

FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) & FMECA (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis)

Turma 3 - Grupo 3

Guilherme Hideki Saito Diniz - N°USP: 10404253

Matheus Borghi Inocêncio - N°USP: 10335635

Pedro Henrique Silva - N°USP: 10334620

Renato Okabayashi Miyaji - N°USP: 10332441

Vinicius dos Santos Miranda - N°USP: 10335510

Agenda

1. O que é FMEA?
 - a. Introdução
 - b. Vantagens
 - c. Método
2. O que é FMECA?
 - a. Introdução
 - b. Principais Diferenças
3. Estudo de Caso: A Aplicação do FMEA na Indústria de Petróleo do Irã
4. Conclusão
5. Referências Bibliográficas

Agenda

1. O que é FMEA?

- a. Introdução
- b. Vantagens
- c. Método

2. O que é FMECA?

- a. Introdução
- b. Principais Diferenças

3. Estudo de Caso: A Aplicação do FMEA na Indústria de Petróleo do Irã

4. Conclusão

5. Referências Bibliográficas

O que é FMEA?

Failure Mode and Effect Analysis

- Processo **sistemático e metodológico** utilizado para a identificação de potenciais modos de falha, suas causas e seus efeitos.
- Desenvolvido na década de 1950 e utilizado amplamente no setor aeroespacial.



(NASA, 1969)

O que é FMEA?

Objetivo:

- **Identificar** potenciais modos de falha de um produto ou processo de forma a **avaliar o risco** associado a eles, para que sejam **classificados** em termo de importância e então receber **ações corretivas** com o intuito de diminuir a incidência de falhas e **documentar** todo o processo de análise.

Vantagens:

- Aprimoramento do **conhecimento dos problemas** no processo ou produto;
- Método **sistemático e objetivo**;
- Estabelecimento de um sistema de **prioridades**;
- Permite a **avaliação** das medidas a serem tomadas para correção.

O Método FMEA

Conceitos Fundamentais:

- **Modo de Falha:** evento que causa uma falha funcional.
- **Falha funcional:** incapacidade de cumprir uma função para um padrão de desempenho aceitável para o usuário.

Equipe FMEA:

- Deve conter um membro especialista em cada área envolvida no processo;
- De 5 a 7 membros;
- Líder: engenheiro de processo;
- Tarefas:
 - Identificar problemas;
 - Propor ideias;
 - Recomendar análises e técnicas.

O Método FMEA

1- Detalhamento dos Modos de Falha

- Utilização de níveis de detalhamento;
- Nível máximo: 7.

Exemplo: Falha na Bomba

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4	Nível 5	Nível 6
Falha na bomba	Falha no Rotor	Rotor se desprende	Falha na Porca de Fixação	Falta de aperto na Porca	Erro de Montagem

(FOGLIATTO, 2011)

O Método FMEA

- Na dúvida, escolher o maior valor.
- No caso de impasse, adotar média.

2 - Determinação do nível de Ocorrência (O)

Ocorrência	Valor	Taxa de Falha	Critérios
Quase nunca	1	1/1.500.000	Falha improvável/ Sem ocorrência histórica
Mínima	2	1/150.000	
Ocorrem raramente	3	1/15.000	Poucas falhas podem ocorrer
Baixa	4	1/2.000	
Falhas ocasionais	5	1/400	Algumas falhas podem ocorrer

Ocorrência	Valor	Taxa de Falha	Critérios
Moderada	6	1/80	Algumas falhas podem ocorrer
Ocorre com frequência	7	1/20	Alto número de falhas
Alta	8	1/8	
Muito Alta	9	1/3	Falhas historicamente certas
Quase certa	10	1/2	

O Método FMEA

- Na dúvida, escolher o maior valor.
- No caso de impasse, adotar média.

3 - Determinação do nível de Severidade (S)

Efeito	Valor	Critérios
Nenhum	1	Nenhum efeito sobre o produto ou processo
Mínimo	2	
Muito pequeno	3	Causa pequeno incômodo ao usuário
Pequeno	4	
Moderado	5	Resulta em falha em componente não vital

Efeito	Valor	Critérios
Significativo	6	Resulta em falha em componente não vital
Grande	7	Usuário insatisfeito; Produto gravemente afetado, mas funcional
Extremo	8	
Sério	9	Não atende a critérios mínimos de segurança
Catastrófico	10	

O Método FMEA

- Na dúvida, escolher o maior valor.
- No caso de impasse, adotar média.

4 - Determinação do nível de Detecção (D)

Detecção	Valor	Critérios
Quase certa	1	Controles atuais detectam falha quase certa
Muito alta	2	
Alta	3	Grandes chances de detecção
Moderadamente alta	4	
Média	5	Média chance de detecção

Detecção	Valor	Critérios
Baixa	6	Média chance de detecção
Muito baixa	7	Chance muito baixa de detecção
Mínima	8	
Rara	9	Não existem controles que detectam essa falha
Quase impossível	10	

O Método FMEA

5 - Cálculo do RPN (Risk Priority Number)

- Modo de falha é analisado se $RPN > 50$;
- Modo de falha é analisado se apresentar alta severidade;
- Deseja-se atuar sobre 95 % dos modos de falha prioritários.

$$RPN = O \times S \times D$$

O Método FMEA

6 - Recomendação de ações para os modos de falha

- Definidas pela equipe FMEA;
- Propostas por especialistas.

7 - Previsão dos novos índices esperados (O', S' e D')

- Estimativa do impacto das ações tomadas;
- Conferência da eficiência do impacto.

O Método FMEA

Análise de Modos de Falha (FMEA)

Análise de Modos de Falha (FMEA)															
Número do FMEA				Modelo/ Produto				Data de Conclusão				Equipe			
Identificação				Departamento Responsável				Data do FMEA				Data de Revisão			
Função	Modo de Falha	Efeitos da Falha	S	Causa da Falha	O	Deteccção	D	RPN	Ações	Responsáveis	S'	O'	D'	RPN'	

Agenda

1. O que é FMEA?
 - a. Introdução
 - b. Vantagens
 - c. Método
2. **O que é FMECA?**
 - a. **Introdução**
 - b. **Principais Diferenças**
3. Estudo de Caso: A Aplicação do FMEA na Indústria de Petróleo do Irã
4. Conclusão
5. Referências Bibliográficas

O que é FMECA?

Failure mode, effects and criticality analysis

- Tem como objetivo identificar potenciais modos de falha de forma a avaliar seus riscos, classificando-os em termos de importância e, posteriormente, recebendo ações corretivas;
- Estabelece ligações entre os modos de falha, seus efeitos para o processo e as causas de falha;
- Suas aplicações se dão principalmente no campo aeroespacial, como por exemplo, seu uso pela NASA no programa Apollo em 1966.



(NASA, 1969)

O que é FMECA?

Diferenças para o FMEA:

- Realiza análises mais detalhadas e que levam a resultados mais precisos;
- Utiliza de uma análise de criticidade para mapear a probabilidade dos modos de falha com a gravidade de suas consequências.

Vantagens:

- Aumento de confiabilidade;
- Melhor qualidade;
- Maior margem de segurança;
- Otimização de manutenção preditiva e preventiva.

O Método FMECA

Procedimentos:

- Transferir o resultado do método FMEA para FMECA;
- Classificar os efeitos da falha por sua gravidade;
- Análise de criticidade;
- Ranquear a criticidade dos modos de falha e determinar os itens de maior risco;
- Desenvolver ações de mitigação e documentar os riscos restantes;
- Acompanhamento das correções e da eficácia das ações corretivas.

O Método FMECA

Exemplo - Classificação dos efeitos da falha por sua gravidade: MIL-STD-882D

Categoria	Descrição	Critério
I	Catastrófico	Pode resultar em morte, invalidez total permanente, perda superior a US\$1 milhão ou danos ambientais graves irreversíveis.
II	Crítico	Incapacidade parcial permanente, ferimentos ou doenças que resultem em hospitalização de 3 ou mais funcionários, perda superior a US\$200 mil e danos ambientais reversíveis.
III	Marginal	Ferimentos ou doenças, resultando em um ou mais dias perdidos de trabalho, perda superior a US\$10.000, mas inferior a US\$200 mil, mas inferior a US\$1 milhão, ou danos ambientais mitigáveis sem violação da lei ou regulamentação.
IV	Negligenciável	Ferimentos leves ou doenças que não resultam em perda de um dia de trabalho, perda superior a US\$2 mil, mas inferior a US\$10 mil ou danos ambientais mínimos.

O Método FMECA

Exemplo - Ranqueamento Quantitativo da Criticidade

- Número de Criticidade Modal:
calculado para cada modo de falha de
uma determinada categoria.

$$C_m = \lambda_p \cdot \alpha \cdot \beta \cdot t$$

λ_p : taxa básica de falhas

α : razão do modo de falha

β : probabilidade condicional

t : duração da fase da missão

- Número de Criticidade:
calculado para cada categoria.

$$C_r = \sum_{n=1}^N (C_m)_n$$

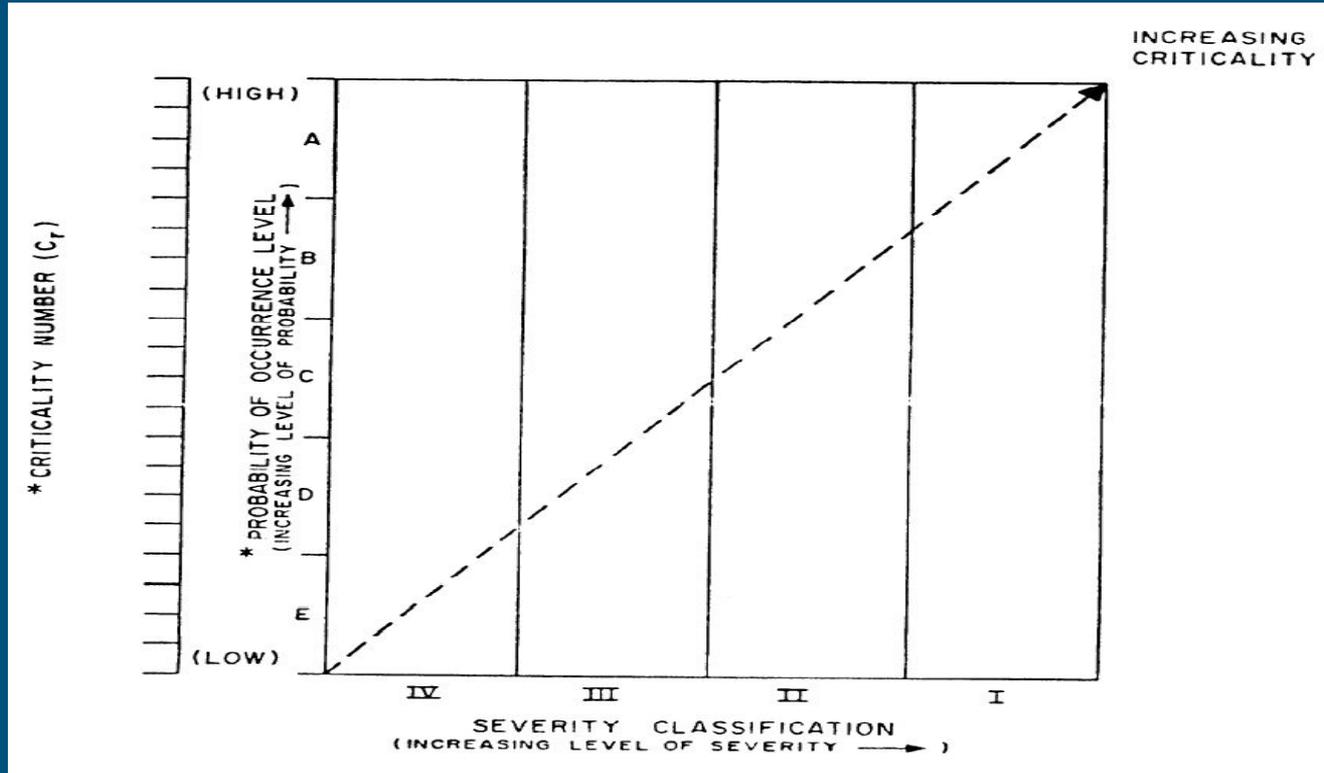
O Método FMECA

Exemplo - Ranqueamento Qualitativo da Criticidade: MIL-STD-882D

Descrição	Nível	Ítem Individual	Frota
Frequente	A	Provável de ocorrer frequentemente, com probabilidade maior que 10%.	Continuamente experimentado.
Provável	B	Ocorrerá muitas vezes, com probabilidade maior que 1% e menor que 10%.	Ocorrerá frequentemente.
Ocasional	C	Provável de ocorrer alguma vez, com probabilidade menor que 1% e maior que 0,1%.	Ocorrerá muitas vezes.
Remoto	D	Improvável mas possível de acontecer, com probabilidade maior que 0,0001% e menor que 0,1%.	Improvável, mas sua ocorrência pode ser razoavelmente esperada.
Improvável	E	Tão improvável, pode-se assumir que a ocorrência pode não ser experimentada.	Improvável de ocorrer, mas possível.

O Método FMECA

Matriz de Criticidade



(Department of Defense, 1980)

Agenda

1. O que é FMEA?
 - a. Introdução
 - b. Vantagens
 - c. Método
2. O que é FMECA?
 - a. Introdução
 - b. Principais Diferenças
3. **Estudo de Caso: A Aplicação do FMEA na Indústria de Petróleo do Irã**
4. Conclusão
5. Referências Bibliográficas

Estudo de Caso

A Aplicação do FMEA na Indústria de Petróleo do Irã

- *Sepahan Oil Company*;
- Comercializa petróleo e produtos petroquímicos no mundo;
- É conhecida por marcas como *Exxon*, *Esso* e *Mobil*;
- Histórico em gerenciamento de resíduos e acessibilidade de dados;

Estudo de Caso

Por que aplicar a metodologia FMEA?

Linha de Desperdício			
Linha de Produção (L)	Produção (%)	Preenchimento (%)	Total (%)
1	1	0,1	1,1
4	6	1	7
20	-	0,001	0,001
210	-	0,002	0,002

(HEKMATPANAHA et al., 2011)

Estudo de Caso

Metodologia

- Criação de uma equipe multidisciplinar
- Identificação dos potenciais modos de falha
- Avaliação do nível de severidade (S)
- Determinação do nível de ocorrência (O)
- Determinação do nível de detecção (D)
- Cálculo do RPN
- Definição do plano de ação
- Recalcular o RPN

Estudo de Caso

Base de dados

- Relatórios e documentos internos;
- Entrevistas e relatos de funcionários;

Estudo de Caso

Modos de falha

- **Corte de chapas;**
- **Soldagem;**
- Selagem inferior;
- Transporte da seção de selagem para preenchimento;
- Preenchimento;
- Selagem superior.

Estudo de Caso

Corte de chapas				
Modos de falha	Desperdício (%)	Efeito	Causa	Forma de controle
Chapas com dimensões imprecisas	0,11	Desperdício de materiais metálicos	Fornecedor	Inexistente
Chapa com dureza fora das especificações	0,09	Desperdício de materiais metálicos	Fornecedor	Inexistente
Chapa com espessura maior ou menor	0,60	Desperdício de materiais metálicos	Fornecedor	Inexistente
Máquina não ajustada corretamente	0,15	Desperdício de materiais metálicos	Operador	Inexistente

(HEKMATPANAH et al, 2011)

Estudo de Caso

Corte de chapas					
Modos de falha	Desperdício (%)	S	O	D	RPN
Chapas com dimensões imprecisas	0,11	5	5	2	50
Chapa com dureza fora das especificações	0,09	3	2	2	12
Chapa com espessura maior ou menor	0,60	4	4	2	32
Máquina não ajustada corretamente	0,15	8	6	6	288

(HEKMATPANAHA et al, 2011)

Estudo de Caso

Soldagem

Modos de Falha	Desperdício (%)	Efeito	Causa	Forma de controle
Máquina não ajustada corretamente	0,60	Desperdício de estrutura de barras	Operador	Periodicamente
Partes desgastadas	0,50	Desperdício de estrutura de barras	Operador	Semanalmente
Eletrodo fora das especificações	0,40	Desperdício de estrutura de barras	Operador	Diariamente
Dispositivo não ajustado corretamente	0,10	Desperdício de estrutura de barras	Operador	Diariamente

(HEKMATPANAH et al, 2011)

Estudo de Caso

Soldagem					
Modos de falha	Desperdício (%)	S	O	D	RPN
Máquina não ajustada corretamente	0,60	8	6	5	240
Partes desgastadas	0,50	5	5	5	125
Eletrodo fora das especificações	0,40	4	5	3	60
Dispositivo não ajustado corretamente	0,10	3	3	3	27

(HEKMATPANAHA et al, 2011)

Estudo de Caso

Implementação das Melhorias

- *Brainstorming*: como remover os problemas-raiz?
- Criatividade e inovação X Custo-benefício;
- Reavaliação da influência de cada fator.

Estudo de Caso

Soluções Apresentadas	
Corte de Chapas	Soldagem
Treinamento dos funcionários	Estabelecer um cronograma de manutenção
Instalar sensores para prevenir alimentação de dupla-chapa	Procura por falhas durante os processos
Calibração diária do dispositivo	Controle da condutividade elétrica
Checar as chapas antes da retirada	Checar a dureza e espessura da chapa antes de colocá-la na alimentação

(HEKMATPANAHA et al, 2011)

Estudo de Caso

Eficácia das Melhorias - Corte de chapas		
Modos de falha	Antes (%)	Depois (%)
Chapas com dimensões imprecisas	0,11	0
Chapa com dureza fora das especificações	0,09	0,01
Chapa com espessura maior ou menor	0,60	0
Máquina não ajustada corretamente	0,15	0

(HEKMATPANAH et al, 2011)

Estudo de Caso

Eficácia das Melhorias - Soldagem		
Modos de falha	Antes (%)	Depois (%)
Máquina não ajustada corretamente	0,60	0,09
Partes desgastadas	0,50	0,10
Eletrodo fora das especificações	0,40	0,08
Dispositivo não ajustado corretamente	0,10	0,02

(HEKMATPANAHA et al, 2011)

Estudo de Caso

Resultados

- FMEA como ferramenta para identificação de problemas-raiz;
- Redução do desperdício de materiais em 10 vezes e de petróleo de 1% para 0,08%;
- Lucro líquido de US\$ 558.726,00;
- Importância do time de aprimoramento.

Agenda

1. O que é FMEA?
 - a. Introdução
 - b. Vantagens
 - c. Método
2. O que é FMECA?
 - a. Introdução
 - b. Principais Diferenças
3. Estudo de Caso: A Aplicação do FMEA na Indústria de Petróleo do Irã
- 4. Conclusão**
5. Referências Bibliográficas

Conclusão

- **FMEA é um método de grande utilidade:**
 - Objetivo e sistemático;
 - Diferencial: avaliação das ações corretivas;
- **FMECA: método atualizado e aperfeiçoado;**
 - Muito utilizado;
 - Análise mais detalhada;
 - Aplicação em processos e produtos em diversos segmentos.

Agenda

1. O que é FMEA?
 - a. Introdução
 - b. Vantagens
 - c. Método
2. O que é FMECA?
 - a. Introdução
 - b. Principais Diferenças
3. Estudo de Caso: A Aplicação do FMEA na Indústria de Petróleo do Irã
4. Conclusão
5. **Referências Bibliográficas**

Referências Bibliográficas

FOGLIATTO, F.S. RIBEIRO, J.L.D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

RELIABILITY ANALYSIS CENTER. **Failure Mode, Effects and Criticality Analysis (FMECA)**. Rome, NY: RAC, 1993.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. **Performing a Failure Mode and Effects Analysis**. Greenbelt: NASA, 1996.

BASSETTO, I.F.F. **Estudo de confiabilidade de compressores alternativos semi-herméticos de sistemas de refrigeração**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica de Energia de Fluidos) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007. doi:10.11606/D.3.2007.tde-03082007-113232. Acesso em: 2020-04-26.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Standard practice for system safety**. United States of America, 2000.

Referências Bibliográficas

CICEK, K. et. al. **Risk-based preventive maintenance planning using Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) for marine engine systems**. 2010 Second International Conference on Engineering System Management and Applications, Sharjah, 2010, pp. 1-6.

HEKMATPANAHI, M., SHANIN, A., RAVICHANDRAN, N. **The application of FMEA in the oil industry in Iran: The case of four litre oil canning process of Sepahan Oil Company**. African Journal of Business Management, 2011.

MAHMOOD, S., DINMOHAMMADI, F. **An FMEA-based risk assessment approach for wind turbine systems: a comparative study of onshore and offshore**. Energies, 2014.

DEPARTMENT OF DEFENSE. **Military Standard: Procedures for performing a failure mode, effects and criticality analysis**. United States of America, 1980.

Obrigado!