failure is expressed by the severity classification for the item's failure modes. For a particular severity classification and mission phase, the Cr for an item is the sum of the failure mode criticality numbers, Cm, under the severity classification and may also be calculated using the following formula: "

$$C_R = \Sigma (C_M)$$

PADRÃO PETROBRÁS - ONSHORE

Categoria de Severidade

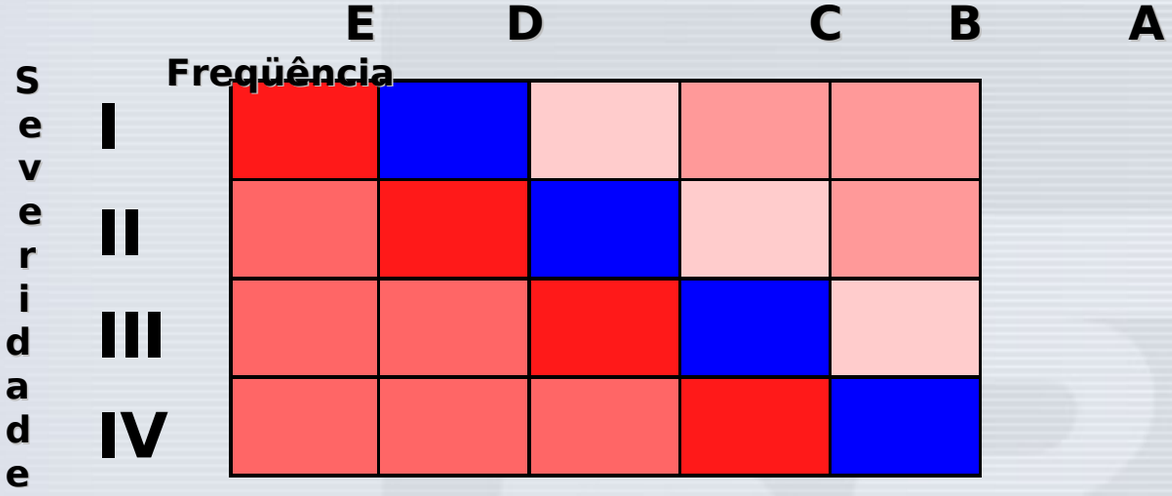
Categoria	Classificação	Efeito
IV	Desprezível	Nenhum efeito sobre o sistema.
III	Marginal	Pequena perda de produção ou de qualidade do produto. Pequena ameaça ao sistema, ao pessoal operacional ou ao meio-ambiente. Não é necessário o desligamento do sistema.
II	Crítica	Grande perda de produção ou de qualidade do produto. Ameaça significativa ao sistema, ao pessoal operacional, à população ou ao meio-ambiente. É necessário o desligamento ordenado do sistema.
I	Catastrófica	Grande perda de produção ou de qualidade do produto por extenso período de tempo. Ameaça severa ao sistema , ao pessoal ou à população. Degradação do sistema podendo causar a sua perda total e/ou mortes do pessoal (funcionários ou população)

Categoria de Freqüência

Categoria	Denominação	Faixa de Freqüência (/ano)	Descrição
E	Extremamente Remota	$f < 10^{-4}$	Conceitualmente possível, mas extremamente improvável de ocorrer
D	Remota	$10^{-3} > f > 10^{-4}$	Não esperando ocorrer durante a vida útil da instalação.
C	Improvável	$10^{-2} > f > 10^{-3}$	Pouco provável de ocorrer durante a vida útil da instalação.
B	Provável	$10^{-1} > f > 10^{-2}$	Esperando ocorrer até uma vez durante a vida útil da instalação.
A	Freqüente	$f > 10^{-1}$	Esperando ocorrer várias vezes durante a vida útil da instalação.

PADRÃO PETROBRÁS - ONSHORE

Riscos



Severidade	Freqüência
IV Desprezível	E Extremamente Remota
III Marginal	D Remota
II Crítica	C Improvável
I Catastrófica	B Provável
	A Freqüente

Risco
1 Desprezível
2 Menor
3 Moderado
4 Sério
5 Crítico

PETROBRAS/CENPES/TECNOLOGIA SUBMARINA

PLANILHA DA FMECA (FAILURE MODE, EFFECTS AND CRITICALITY ANALYSIS) DOS DUTOS DE EXPORTAÇÃO DA P-52

30/07/03

Sistema: 1. Oleoduto de exportação 18" - P-52 / PRA-1 - 1ARO-018-01 - OPÇÃO 1

Subsistema: 1. Junta Flexível(flex joint) com flange e anel BX-163 GI: DP1

Modos de Falha	Efeitos	S	L	RR	Salvaguardas	Recomendações	Resp.
1. Vazamento por corrosão no flange do corpo	1. Falha da vedação	4	2	8	1. Protecao catodica do SCR	1. Acompanhar a especificacao do fluido exportado. 2. Inspeção visual externa. 23. Acompanhamento criterioso do projeto da interface de proteção catódica do SCR com a P-52. 30. Desenvolver Plano de Contingência para reparo e/ou substituição da flex joint. 33. Desenvolver Plano de Manutenção e Inspeção.	Operação Inspeção Projeto Projeto + Inspeção Projeto + Manutenção + Inspeção
2. Perda de propriedades da flexjoint por corrosao no flange do corpo	1. Trincas ou rasgo	5	1	5	1. Protecao catodica do SCR	3. Especificação de materiais compatíveis entre eles e com os fluidos. 23. Acompanhamento criterioso do projeto da interface de proteção catódica do SCR com a P-52. 30. Desenvolver Plano de Contingência para reparo e/ou substituição da flex joint. 33. Desenvolver Plano de Manutenção e Inspeção.	Projeto Projeto Projeto + Inspeção Projeto + Manutenção + Inspeção
3. Vazamento por corrosão ou erosão interna	1. Perda de selagem ou perda de sustentação do calço elastomérico.	5	2	10		1. Acompanhar a especificacao do fluido exportado. 3. Especificação de materiais compatíveis entre eles e com os fluidos. 30. Desenvolver Plano de Contingência para reparo e/ou substituição da flex joint. 33. Desenvolver Plano de Manutenção e Inspeção.	Operação Projeto Projeto + Inspeção Projeto + Manutenção + Inspeção
4. Vazamento por corrosão externa	1. Perda de espessura, colapso ou fratura 2. Perda do SCR	4 5	2 1	8 5	1. Proteção anti-corrosiva 2. Proteção catódica	2. Inspeção visual externa. 9. Inspeção interna com Pig de inspeção. 16. Acompanhamento criterioso do processo fabril da junta de campo. 21. Acompanhamento criterioso da qualificação do esquema de proteção anti-corrosiva e da sua execução. 23. Acompanhamento criterioso do projeto da interface de proteção catódica do SCR com a P-52. 30. Desenvolver Plano de Contingência para reparo e/ou substituição da flex joint. 33. Desenvolver Plano de Manutenção e Inspeção.	Inspeção Inspeção Inspeção Projeto + Inspeção Projeto Projeto + Inspeção Projeto + Manutenção + Inspeção
5. Ruptura do riser por corrosão externa	1. Perda do SCR	5	2	10	1. Proteção catódica 2. Proteção anti-corrosiva	2. Inspeção visual externa. 9. Inspeção interna com Pig de inspeção. 16. Acompanhamento criterioso do processo fabril da junta de campo. 21. Acompanhamento criterioso da qualificação do esquema de proteção anti-corrosiva e da sua execução. 23. Acompanhamento criterioso do projeto da interface de proteção catódica do SCR com a P-52.	Inspeção Inspeção Inspeção Projeto + Inspeção Projeto
6. Perda de propriedades da flexjoint por erosão interna	1. Trincas ou rasgo	5	1	5	1. Filtragem do óleo.	1. Acompanhar a especificacao do fluido exportado. 30. Desenvolver Plano de Contingência para reparo e/ou substituição da flex joint. 33. Desenvolver Plano de Manutenção e Inspeção.	Operação Projeto + Inspeção Projeto + Manutenção + Inspeção
7. Ruptura com queda do SCR, por falha estrutural ou construtiva do corpo ou da misula, falha na solda misula/SCR	1. Perda do SCR	5	1	5		2. Inspeção visual externa. 5. Acompanhamento criterioso do dimensionamento estrutural da flex joint. 6. Acompanhamento criterioso do processo fabril e sistema de qualidade. 7. Acompanhamento criterioso da qualificação da solda, da sua execução e da sua inspeção.	Inspeção Projeto Inspeção Inspeção

PADRÃO PETROBRAS TS

CATEGORIAS DE FREQÜÊNCIA DE OCORRÊNCIA DOS CENÁRIOS DE FALHAS				
Freqüência Evento Iniciador (FEI)	Estimativa da Classe do evento Iniciador	Freqüência (OC/ANO)	Nível de Confiança	FREQÜÊNCIA (L)
3	PROVÁVEL	FEI > 10^{-2}	BAIXO	5
			ALTO	4
2	POUCO PROVÁVEL	10^{-2} > FEI > 10^{-3}	BAIXO	4
			ALTO	3
1	QUASE IMPOSSÍVEL	FEI < 10^{-3}	BAIXO	2
			ALTO	1

Tabela 1 - *Avaliação das Categorias de Freqüência do Evento Iniciador* (FEI)

PADRÃO PETROBRAS TS

CATEGORIAS DE FREQÜÊNCIA DE OCORRÊNCIA DOS CENÁRIOS DE FALHAS			
FREQÜÊNCIA (L)	Denominação	Freqüência (OC/ANO)	Descrição
5	FREQÜENTE	$10^{-0} > L \geq 10^{-1}$ (Até 1 chance em 10 por ano)	ESPERADO OCORRER VÁRIAS VEZES DURANTE A VIDA ÚTIL DA INSTALAÇÃO
4	PROVÁVEL	$10^{-1} > L \geq 10^{-2}$ (Até 1 chance em 100 por ano)	ESPERADO OCORRER PELO MENOS UMA VEZ DURANTE A VIDA ÚTIL DA INSTALAÇÃO
3	IMPROVÁVEL	$10^{-2} > L \geq 10^{-3}$ (Até 1 chance em 1000 por ano)	POUCO PROVÁVEL DE OCORRER DURANTE A VIDA ÚTIL DA INSTALAÇÃO
2	REMOTA	$10^{-3} > L \geq 10^{-4}$ (Até 1 chance em 10.000 por ano)	TEORICAMENTE POSSÍVEL, PORÉM EXTREMAMENTE IMPROVÁVEL DE OCORRER DURANTE A VIDA ÚTIL DA INSTALAÇÃO
1	EXTREMAMENTE REMOTA	$10^{-4} > L \geq 10^{-5}$ (Até 1 chance em 100.000 por ano)	TEORICAMENTE POSSÍVEL, PORÉM EXTREMAMENTE REMOTA DE OCORRER DURANTE A VIDA ÚTIL DA INSTALAÇÃO

Tabela 1A - *Avaliação das Categorias de Freqüência* (L)

PADRÃO PETROBRAS TS

CATEGORIAS DE SEVERIDADE DA CONSEQUÊNCIA DOS CENÁRIOS DE FALHAS				
		DANOS CAUSADOS PELAS CONSEQUÊNCIAS		
SEVERIDADE (S)	Denominação	Segurança	Meio Ambiente	Operacionalidade
5	CATASTRÓFICA	Mortes e/ou perda total do sistema	100% do diâmetro do duto	Mais que 30 dias de parada
4	CRITICA	Morte e/ou danos maiores do sistema	50% do diâmetro do duto	15 dias de parada
3	MODERADA	Feridos e/ou danos médios do sistema	20% do diâmetro do duto	7 dias (1 semana) de parada
2	MARGINAL	Feridos e/ou danos leves do sistema	5% do diâmetro do duto	2 dias de parada
1	DESPREZIVEL	Sem feridos e/ou sem danos do sistema	1% do diâmetro do duto	Algumas horas de parada

Tabela 2 - Avaliação das Categorias de *Severidade da Conseqüência* (S)

MATRIZ DE RISCO DA FMECA DOS DUTOS DE EXPORTAÇÃO DA P-52

Likelihood \ Severity	1	2	3	4	5
5	5	10	15	20	25
4	4	8	12	16	20
3	3	6	9	12	15
2	2	4	6	8	10
1	1	2	3	4	5

PADRÃO PETROBRAS TS

FREQÜÊNCIA (L) \ SEVERIDADE (S)	1	2	3	4	5
5	5	10	15	20	25
4	4	8	12	16	20
3	3	6	9	12	15
2	2	4	6	8	10
1	1	2	3	4	5

Tabela 3 - *Matriz de Classificação de Riscos* (RR)

Categorias de Risco (RR)		Nivel de monitoramento / inspeção (requisitos minimos)
20 - 25	Alto	*Monitoramento / Inspeção Preditivo*
13 - 19	Médio	*Monitoramento / Inspeção de Detecção*
09 - 12	Baixo	*Monitoramento / Inspeção Básico*
00 - 08	Muito Baixo	*Nenhuma Ação a Tomar*

Tabela 4 – *Nivel de Monitoramento / Inspeção*

PADRÃO DA INDÚSTRIA

SMMT FAILURE MODE & EFFECTS ANALYSIS - DESIGN / PROCESS

FMEA NUMBER -----
SHEET--------- OF-----

Partor Asembly Name _____ Suppliers_____

Partor Assembly Number_____

Drawing issue _____

FMEA COMMITTEE

FMEA APPROVED NAME DATE SGNATURE

Amendments	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Date	Original									

ITEM	PART N◦ NAME ISSUE	FUNCTION OR PROCESS	FAILURE MODE	CAUSE OF FAILURE	CURRENT STATUS				RECOMMENDED CORRECTIVE ACTION	ACTION BY	ACTION TAKEN	REVISED STATUS			
					OCC	SEV	DET	RPN				OCC	SEV	DET	RPN

PADRÃO DA INDÚSTRIA

MÉTODO DOS FATORES DE PRIORIZAÇÃO DE RISCOS (FPR)

UTILIZA ÍNDICES NUMÉRICOS ENTRE 1 e 10

NUMA ESCALA CRESCENTE DE GRAVIDADE **PARA**

AVALIAR A :

S SEVERIDADE DOS EFEITOS DE UMA FALHA

O PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA DA FALHA

D CHANCE DE NÃO - DETECÇÃO DA FALHA

PADRÃO DA INDÚSTRIA

MÉTODO DOS FPR

DIRETRIZES PARA SEVERIDADE DAS FALHAS

ÍNDICE	EFEITO
1 ou 2	Nenhuma efeito sobre o sistema
3 ou 4	Efeito marginal na operação do sistema
5 ou 6	Efeito moderado na operação do sistema exigindo ações do operador
7 ou 8	Efeito crítico que demanda sistema de emergência e ameaça o pessoal
9 ou 10	Efeito catastrófico que causa a perda do sistema e fatalidades

PADRÃO DA INDÚSTRIA

MÉTODO DOS FPR

DIRETRIZES PARA A OCORRÊNCIA DAS FALHAS

ÍNDICE	PROBABILIDADE DE OCORRÊNCIA
1	Altamente improvável que a falha ocorra na vida útil do sistema. Taxa de falha : >1,0 E - 02 / h
2, 3 ou 4	Improvável, mas possível que a falha ocorra na vida útil do sistema. Taxa de falha : 1,0 E - 04 / h à 1,0 E - 02 / h
5 ou 6	Provável que a falha ocorra na vida útil do sistema. Taxa de falha : 1,0 E - 05 / h à 1,0 E - 04 / h
7 , 8 ou 9	Razoavelmente provável que a falha ocorra na vida útil do sistema. Taxa de falha : 1,0 E- 07 / h à 1,0 E - 05 / h
10	Altamente provável que a falha ocorra na vida útil do sistema. Taxa de falha : <1,0 E - 07 / h

PADRÃO DA INDÚSTRIA

MÉTODO DOS FPR

DIRETRIZES PARA A DETECÇÃO DAS FALHAS

ÍNDICE	CHANCE DE NÃO - DETECÇÃO
1	Altamente improvável que a falha não seja detectada pela operação. Probabilidade : <1,0 E - 06
2, 3 ou 4	Improvável, mas possível que a falha não seja detectada pela operação. Probabilidade : 1,0 E - 04 à 1,0 E - 06
5 ou 6	Provável que a falha não seja detectada pela operação. Probabilidade : 1,0 E - 0 3 à 1,0 E - 04
7 , 8 ou 9	Razoavelmente provável que a falha não seja detectada pela operação. Probabilidade : 1,0 E- 01 à 1,0 E - 03
10	Altamente provável que a falha não seja detectada pela operação. Probabilidade : >1,0 E - 01

MÉTODO DOS FATORES DE PRIORIZAÇÃO DE RISCOS (FPR)

O FATOR DE PRIORIZAÇÃO DO RISCO PARA CADA FALHA É DADO PELO PRODUTO

$$FPR = S \times O \times D$$

S , O , D SÃO ÍNDICES SUBJETIVOS USUALMENTE ASSOCIADOS A EXPRESSÕES LINGUÍSTICAS PARA FACILITAR A AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE CADA CENÁRIO DE FALHA

INTERPRETAÇÕES NUMÉRICA x LINGUÍSTICA

UMA COMBINAÇÃO DE ÍNDICES TAL COMO

S = 6, O = 3, D = 8 ⇒ FPR = 144

EQUIVALE A UMA FALHA DE EFEITO MODERADO QUE TEM UMA PEQUENA PROBABILIDADE DE OCORRER NA VIDA ÚTIL DO SISTEMA, MAS QUE PROVAVELMENTE NÃO SERÁ DETECTADA PELA OPERAÇÃO, EM CIRCUNSTÂNCIAS NORMAIS.

PADRÃO DA INDÚSTRIA

FPR NA TOMADA DE DECISÃO

CRITÉRIO DE ACEITABILIDADE

FPR < 125	⇒	ACEITÁVEL
125 ≤ FPR ≤ 200	⇒	REDUÇÃO DESEJ ÁVEL
FPR > 200	⇒	INACEITÁVEL

SOFTWARES:

-Planilha Word ou Excel;

-XFMEA da Reliasoft,

ReliaSoft's **Xfmea** software facilitates the FMEA/FMECA analysis process and provides flexible data management and reporting capabilities. For more information on this analysis technique, you can consult our summary of theoretical and practical references on the subject.

-FMEA-Pro 6 da Dyadem.

Improves the quality and reliability of any manufactured product by conducting FMEA



FMEA Info Centre

FMEA Info Centre is a WWW information library dedicated to FMEA - Failure Mode and Effects Analysis is an easy to use and yet powerful pro-active engineering quality method that helps you to identify and counter weak points in the early conception phase of products and processes. The structured approach makes it easy to use and even for non-specialist a valuable tool. The benefits obtained encompass by large the investments in time and resources to execute the analysis.

www.reliaSoft.com

www.dyadem.com.

www.itemsoft.com.

www.dyadem.com.

BIBLIOGRAFIA



Stamatis D. H. Failure Mode and Effect Analysis – FMEA training manual, Southgate, Mich., Contemporary Consultants, 1989,1991,1992.

ISO9000

QS9000

CENPES/PDP/TS AGRADECE



- F I M

- OBRIGADO PELA ATENÇÃO
  E OPORTUNIDADE !