



SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL

Centro Tecnológico de Mecânica de Precisão SENAI “Plínio Gilberto Kröeff”

Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial - FMEA

Apostila e Tabelas Recomendadas para Severidade Ocorrência e
Detecção

Professores:

Diego Mondadori Rodrigues
Ernani Matschulat
Viviane Dorneles
Tobias Mugge

São Leopoldo

2010

FMEA

O que é e para que serve

A sigla FMEA é o acrônimo de “*Failure Mode and Effect Analysis*”, em português “**Análise de Modo e Efeito de Falha Potencial**”. Uma FMEA pode ser descrita como um grupo sistemático de atividades com o objetivo de **(a)** reconhecer e avaliar falhas que podem acontecer em um produto ou processo, seus efeitos e suas causas; **(b)** identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance da falha potencial ocorrer e **(c)** documentar o processo.

A FMEA serve para identificar os riscos envolvidos em projetos ou processos, definindo um número que expressa a gravidade deste risco. Desta forma a empresa pode priorizar os riscos mais graves e investir de forma mais eficiente na melhoria do processo, minimizando ou até mesmo eliminando-os.

Histórico

A primeira metodologia para análise de falhas e equipamentos foi empregada pelo Exército Americano, em 1949. Nos anos 60 a indústria aeroespacial (especialmente a NASA) implementou este controle para análise e minimização de riscos em suas missões espaciais.

Em 1994 a SAE (Society of Automotive Engineers) publicou a norma SAE J1739, que define a forma como a FMEA deve ser realizada. A FMEA foi disseminada na indústria automotiva com o surgimento da QS9000, criada pela Ford, GM e Chrysler. Em 2006 a QS9000 foi substituída pela ISO TS 16949, o que tornou a FMEA passível de auditoria.

Princípios Fundamentais

A FMEA se apóia em 5 princípios fundamentais:

- 1) Apoio da Gerência
- 2) Abordagem de equipe (não deve existir “FMEA de um homem só”, a FMEA deve sempre ser realizada em reunião por um grupo que contemple diferentes áreas da empresa, como produção, engenharia, compras..)
- 3) Relação de causa e efeito
- 4) Definição de cliente
- 5) FMEA como ferramenta “viva”: melhoria contínua

O FMEA deve ser realizado por uma **equipe multifuncional**. Nas reuniões de criação ou modificação devem estar presentes funcionários da engenharia de produto, qualidade, produção (operadores das máquinas) e direção, pois cada área da empresa possui algumas das informações

necessárias para a criação do FMEA . Reclamações de clientes, novos problemas de produção ou de qualidade e novos processos devem ser realimentados no documento, criando novas versões.

A idéia é que essas reuniões de FMEA sejam frequentes, possibilitando tanto a criação de novas FMEAs como a revisão e modificação periódica das existentes.

Tipos de FMEA

Existem dois tipos básicos de FMEA: de projeto (Design FMEA = DFMEA) e de processo (Process FMEA = PFMEA). Cada um deles tem uma função em diferentes entradas. A **DFMEA** identifica potenciais modos de falha supondo que a fabricação atenda os requisitos de projeto (peça conforme), e tem como entradas:

- Revisões de projeto
- Requisitos de aplicação final
- Testes em protótipos
- Históricos de falhas de produtos similares
- Etc

A **PFMEA** identifica potenciais modos de falha supondo que o projeto atenda a aplicação final (projeto correto), e tem como entradas:

- DFMEA
- Fluxo de processo
- Histórico de falhas na produção
- Características especiais
- Etc

Iniciando o FMEA (1ª etapa): IDENTIFICAR OS RISCOS

Primeiro deve-se **identificar as funções da peça, seus requisitos e especificações**. A partir dos dados de entrada (desenhos, fluxos de processo, etc) relacionar todos os **modos de falhas** que possam ocorrer em cada etapa. **Um modo de falha é um não atendimento ao requisito**. Somente devem ser considerados modos de falha do processo sendo estudado: se você estiver fazendo a FMEA de um forjamento, deve considerar que a temperatura do batoque está dentro das especificações, pois este será um modo de falha do processo de aquecimento.

Exemplos de **Requisitos** para PFMEA:

- Aquecer até 950 °C
- Usinar espessura 8,5 mm
- Facear com rugosidade Ra 3,2
- Paralelismo 0,12 mm
- Montar 4 parafusos na seqüência especificada
- Compactar molde em areia verde
- Etc

Exemplos de **Modos de falha** para PFMEA:

- Temperatura abaixo do especificado
- Espessura fora do especificado
- Rugosidade acima do especificado
- Arestas com rebarba, furo fora de posição, diâmetro maior que especificado, sujo, rachado
- Montar parafusos fora da seqüência especificada
- Permeabilidade da areia abaixo do especificado
- Etc

Para cada modo de falha encontrado, deve-se relacionar as possíveis **causas** para a sua ocorrência e os possíveis **efeitos** para o cliente. Neste ponto é necessário ter a compreensão de quais são os **clientes** envolvidos. O **cliente externo** é quem vai utilizar o produto (o motorista do carro se o FMEA é de um cilindro de freio, por exemplo). Como **clientes internos** temos as próximas operações do fluxograma de processo. Se uma peça é forjada, um cliente interno da serra que corta o batoque será a prensa que realiza o forjamento. Outros clientes internos muito comuns são as operações de montagem.

Identificar a **causa** do modo de falha é achar o “responsável”: se o modo de falha de um processo de usinagem for “dimensão fora do especificado”, uma possível causa seria “fixação incorreta ou inadequada”. Nesta etapa do FMEA lembre-se de considerar que a peça chega OK do processo anterior, pois estão sendo considerados os modos de falha e as causas apenas da etapa do processo sendo estudado.

O **efeito** é o resultado do modo de falha para os clientes. Exemplos de efeitos para **clientes internos**, que são as próximas operações:

- Não monta
- Não fura/não rosqueia
- Torque falso
- Põe operador em risco
- Presença de porosidade
- Etc

Para **clientes externos**:

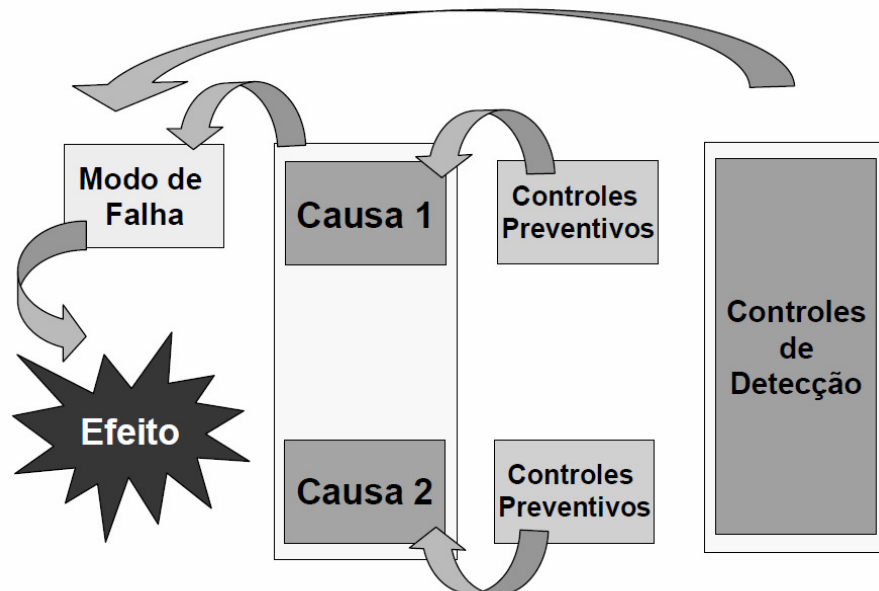
- Redução da resistência mecânica (quebra, empenamento)
- Compromete durabilidade da camada superficial
- Presença de ruído ou de vibração na operação
- Inoperância do sistema
- Aparência degradada
- Vazamento de fluido
- Esforço excessivo
- Etc

Para finalizar esta primeira fase do FMEA deve-se ainda determinar os controlos de detecção e os controlos de prevenção de falhas que estão implementados.

Controlos de detecção atuam detectando o modo de falha. Se o modo de falha, por exemplo, for “rugosidade acima do especificado” um controle de detecção poderia ser “**medição de rugosidade (amostragem)**”, que detectaria diretamente quando a rugosidade está acima da tolerância.

Os controlos de prevenção atuam nas causas do modo de falha. Uma possível causa para o aumento de rugosidade do exemplo anterior pode ser a “vibração decorrente do desgaste da ferramenta de corte”. Neste caso, poderia ser implementado um “**controle de vida útil da ferramenta**” como controle de prevenção.

A ilustração abaixo demonstra graficamente a relação entre o modo de falha, a causa, o efeito e os controlos de prevenção e de detecção.



Fev/2010

Elaborado por Diego M. Rodrigues

Exemplo desta primeira etapa de PFMEA concluída, cuja operação é “fazer chimarrão”:

Item: CHIMARRÃO Responsabilidade pelo Projeto: _____
 Ano (s) Modelo (s) / Programa (s): _____ Data-chave: _____
 Equipe Central: _____

Etapa do Processo / Função	Requisito	Modo de Falha Potencial	Efeito (s) Potencial (ais) de Falha	Severidade	Classificação	Causa (s) Potencial (ais) de Falha	Processo Atual				NPR
							Controlos Prevenção	Ocorrência	Controlos Detecção	Detecção	
Op. 30 Colocar água na cuia	Cevar a erva	Queimar a erva	Gosto amargo			Água muito quente	Chiado da chaleira		Experimentar chimarrão		

Fev/2010

Elaborado por Diego M. Rodrigues

2ª etapa do FMEA: PRIORIZAR OS RISCOS

Após identificar os modos de falha, efeitos, causas e controles de prevenção e de detecção deve-se definir a severidade, a ocorrência e a detecção. Para isso são utilizadas as tabelas encontradas no final dessa apostila.

A **severidade é o resultado do efeito**. Avalia a situação na operação que sente o efeito potencial da falha. A tabela é dividida entre **Efeito no Cliente**, relativo ao cliente externo, e **Efeito na Fabricação/Montagem**, referente ao cliente interno. Basta ler todos os critérios e definir qual está de acordo com o efeito do modo de falha. No caso do modo de falha possuir mais de um efeito de falha, anotar após o efeito, entre parênteses, o valor da severidade. E no campo da severidade preencher o valor mais alto. Ex: “Compromete durabilidade da camada superficial (3)”

A **ocorrência** classifica a probabilidade da falha acontecer, considerando os controles de prevenção quando existentes. Em um projeto novo geralmente utiliza-se o conhecimento prévio do operador, que considera a ocorrência de falhas em peças similares que já foram fabricadas. O FMEA deve ser revisado para substituir esses valores pelas estatísticas do processo, assim que disponíveis.

A **detecção** classifica qual é a probabilidade de se detectar o modo de falha. Para classificar a detecção, suponha que a falha tenha ocorrido e avalie a capacidade do controle proposto detectar a falha. Não suponha que se a ocorrência é pequena, a detecção também é pequena. Os valores 1, 2 e 3 são referentes à sistemas *Poka Yoke* (a prova de falhas):

- **Nível 1: Previne a causa.** Por meio de alteração do projeto da máquina, do dispositivo de fixação ou da peça, o item é tornado 'a prova de falhas'.
- **Nível 2: Detecta a causa**, sendo um sistema preventivo. Impossibilita que uma peça discrepante seja produzida.
- **Nível 3: Detecta o modo de falha.** Peças discrepantes são identificadas e impedidas de continuar no processo na própria estação.

O **nível 4** considera um controle automático após o processo que impeça a peça de continuar. Por exemplo, se a temperatura das peças na saída do forno for medida automaticamente, e peças com temperaturas fora da tolerância forem retiradas automaticamente da esteira, esse controle de detecção seria nível 4.

Instrumentos de medição de variável, como por exemplo paquímetro, micrômetro, rugosímetro e relógio comparador, são considerados **nível 5** quando utilizados na própria estação de processamento. A verificação de conformidade da primeira peça, quando avaliando causas de Setup da máquina, também se enquadram nesse nível.

Calibradores passa/não-passa utilizados na estação ou medição por variável após o processamento da peça são classificados como **nível 6**.

Quando são utilizados meios visuais, táteis ou audíveis na própria estação de trabalho a classificação é **nível 7**. Na mesma classificação ainda temos a utilização de calibradores passa/não-passa após o processamento (em um processo posterior).

No **nível 8** enquadram-se verificações por meio visuais, táteis ou audíveis após o processamento.

É considerada detecção **nível 9** quando o modo de falha ou a causa são de difícil detecção (como no caso de auditorias aleatórias) e **nível 10** quando não é possível realizar a detecção, ou esta não é realizada.

Após definidos os valores de severidade, ocorrência e detecção deve-se calcular o **NPR** (Número de Prioridade de Risco). Para isto, basta multiplicar o número de cada um dos critérios: severidade x ocorrência x detecção.

3ª etapa do FMEA: ELIMINAR OU MINIMIZAR OS RISCOS

Após serem definidos os valores de NPR devem ser tomadas ações para eliminar ou minimizar os riscos. Os NPRs mais altos devem ser atacados, de forma a reduzir severidade, ocorrência ou detecção, na seguinte ordem:

1º	Reduzir Severidade (S)	Modificar o projeto para minimizar ou eliminar o efeito de falha
2º	Reduzir Ocorrência (O)	Atuar sobre a causa raiz, eliminando ou reduzindo a causa
3º	Reduzir Detecção (D)	Melhorar os controles de detecção (mais inspeção)

Também devem ser objeto de análises os modos de falha com severidade 9 e 10. Estes são fortes candidatos para ações de melhoria.

Após as modificações no projeto, no processo ou na medição serem executadas, deve-se definir o novo valor da severidade, da ocorrência ou da detecção, dependendo do tipo de modificação realizada.

FMEA DE PROJETO

Avaliação de Severidade

Efeito	Critérios: Severidade do Efeito no Produto (Efeito no Cliente)	Classificação
Falha em Atender a Requisitos de Segurança e/ou Regulatórios	Modo de falha potencial afeta a operação segura do veículo e/ou envolve não-conformidade com regulamentação governamental, sem prévio aviso.	10
	Modo de falha potencial afeta a operação segura do veículo e/ou envolve não-conformidade com regulamentação governamental, com prévio aviso.	9
Perda ou Degradação de Função Primária	Perda de função primária (veículo inoperável, não afeta a operação segura do veículo).	8
	Degradação de função primária (veículo operável, mas com um nível reduzido de desempenho).	7
Perda ou Degradação de Função Secundária	Perda de função secundária (veículo operável, mas as funções de conforto/conveniência estão inoperáveis).	6
	Degradação de função secundária (veículo operável, mas as funções de conforto/conveniência apresentam um nível reduzido de desempenho).	5
Incômodo	Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido pela maioria dos clientes (> 75%).	4
	Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido por muitos clientes (> 55%).	3
	Aparência ou Ruído Audível, veículo operável, item não conforme e percebido por clientes observadores (< 25%).	2
Nenhum efeito	Nenhum efeito perceptível.	1

Tabela 1: Critérios recomendados para avaliação de Severidade em DFMEA

Fonte: Manual do FMEA da AIAG, 4ª Edição

FMEA DE PROJETO

Avaliação de Ocorrência

Probabilidade de Falha	Critérios: Ocorrência de Causa - DFMEA (Vida útil do Projeto / confiabilidade do item/veículo)	Critérios: Ocorrência de Causa - DFMEA (Incidentes por itens/veículos)	Classificação
Muito Alta	Nova tecnologia/novo projeto, sem histórico.	≥ 100 por mil ≥ 1 em 10	10
Alta	A falha é inevitável, com novo projeto/nova aplicação, ou alteração no ciclo de trabalho/condições operacionais.	50 por mil 1 em 20	9
	A falha é provável, com novo projeto/nova aplicação, ou alteração no ciclo de trabalho/condições operacionais.	20 por mil 1 em 50	8
	A falha é incerta, com novo projeto/nova aplicação, ou alteração no ciclo de trabalho/condições operacionais.	10 por mil 1 em 100	7
Moderada	Falhas freqüentes associadas a projetos similares, ou em simulação e testes de projeto.	2 por mil 1 em 500	6
	Falhas ocasionais associadas a projetos similares, ou em simulação e testes de projeto.	0,5 por mil 1 em 2.000	5
	Falhas isoladas, associadas a projeto similar, ou em simulação e testes de projeto.	0,1 por mil 1 em 10.000	4
Baixa	Somente falhas isoladas, associadas a projeto praticamente idêntico, ou em simulação e testes de projeto.	0,01 por mil 1 em 100.000	3
	Falhas não observadas, associadas a projeto praticamente idêntico, ou em simulação e testes de projeto.	≤ 0,001 por mil 1 em 1.000.000	2
Muito Baixa	A falha é eliminada por controle preventivo.	A falha é eliminada por controle preventivo	1

Tabela 2: Critérios recomendados para avaliação de Ocorrência em DFMEA
 Fonte: Manual do FMEA da AIAG, 4ª Edição

FMEA DE PROJETO

Avaliação de Detecção

Oportunidade para Detecção	Critérios: Probabilidade de Detecção através do Controle de Projeto	Classificação	Probabilidade Detecção
Nenhuma oportunidade de detecção.	Nenhum controle de projeto atual. Não se pode detectar, ou não está analisado.	10	Praticamente Impossível
Improvável detectar em qualquer estágio.	Os controles de análise/detecção de projeto têm uma fraca capacidade de detecção. Análise Virtual (por exemplo, CAE, FEA, etc.) não está correlacionada às condições operacionais reais esperadas.	9	Muito Remota
Após o "Congelamento" do Projeto (momento a partir do qual não se deve mais modificar o projeto) e antes do lançamento	Verificação/validação do produto, após o "Congelamento" do Projeto e antes do lançamento, com ensaios passa/falha (testes de subsistema ou sistema, com critérios de aceitação tais como condução e manuseio, avaliação de transporte etc.).	8	Remota
	Verificação/validação do produto, após o "Congelamento" do Projeto e antes do lançamento, com ensaios de teste para falhar (testes de subsistema ou sistema, até que a falha ocorra, testes de interações de sistema etc.).	7	Muito Baixa
	Verificação/validação do produto, após o "Congelamento" do Projeto e antes do lançamento, com ensaios de degradação (testes de subsistema ou sistema após teste de durabilidade, por exemplo, verificação de função).	6	Baixa
Antes do "Congelamento" do Projeto	Validação do produto (ensaio de confiabilidade, testes de desenvolvimento ou validação), antes do "Congelamento" do Projeto, usando ensaios passa/falha (por exemplo, critérios de aceitação para desempenho, verificações de função etc.).	5	Moderada
	Validação do produto (ensaio de confiabilidade, testes de desenvolvimento ou validação), antes do "Congelamento" do Projeto, usando teste para falhar (por exemplo, até vazar, ceder, rachar etc.).	4	Moderadamente Alta
	Validação do produto (ensaio de confiabilidade, testes de desenvolvimento ou validação), antes do "Congelamento" do Projeto, usando ensaios de degradação (por exemplo, tendências de dados valores antes/depois etc.).	3	Alta
Análise Virtual – Correlacionada	Os controles de análise/detecção de projeto têm uma forte capacidade de detecção. Análise Virtual (por exemplo, CAE, FEA, etc.) está altamente correlacionada às condições operacionais reais esperadas antes do "Congelamento" do Projeto.	2	Muito Alta
Detecção não aplicável. Prevenção de Falha.	A causa de falha ou modo de falha não pode ocorrer porque foi totalmente prevenida através de soluções de projeto (por exemplo, padrão de projeto comprovado, melhor prática, ou material comum, etc.).	1	Praticamente Certa

Tabela 3: Critérios recomendados para avaliação de Detecção em DFMEA

Fonte: Manual do FMEA da AIAG, 4ª Edição

FMEA DE PROCESSO

Avaliação de Severidade

Critérios: Severidade do Efeito no Produto (Efeito no Cliente)		Critérios: Severidade do Efeito no Processo (Efeito na Fabricação/Montagem)	
Efeito	Classificação	Efeito	Classificação
Falha em Atender a Requisitos de Segurança e/ou Regulatórios	10	Falha em Atender a Requisitos de Segurança e/ou Regulatórios	10
	9	Podem trazer perigo ao operador (de máquina ou montagem), sem prévio aviso.	9
Perda ou Degradação da Função Primária	8	Podem trazer perigo ao operador (de máquina ou montagem), com prévio aviso.	8
	7	100% dos produtos podem ser refugados. Parada da linha de produção ou parada de embarque (expedição).	7
Perda ou Degradação da Função Secundária	6	Uma parcela do lote de produção pode ser refugada. Desvio do processo primário, incluindo velocidade reduzida da linha de produção e acréscimo de mão de obra.	6
	5	100% do lote de produção pode ser retrabalhado fora da linha e aceito.	5
Incômodo	4	Uma parcela do lote de produção pode ser retrabalhada fora da linha e aceita	4
	3	100% do lote de produção pode ser retrabalhado na estação, antes de ser processado.	3
Nenhum efeito	2	Uma parcela do lote de produção pode ser retrabalhada na estação, antes de ser processado.	2
	1	Ligeira inconveniência para o processo, operação ou operador.	1
		Nenhum efeito perceptível.	

Tabela 4: Critérios recomendados para avaliação de Severidade em PFMEA

Fonte: Manual do FMEA da AIAG, 4ª Edição

FMEA DE PROCESSO

Avaliação de Ocorrência

Probabilidade de Falha	Critérios: Ocorrência de Causa - PFMEA (Incidentes por itens/veículos)	Classificação
Muito Alta	≥ 100 por mil ≥ 1 em 10	10
Alta	50 por mil 1 em 20	9
	20 por mil 1 em 50	8
	10 por mil 1 em 100	7
Moderada	2 por mil 1 em 500	6
	0,5 por mil 1 em 2.000	5
	0,1 por mil 1 em 10.000	4
Baixa	0,01 por mil 1 em 100.000	3
	$\leq 0,001$ por mil 1 em 1.000.000	2
Muito Baixa	A falha é eliminada através de controle preventivo.	1

Tabela 5: Critérios recomendados para avaliação de Ocorrência em PFMEA

Fonte: Manual do FMEA da AIAG, 4ª Edição

FMEA DE PROCESSO

Avaliação de Detecção

Oportunidade para Detecção	Critérios: Probabilidade de Detecção por Controle de Processo	Classificação	Probabilidade de Detecção
Nenhuma oportunidade de detecção.	Nenhum controle de processo. Não se pode detectar, ou não está analisado.	10	Praticamente Impossível
Improvável detectar em qualquer estágio.	Modo de falha e/ou Erro (Causa) não é facilmente detectável (por exemplo, auditorias aleatórias).	9	Muito Remota
Detecção do Problema Pós-Processamento	Detecção do modo de falha pós-processamento, pelo operador, através de meios visuais/táteis/audíveis.	8	Remota
Detecção do Problema na Origem	Detecção do modo de falha, na estação, pelo operador, através de meios visuais/táteis/audíveis, ou pós-processamento, através do uso de medição por atributo (passa/não-passa, verificação de torque manualmente/por chave de estalo etc.).	7	Muito Baixa
Detecção do Problema Pós-Processamento	Detecção do modo de falha, pós-processamento, pelo operador, através do uso de medição por variável, ou na estação, pelo operador, através do uso de medição por atributo (passa/não-passa, verificação de torque manualmente/por chave de estalo etc.).	6	Baixa
Detecção do Problema na Origem	Detecção do modo de falha ou Erro (Causa) na estação, pelo operador, através do uso de medição por variável, ou por controles automáticos na estação, que detectarão peças discrepantes e notificarão o operador (luz, campanha etc.). Medição realizada no setup e verificação da primeira peça (somente para causas de setup).	5	Moderada
Detecção do Problema Pós-Processamento	Detecção do modo de falha pós-processamento, por controles automáticos, que detectarão peças discrepantes e travarão a peça, para impedir processamento subsequente.	4	Moderadamente Alta
Detecção do Problema na Origem	Detecção do modo de falha na estação, por controles automáticos, que detectarão peças discrepantes e automaticamente travarão a peça na estação, para impedir processamento subsequente.	3	Alta
Detecção do Erro e/ou Prevenção do Problema	Detecção de Erro (Causa), na estação, por controles automáticos, que detectarão o erro e impedirão que a peça discrepante seja produzida.	2	Muito Alta
Detecção não aplicável. Prevenção do Erro.	Prevenção de Erro (Causa) como resultado do projeto do dispositivo de fixação, projeto da máquina, ou projeto da peça. Peças discrepantes não podem ser produzidas porque o item foi tornado à prova de erro, pelo projeto do processo/produto.	1	Praticamente Certa

Tabela 6: Critérios recomendados para avaliação de Detecção em PFMEA
 Fonte: Manual do FMEA da AIAG, 4ª Edição