

Desenvolvimento e análise de um modelo FMECA aplicado como ferramenta de confiabilidade na manutenção de sistemas industriais

Leandro Roberto Baran (SENAI-PR) leandro.baran@senai.pr.br
Prof. Dr. João Luiz Kovaleski (UTFPR-PG) kovaleski@utfpr.edu.br
Ademir Piechnicki (IFPR-TB) ademir.piechnicki@ifpr.edu.br
Flávio Piechnicki (SENAI-PR) flavio.piechnicki@senai.pr.br

Resumo:

O FMECA é um procedimento utilizado para identificar modos de falhas potenciais determinando sua criticidade com objetivo de reduzir ou eliminar seus efeitos sobre o desempenho do sistema funcional. Essa ferramenta tem sido utilizada amplamente na indústria, onde se desenvolvem versões conforme a aplicabilidade. Motivado pela necessidade de uma ferramenta de confiabilidade para aplicação na manutenção de sistemas industriais, foram analisados três versões de FMECA e as características de um processo de manutenção. Em seguida foi proposto um modelo de FMECA para aplicação na manutenção de sistemas, validando seus resultados através de uma situação real.

Palavras chave: Manutenção, FMECA, Confiabilidade.

Development and analysis of FMECA model applied as a tool in maintaining reliability of industrial systems

Abstract

The FMECA is a procedure used to identify potential failure modes determining their criticality in order to reduce or eliminate their effects on the performance of the system functional. This tool has been used widely in industry, where they develop versions as to the applicability. Motivated by the need for a reliable tool for use in the maintenance of industrial systems, we analyzed three versions of FMECA and the characteristics of a maintenance process. Then a model was proposed to apply FMECA in maintaining systems, validating its results through a real situation.

Key-words: Maintenance, FMECA, Reliability

1. Introdução

O aumento na demanda de consumidores por produtos de alta qualidade têm obrigado as indústrias garantir a qualidade de seus produtos aliadas a um menor custo, além disso, aumentou-se o apelo por processos de produção que não agridam o meio-ambiente e garantam a segurança das pessoas envolvidas.

As atuais políticas de gestão resultam em estoques cada vez menores, processo mais enxutos e sistemas dimensionados praticamente no limite de sua capacidade operacional, que fazem da manutenção uma ferramenta fundamental na garantia da disponibilidade e confiabilidade das empresas. Esses fatores refletem a necessidade de um planejamento de manutenção eficiente, que se adapte ao processo de produção, capaz de priorizar suas ações, atendendo a prazos e metas estabelecidas a um melhor custo-benefício.

O objetivo deste estudo é fornecer uma ferramenta de confiabilidade de simples aplicação em qualquer segmento industrial, através da elaboração de um modelo de FMECA (*Failure Mode Effects & Criticality Analysis*). O FMECA é uma metodologia de análise pelo qual todos os modos de falha potenciais são encontrados, analisando as causas e efeitos desses modos de falha, selecionando os críticos e fornecendo métodos para reduzir ou remover seus efeitos.

O modelo desenvolvido através da análise de diversos FMECA's utilizados em outros segmentos industriais, e considerando os requisitos mínimos para aplicação na manutenção de sistemas industriais. A fim de comprovar a eficácia do modelo proposto, o mesmo foi aplicado em um estudo de caso na redução de falhas de um Sistema de Geração de Ozônio.

2. Manutenção

Sistemas de produção industriais estão sujeitos à deterioração em consequência do uso e idade. Essa deterioração pode levar ao aumento dos custos de produção, menor qualidade e a possibilidade de um acidente (DOHI et al., 2001). Portanto um processo de manutenção é importante para reduzir a probabilidade dessas ocorrências.

Dhillon (2006) apresenta manutenção como: “todas as ações necessárias para manter um ativo ou restaurá-lo, para uma condição satisfatória de operação”. Kardec e Nasfic (2009) complementam que além de executar sua função, a manutenção deve garantir a confiabilidade e disponibilidade do item físico ou instalação, atendendo ao processo com segurança, preservando o meio-ambiente e com custos adequados.

2.1 Tipos de Manutenção

Alsyouf (2009) afirma que os métodos de manutenção podem assumir três formas: manutenção corretiva, manutenção preventiva ou manutenção baseada nas condições (CBM), também conhecida como manutenção preditiva. Mobley et al. (2008) afirmam que a diferença entre esses métodos está no momento em que a atividade de manutenção é executada.

2.1.1 Manutenção corretiva

Dillhon (2006) descreve a manutenção corretiva como toda a ação de reparo, decorrente de uma falha ou defeito, restabelecendo um item a uma condição operacional satisfatória, dividindo-a em duas classes: corretiva planejada, onde o reparo ou remoção da falha é realizado em data posterior a falha, e corretiva não planejada ou de emergência, onde a reparo ocorre após a falha.

2.1.2 Manutenção preventiva

Mobley et al. (2008) afirmam que manutenção preventiva são todas as ações de manutenção e reparo executadas quando o sistema apresenta condições operacionais, ainda que com algum defeito, podendo ser realizadas em intervalos de tempo pré-determinados, em função da vida útil e do ciclo de operação, ou em função da condição do sistema.

Dhillon (2006) enfoca a manutenção preventiva como um programa de manutenção, composto de técnicas preditivas, tarefas de manutenção baseadas no tempo e manutenção corretiva para fornecer um suporte abrangente para toda a produção de plantas ou sistemas de manufatura.

2.1.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva consiste em toda a ação de acompanhamento ou monitoramento das condições de um sistema, seus parâmetros operacionais e sua eventual degradação, sendo realizada através de medições ou inspeções que não interfiram na operação do sistema (FILHO, 2008; MARÇAL, 2000).

Para Marçal (2000) a adoção da política de manutenção preditiva em um sistema dependerá dos seguintes aspectos: criticidade de uma falha do sistema, tempo de operação, sistemas ou componentes sobressalentes, característica das falhas, possibilidade de monitoramento, custos de inspeção. A técnica de manutenção adequada dependerá de razões técnicas e econômicas para cada equipamento ou sistema, podendo-se optar por um método isolado ou uma mescla dos três.

3. Metodologia FMECA

O FMECA - *Failure Mode Effects & Criticality Analysis* (Análise Crítica dos Modos de Falhas e seus Efeitos) é composta de duas análises separadas, o FMEA - *Failure Mode and Effects* (Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos) e Análise de Criticidade (CA). O FMEA analisa diferentes modos de falha e seus efeitos enquanto a CA prioriza o seu nível de importância com base na taxa e na gravidade do efeito da falha (TM 5-698-4, 2006).

3.1 FMEA

Almannai *et al.* (2008) definem FMEA como um método sistemático com foco na prevenção de falhas de um sistema, projeto e/ou processo, através de uma abordagem de identificação, frequência e impacto dos modos de falhas sobre os mesmos.

O procedimento FMEA é uma sequência de passos lógicos, iniciando com a análise de elementos de menor nível (subsistemas ou componentes), identificando os modos de falhas potenciais e mecanismos de falha, traçando efeito dessa falha para um nível superior (sistema). O efeito do modo de falha em um nível inferior pode então se tornar uma causa de falha de um modo de falha de um item no nível imediatamente superior. A análise dos processos é realizada de forma ascendente até que o efeito final sobre o sistema é identificado (IEC 60518, 2006; MOBLEY, 1999).

As análises do FMEA podem ser classificadas em dois níveis, os quais são similares na condução de suas etapas e análises, sendo distintas quanto ao seu foco de aplicação (IEC, 2006; SAE, 2000; OLIVEIRA *et al.*, 2010):

- FMEA de Projeto ou Produto: realizado após a concepção do projeto, identificando cada componente do sistema e os possíveis modos de falha associados, bem como seus efeitos no sistema em questão e no produto como um todo.
- FMEA de Processo: análise dos sistemas de manufatura que possam inferir sobre a qualidade e confiabilidade do produto, identificando os modos de falhas do processo e seus efeitos sobre o produto.

3.2 FMECA

Desenvolvido pelo Departamento de Defesa Americano na década de 70, como uma ferramenta de confiabilidade, o FMECA foi testado em uma ampla gama de aplicações industriais, resultando em versões modificadas da metodologia, conforme o segmento de aplicação, MIL-1629-A (Departamento de Defesa Americano), SAE-J1739 e SAE-ARP5580 (indústria automotiva) e IEC-60812 e STUK-YTO-TR190 (indústria eletrônica). Embora cada uma das normas apresentem diferentes versões, os conceitos principais e os procedimentos são similares, contudo um procedimento detalhado deve ser realizado para cada aplicação específica (BASSETO *et al.*, 2011; KIM *et al.*, 2009).

A utilização do FMECA como forma de auxiliar o planejamento da manutenção fornece: desenvolvimento de métodos de teste e técnicas de resolução de problemas; fornecer uma base para análises de confiabilidade, segurança, produção e manutenção fornecer estimativas de taxas de falha de sistema crítico; fornecer uma classificação quantitativa do sistema e / ou modos de falha em relação ao subsistema importância da missão e identificar peças e sistemas com maior probabilidade de falhar.

Smith e Hinchcliffe (2004) observam que o resultado da análise do FMEA possibilita o conhecimento e compreensão dos pontos fracos de um sistema (modos de falha), atuando

como fonte de informação na criação de um modelo de confiabilidade e no processo de decisão das ações a serem tomadas para evitar e eliminar estes modos de falhas.

Ainda segundo Smith e Hinchcliffe (2004) a delimitação das tarefas de manutenção é baseada no conhecimento das falhas do equipamento e suas causas, visando identificar as ações de manutenção que podem prevenir, eliminar ou identificar o início de uma falha, tornando o FMEA/FMECA vital no processo de confiabilidade do sistema.

3.3 Comparação entre as versões do FMECA

As versões de FMECA utilizadas são praticamente as mesmas em termos de conceitos básicos e preparação. Um procedimento FMECA consiste de uma coleção de informações, criação de documentos e elaboração de relatórios. Nesse estudo foram pesquisadas as versões SAE-J1739, MIL-1629A e a IEC-60812.

- Versão SAE-J1739: Nessa versão o FMECA consiste de duas análises: uma é FMEA, e a outra é a CA (Análise de Criticidade). O nível de criticidade é um resultado com base no RPN (Número de Prioridade de Risco), que é um múltiplo da taxa de ocorrência, gravidade e taxa de detecção da falha. A principal característica dessa versão é a possibilidade do uso simultâneo da análise FMEA e CA (SAE, 2000; KIM *et al.*, 2009).
- Versão MIL-1629A: Nesta versão a análise FMEA deve anteceder a análise de criticidade, ao contrário da versão SAE-J1739. Assim a CA é realizada apenas para os modos de falha grave. Isso é uma vantagem quando se trabalha com sistemas complexos, onde existem vários níveis inferiores. Outra característica dessa versão é que a CA é realizada em função do modo de falha, a causa da falha, probabilidade de ocorrência e tempo de operação. A MIL-1629A apresenta a MA (Análise da Manutenibilidade) realizada com base nos resultados do FMEA e da CA, e que inclui observações sobre modos de falha, os indicadores de falha, efeitos de falha, classes de gravidade, métodos de detecção e manutenção básica (MIL, 1980; KIM *et al.*, 2009).
- Versão IEC-60812: O método especificado na IEC-60812 é semelhante a MIL-1629A, porém enquanto na versão MIL-1629A, a criticidade é determinada quantitativamente, a IEC-60812 além da forma quantitativa, apresenta uma análise de criticidade de maneira qualitativa, realizada através de classes de criticidade para diferentes parâmetros (IEC 60518, 2006 KIM *et al.*, 2009).

3.3.1 Fluxo de aplicação do FMECA

As diferentes versões utilizadas do FMECA apresentam um fluxo de aplicação similar entre elas, onde para realização de uma análise FMECA, o primeiro passo é a realização de um FMEA, utilizado como base de dados para a análise de criticidade (CA).

Dhillon (2006) propõem o seguinte fluxo:

- Entender a função do sistema escolhido, seu modo de operação, subsistemas, componentes e peças envolvidos;
- Estabelecer a profundidade da análise quanto ao nível hierárquico do sistema;
- Identificar cada item a ser analisado (por exemplo, subsistema do módulo, ou em parte)
- Identificar todos os possíveis modos de falhas para cada componente em análise;
- Determinar o efeito da falha de cada item para cada modo de falha;

- Determinar o efeito das falhas em um contexto do sistema local, sistemas auxiliares e níveis superiores do sistema;
- Identificar causas potenciais para os modos de falhas de cada componente;
- Listar os métodos, procedimentos e ferramentas para a detecção de possíveis falhas;
- Determinar a gravidade de cada modo de falha;
- Estimar frequência ou probabilidade de ocorrência do modo de falha em um período determinado.

4. Modelo de Aplicação de um FMECA focado em Sistemas Críticos

Baseando-se nos padrões de FMECA analisados anteriormente, um procedimento FMECA com foco na manutenção de sistemas críticos foi proposto nesse estudo. As etapas para aplicação do procedimento desenvolvido são:

- Classificação dos Sistemas;
- Definição dos parâmetros críticos e sua avaliação;
- Decomposição e Seleção;
- Aplicação do FMECA e
- Ciclo de melhoria contínua.

É de vital importância a documentação e o monitoramento do todo processo, durante e após a sua implantação, observando aspectos como modificações do projeto, do contexto operacional, novas informações e técnicas disponíveis. O acompanhamento e registro permite a atualização e modificação do FMECA, otimizando seus resultados e minimizando a chance de fracasso.

4.1 Classificação dos Sistemas;

O objetivo desta etapa é classificar as máquinas e sistemas da planta, identificando os sistemas críticos, que ao apresentarem uma falha terão um impacto maior sobre a organização, definindo qual política e técnica de manutenção apropriada para cada sistema. A norma IEC 60518:2006 sugere considerar como sistemas prioritários aqueles que possuem impacto sobre segurança, ambiente, operação e custo.

Smith e Hinchcliffe (2004) acrescentam como critérios o volume e custo das tarefas da manutenção preventivas, manutenções corretivas com alto custo ou frequência e sistemas com grande impacto nas paradas de produção, métodos qualitativos e quantitativos podem ser utilizados, baseados nas funções desempenhadas por cada sistema e indicadores de criticidade pertinentes ao processo.

Como ferramenta análise para esta etapa foi elaborado um fluxograma de decisão, denominado ABC, utilizando como critério o impacto da falha e o equipamento nos seguintes contextos: segurança, qualidade do processo, tempo de operação, impacto no processo produtivo, frequência das falhas e tempo para reparo da falha. A figura 1 apresenta o fluxo de decisão ABC e os critérios definidos.

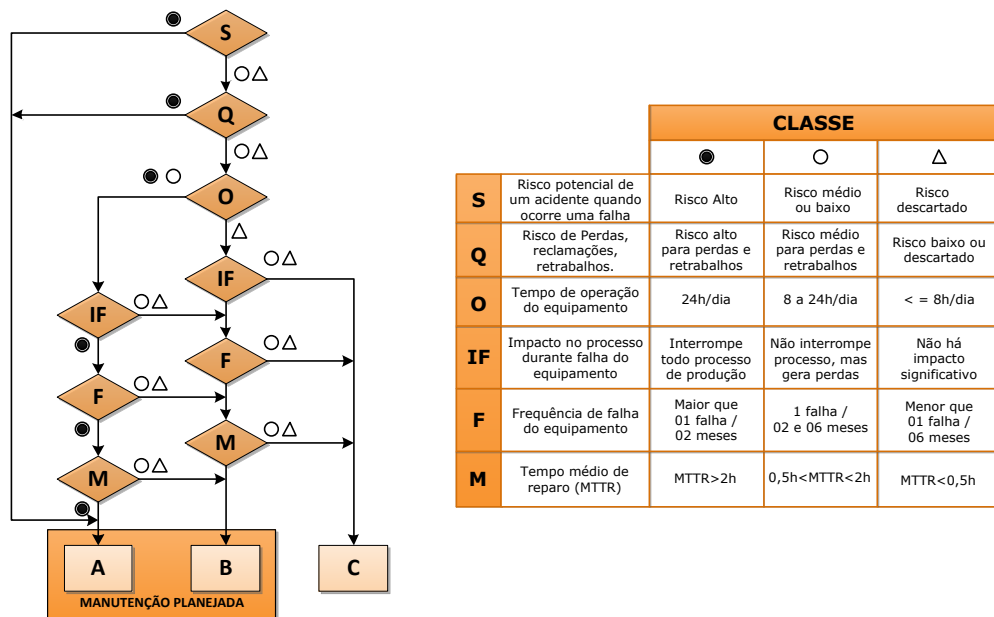


Figura 1 – Classificação ABC
Fonte: Autores, 2011.

Para utilizar o fluxo, deve-se observar o sistema com base nos critérios apresentados, classificando em uma das classes (A, B ou C), por exemplo, um sistema que durante uma falha apresente um alto risco a segurança ou qualidade é automaticamente classificado como “Classe A”.

Após o término da análise, a atuação da manutenção é orientada para cada classe de equipamentos, sendo:

Classe A: Manutenção preditiva e preventiva, análise das falhas pela manutenção com suporte da operação, times de melhoria, times focados na redução de falhas, aplicação de RCM ou FMECA.

Classe B: Manutenção preditiva e preventiva, times focados na redução de falhas, análise das falhas pela manutenção.

Classe C: Manutenção corretiva, manutenção preditiva e/ou preventiva em equipamentos utilitários, monitoramento das falhas para evitar recorrências.

Para novos equipamentos estabelece-se a utilização de corretiva, preventivas segundo o fabricante, análise de falhas e sua classificação ABC após um ano de operação.

4.2 Definições dos parâmetros críticos

Nesta etapa procuram-se estabelecer os parâmetros que farão parte do cálculo de criticidade do sistema em que será realizada a análise. Os parâmetros devem ser escolhidos para uma análise em nível de subsistemas e componentes, partindo-se da premissa que o FMECA será aplicado em uma máquina “classe A”. Assim para o modelo de aplicação foram estabelecidos os parâmetros e critérios apresentados na tabela 1.

Efeito	5	3	1
	Alto	Médio	Baixo
Segurança	Lesão com afastamento	Lesão sem afastamento	Sem risco
Produtividade (tempo sem produzir)	Maior que 1h	Entre 1h e 15min	Até 15min
Qualidade	Há impacto externo	Há impacto interno	Sem impacto
Meio-ambiente	Contaminação externa	Contaminação interna	Sem contaminação
MTTR	Maior que 1 h	Entre 1 h e 15 min	Menor que 15 min
MTBF	Mais que 12 quebras	Entre 6 e 12 quebras	Até 6 quebras
Custo	Maior que R\$3.000,00	Entre R\$3.000,00 e R\$1.000,00	Menor que R\$1.000,00

Fonte: Autores (2011)

Tabela 1 – Parâmetros críticos

4.3 Decomposição e Seleção

O primeiro passo desta etapa é realizar a decomposição da máquina, em sistemas, subsistemas e componentes, identificando suas funções (principais e secundárias) no processo e sua interligação com outros componentes ou sistemas. Siqueira (2009) afirma que não existe um método rígido e unânime, podendo ser utilizados: diagramas de processos, esquemáticos, blocos ou descrição textual.

Após decompor o sistema, devem-se utilizar os parâmetros críticos na classificação dos seus subsistemas e componentes, focando análise dos modos de malha apenas para os que apresentarem níveis críticos. Smith e Hinchcliffe (2004) apresentam como ferramenta de seleção dos sistemas a regra “80/20”, que afirma que 80% do efeito de um critério observado residem em 20% da fonte disponível.

A utilização da regra é aliada a uma análise de dados numéricos dos critérios estabelecidos e apresentando um resultado em um “Diagrama de Pareto”. Com base nos resultados obtidos no Pareto e na regra “80/20”, pode-se identificar os sistemas críticos responsáveis por um maior impacto no processo, estabelecendo uma linha de corte para análise das falhas.

4.4 Aplicação do FMECA

Após definição dos sistemas em que será realizada a análise, inicia-se a aplicação do FMECA. A sequência de etapas propostas para aplicação é similar com as encontradas na literatura e apresentada nos padrões de FMEA de processo, podendo ser adaptada conforme a necessidade do processo e experiência do analista. Para o modelo de aplicação proposto pela pesquisa, uma sequência de oito etapas descritas a seguir.

4.4.1 Levantamento de dados do sistema

Nesse passo da aplicação, é necessária uma coleta de informações sobre o sistema ou equipamento em análise, utilizando as informações do processo de decomposição e seleção, aliadas as informações da equipe de manutenção e operação, como dados históricos das falhas, análise das falhas anteriores, documentos técnicos e procedimentos operacionais disponíveis.

4.4.2 Definição do Item e da Função

A identificação do item e sua função consistem em fornecer uma descrição textual, contendo os objetivos ou finalidades dos componentes, na visão dos seus usuários, como uma ferramenta para identificação das ações de manutenção que serão necessárias no sistema. Estabelecida à função de cada componente, identifica-se como falha funcional a incapacidade do mesmo realizar esta função (IEC 60518:2006).

Algumas boas práticas são apontadas por Siqueira (2009) para auxiliar esta etapa: considerar todas as funções e seus limites, não combinar funções, associar as funções aos diagramas de processos, utilização dos manuais e informações técnicas e uso de uma codificação padrão.

4.4.3 Levantamento dos Modos de Falha

Após definir qual a falha do componente na perspectiva do usuário, realiza-se identifica-se o modo de falha da mesma, ou seja, de que maneira ela pode ocorrer ou apresentar-se no sistema, associando-o sempre ao evento ou fenômeno responsável pela mudança do estado normal do componente para seu estado anormal.

4.4.4 Determinar Efeitos e Consequências dos Modos de Falha

Identificar os efeitos através dos impactos nas funções dos sistemas e instalações quando cada modo de falha se apresenta, avaliando aspectos como: evidência da falha, tempo e forma de reparo, frequência com que se apresenta.

As consequências são identificadas pelo impacto dos modos de falhas na operação do sistema, segurança física, meio-ambiente e economia do processo.

4.4.5 Causa das Falhas

Identificar e descrever o porquê do componente apresentar o modo de falha, identificando todas as possíveis causas para ocorrência do mesmo, classificando e entendendo o mecanismo de como se apresentam ao longo da vida operacional do componente. São exemplos de causas: mecânicas, elétricas, humanas, estruturais, etc.

4.4.6 Avaliação e Cálculo do RPN – Risk Priority Number

Nesta etapa é realizado o cálculo do RPN para cada modo de falha através da equação:

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

Onde:

(S) representa a severidade (gravidade) do modo de falha, obtido média aritmética dos valores do impacto do modo de falha na segurança, meio-ambiente, produção e qualidade.

(O) representa a (ocorrência) frequência com que o modo de falha se apresenta;

(D) representa o grau de detecção do modo de falha;

4.4.7 Ações Recomendadas / Frequência

Após cálculo do RPN inicia-se a análise de cada modo de falha através de um fluxo de decisão, definindo a política de manutenção que será adotada. Os parâmetros do fluxo de decisão podem e devem ser alterados, conforma a necessidade de cada sistema e processo em análise. A figura 2 apresenta o fluxo de decisão das ações.

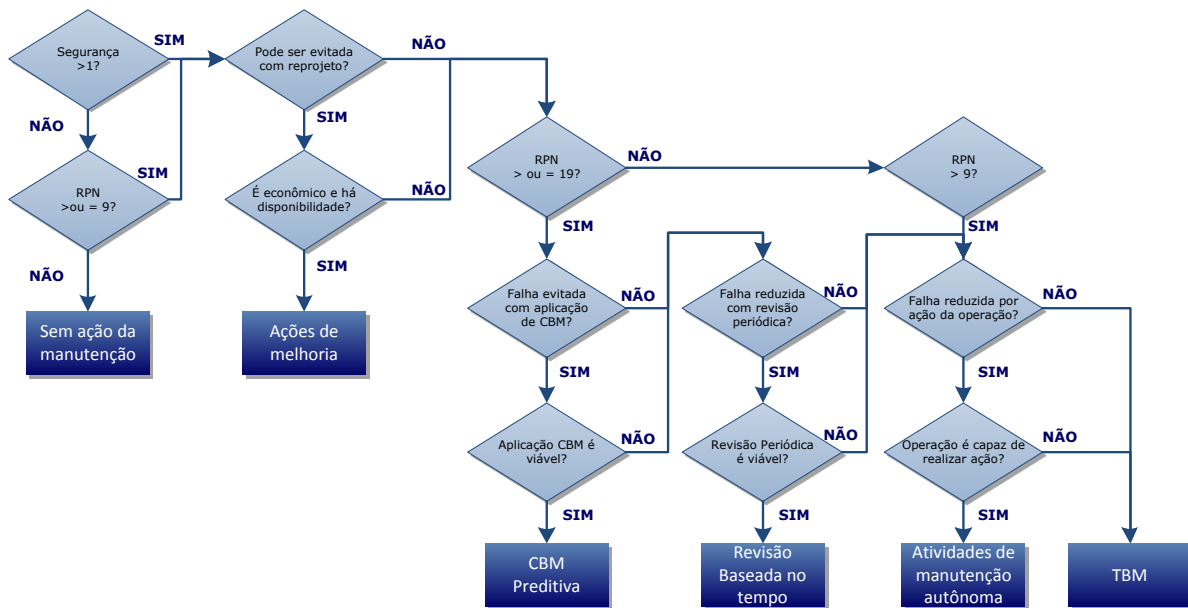


Figura 2 – Diagrama de decisão das ações de manutenção
Fonte: Autores, 2011.

4.4.8 Planejamento das ações;

Definida as ações e os responsáveis por sua execução, o passo seguinte é elaborar um plano de trabalho com a implantação das ações, devendo-se estabelecer um prazo para realização de todas as ações, em coerência com o risco apresentado por cada modo de falha e pela a ação a ser realizada. Nesta etapa, a criação de uma planilha auxiliar a planilha de análise FMECA é útil para o acompanhamento das ações, onde deverão ser registradas todas as atividades que possam impactar na realização das tarefas e contendo as contramedidas para possíveis atrasos.

4.5 Ciclo de Melhoria Contínua

Após o término da análise FMECA e aplicação das ações, um processo de auditoria faz-se necessário para efetuar a eficácia da aplicação e do método, através da análise dos seus resultados e dos dados da análise. Possíveis erros e desvios durante o processo de implantação ou após a conclusão da análise podem realimentar o FMECA, criando um ciclo contínuo de melhoria do processo analisado, da ferramenta FMECA e da equipe que está realizando a análise (SILVEIRA, 2009).

5. Estudo de Caso

O modelo de FMECA proposto foi aplicado em um sistema de geração de ozônio (O₃), de uma indústria de embalagens cartonadas assépticas. O sistema escolhido faz parte do processo de laminação da indústria, responsável pela formação da embalagem cartonada, representando a linha mais crítica da fábrica. No período de 9 meses de todas falhas ocorridas nessa linha, 5,18% eram decorrentes do sistema de geração de ozônio, que apresentou durante o período um número de 99 incidências que resultaram ou não em falhas funcionais.

Outros dois fatores aumentar a criticidade do sistema, o primeiro é que o ozônio é responsável pela oxidação do processo de laminação, garantindo a adesão dos materiais que compõem a embalagem, o segundo é que o ozônio é substância altamente tóxica, sendo que uma falha no sistema impacta na qualidade do produto e segurança do processo.

Dentre os diferentes processos utilizados para a geração de ozônio, o mais difundido é o

método de descarga por efeito corona, realizado através de descargas elétricas de alta tensão entre dois eletrodos, quebrando a molécula de oxigênio, O₂, que se recombina em ozônio O₃. A topologia mais utilizada para geração de ozônio consiste em um inversor em ponte completa, ligado ao primário do transformador que tem o secundário conectado à câmara geradora (BONALDO e POMILO, 2010). O diagrama de geração de ozônio do processo em análise é apresentado na figura 3.

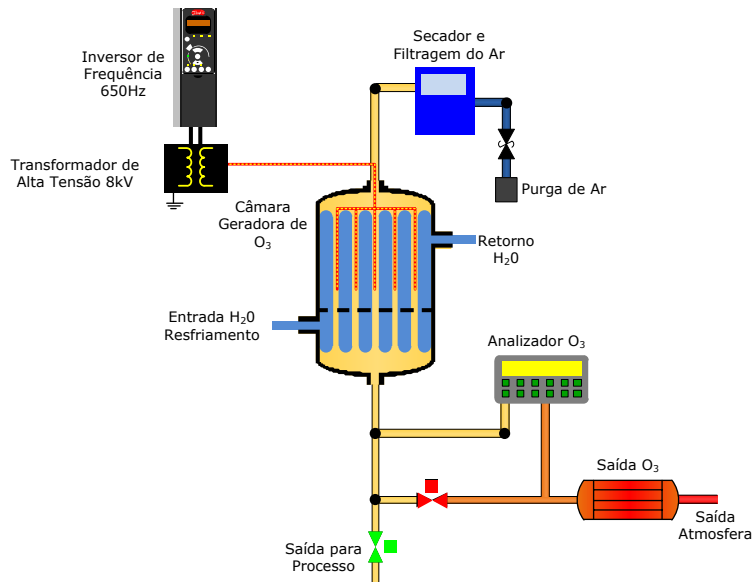


Figura 3 – Diagrama Sistema de Geração de Ozônio
Fonte: Autores, 2011.

A decomposição do sistema resultou em 22 subsistemas, dos quais apenas 7 foram escolhidos, com base no resultado da análise de criticidade realizada através da regra “80/20”. Os sistemas escolhidos e a análise de criticidade são apresentados na figura 4.

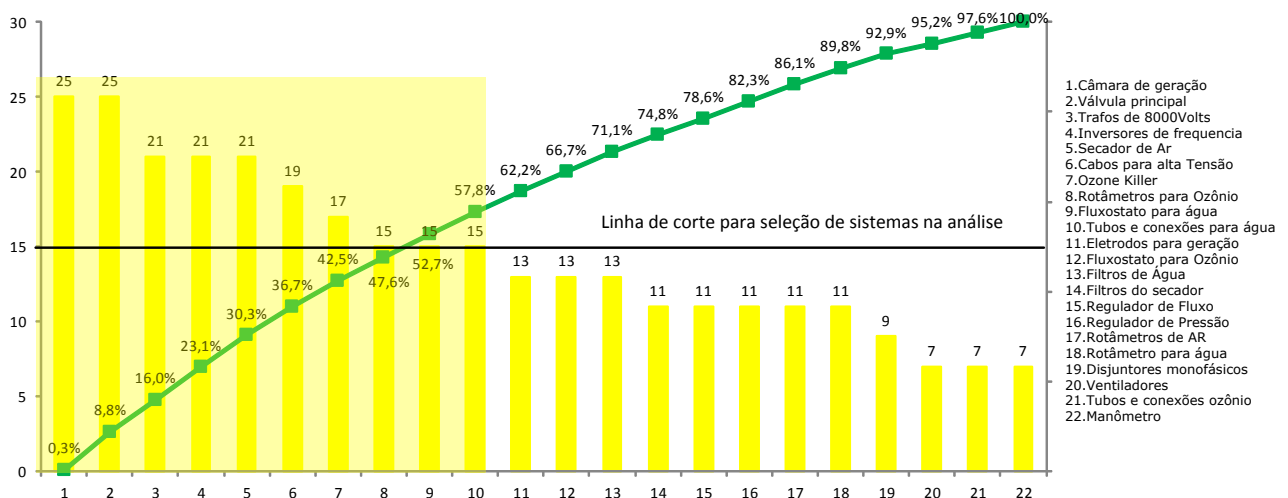


Figura 4 – Análise de criticidade dos subsistemas
Fonte: Autores, 2011.

Com a utilização da planilha FMECA, foram identificados três falhas principais com base nas funções: (i) não gerar ozônio; (ii) geração de ozônio em concentração insuficiente e (iii) falha na distribuição de ozônio. A partir da análise falhas, foram encontrados e classificados 98 modos de falhas distintos, observando que alguns modos de falhas estavam presentes nas três falhas principais, por exemplo, o erro de parametrização do inversor pode resultar na falha de não geração de ozônio (modo de falha 1C8) ou na concentração de ozônio insuficiente (modo de falha 2C3).

O cálculo do RPN foi realizado utilizando como parâmetro a gravidade do modo de falha, obtida em função do seu impacto sobre a segurança, qualidade e operação, da taxa de ocorrência do modo de falha e sua detecção, possibilitando a adoção do método de manutenção mais adequado para cada, resultando em: 14 atividades de inspeção, 3 atividades de CBM, 43 atividades de preventiva e 14 atividades de melhoria. Todas essas ações foram adicionadas ao planejamento da manutenção para controle e acompanhamento de sua execução.

A documentação resultante da análise foi incorporada a biblioteca técnica da manutenção para futuros treinamentos de manutentores e operadores do sistema. Com a decomposição realizada do sistema, foi possível incluir o sistema de ozônio na árvore de máquinas do software de gestão da empresa.

Concluída a análise do sistema e suas ações, em três meses o sistema de geração de ozônio apresentou somente cinco incidências, das quais apenas 3 resultaram em falhas, o que contribui para reduzir o impacto do sistema na linha principal de 5,18% para 1,036%, representando uma redução de 80%. Portanto confirma-se através deste estudo de caso que o modelo FMECA proposto é eficaz quando utilizado como ferramenta de confiabilidade na manutenção de sistemas críticos.

6. Conclusão

No presente trabalho foram analisadas as versões de FMECA e suas aplicações em diversos segmentos, destacando as características, vantagens e desvantagens de cada versão e contexto de aplicação. Analisaram-se os requisitos necessários para aplicar o FMECA como ferramenta de confiabilidade na manutenção de sistemas. Com base nos resultados foi proposto um modelo de aplicação de FMECA avaliando sua eficácia a partir de um estudo de caso, onde se validou sua utilização.

Referências

- ALMANNAI, B. GREENOUGH, R. & KAY, J.** *A decision support tool based on QFD and FMEA for the selection of manufacturing automation technologies.* Robotics and Computer-Integrated Manufacturing. Vol. 24, p. 501-507, 2008.
- ALSYOUF, I.** *Maintenance practices in Swedish industries: Survey results.* International Journal Production Economics. Vol. 121, p. 212-233, 2009.
- BASSETTO, S.; SIADAT, A. & TOLLENAERE, M.** *The management of process control deployment using interactions in risks analyses.* Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Montreal, Vol. 24, p. 458-465, 2011.
- BONALDO, J. P. & POMILIO, J. A.** *Estratégia de controle de conversores para geração de ozônio.* In: Congresso Brasileiro de Automática. 18, 2010. Bonito-MS. Anais...
- DEPARTMENT OF THE ARMY.** *Failure Modes, Effects and Criticality Analyses (FMECA) for Command, Control, Communications, Computer, Intelligence, Surveillance, and Reconnaissance (C4ISR) Facilities.* Technical Manual (TM 5-698-4). Washington, DC, 2006.
- DHILLON, B. S.** *Maintainability, maintenance and reliability for Engineers.* 1ª. ed. New York: CRC Press, 2006.
- DOHI, T; ASHIOKA, A & KAIO, N.** *Optimizing the repair-time limit replacement schedule with discounting and imperfect repair.* Journal of Quality in Maintenance Engineering, Vol. 7, n. 1, p. 71-84, jan-abr 2001.
- FILHO, G. B.** *A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção.* 1ª. ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.
- INT. ELECTROTECHNICAL COMMISSION.** *Analysis Techniques for System Reliability-Procedure for Failure Mode and Effects Analysis (FMEA).* IEC Standard. IEC-60812. 2006.
- KARDEC, A.; NASFIC, J.** *Manutenção: função estratégica.* 3ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- KIM, J. H.; JEONG, H. Y. & PARK, J. S.** *Development of the FMECA Process and Analysis Methodology for Railroad Systems.* International Journal of Automotive Technology, Montreal, Vol. 10, n. 6, p. 753-759, 2009.
- MARÇAL, R. F. M.** *Um método para detectar falhas incipientes em Máquinas Rotativas baseado em Análise de Vibrações e Lógica Fuzzy.* 2000. 124 f. Tese (Doutorado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica, de Minas e dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2000.
- MOBLEY, K.; HIGGINS, L. R.; WIKOFF,.** *Maintenance Engineering Handbook.* 7ª. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.
- MOBLEY, R. K.** *Root Cause Failure Analysis.* 1ª. ed. Boston: Newnes, 1999.
- OLIVEIRA, U. R.; PAIVA, E. J. & ALMEIDA D. A.** *Metodologia integrada para mapeamento de falhas: uma proposta de utilização conjunta do mapeamento de processos com as técnicas FTA, FMEA e a análise crítica de especialistas.* Revista Produção, São Paulo, Vol. 20, n. 1 p. 77-91, 2010.
- SAE STANDART.** *Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA).* SAE Standard. Surface Vehicle Recommended Practice SAE -J1739. 2000.
- SIQUEIRA, Y. P. D. S.** *Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação.* 1ª (Reimpressão). ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.
- SMITH, A. M. & HINCHCLIFFE, G. R.** *RCM – Gateway to Word Class.* 1ª. ed. Burlington: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2004.
- US DEPARTMENT OF DEFENSE.** *Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis.* Military Standard. MIL-1629. Washington, DC, 1980.