

THIAGO COSTA GARCIA

**APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE RCM E DA FERRAMENTA FMEA NO
AUMENTO DE CONFIABILIDADE EM EQUIPAMENTOS DE UMA
INDÚSTRIA QUÍMICA**

Guaratinguetá
2013

THIAGO COSTA GARCIA

APLICAÇÃO DOS CONCEITOS DE RCM E DA FERRAMENTA FMEA NO
AUMENTO DE CONFIABILIDADE EM EQUIPAMENTOS DE UMA
INDÚSTRIA QUÍMICA.

Trabalho de Graduação apresentado ao Conselho
de Curso de Graduação em Engenharia
Mecânica da Faculdade de Engenharia do
Campus de Guaratinguetá, Universidade
Estadual Paulista, como parte dos requisitos para
obtenção do diploma de Graduação em
Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Messias Borges Silva

Guaratinguetá
2013

G216a	Garcia, Thiago Costa Aplicação dos conceitos de RCM e a ferramenta FMEA no aumento de confiabilidade em equipamentos de uma indústria química / Thiago Costa Garcia – Guaratinguetá : [s.n], 2013. 88 f : il. Bibliografia: f. 87-88 Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2013. Orientador: Prof. Dr. Messias Silva Borges 1. Administração da produção 2. Controle de qualidade 3. Indústria química – equipamento e acessórios – confiabilidade I. Título CDU 658.5
-------	--

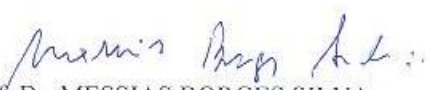
THIAGO COSTA GARCIA

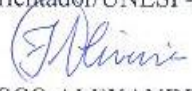
ESTE TRABALHO DE GRADUAÇÃO FOI JULGADO ADEQUADO COMO
PARTE DO REQUISITO PARA A OBTENÇÃO DO DIPLOMA DE
"GRADUADO EM ENGENHARIA MECÂNICA"

APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CONSELHO DE CURSO DE
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA


Prof. Dr. ANTÔNIO WAGNER FORTI
Coordenador

BANCA EXAMINADORA:


Prof. Dr. MESSIAS BORGES SILVA
Orientador/UNESP-FEG


Prof. Dr. FRANCISCO ALEXANDRE DE OLIVEIRA
UNESP-FEG


Eng. Dr. JOSÉ ROBERTO DALE LUCHE
UNESP-FEG

Dezembro de 2013

DADOS CURRICULARES

THIAGO COSTA GARCIA

NASCIMENTO 11.12.1989 – SANTO ANDRÉ/SP

FILIAÇÃO Cezarina Costa de Lima
 José Garcia Cano

2008/2013 Curso de Graduação
 Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá
 Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”

Dedicatória

aos meus pais José e Cezarina que tanto me ajudaram nessa caminhada e aos meus amigos com os quais compartilhei esse caminho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado capacidade e determinação para alcançar esse objetivo.

À minha família, que esteve sempre ao meu lado, orientando meus passos e me oferecendo apoio, incentivo e compreensão sempre que precisei.

Agradeço aos amigos que fiz durante o curso pela amizade e companheirismo, dividindo dias e noites de estudos, compartilhando angústias, conhecimentos e principalmente momentos de alegrias.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Messias Borges Silva, pelo suporte e apoio para realização desse trabalho.

Epígrafe

*“Se queres progredir não deves repetir a história, mas
fazer uma história nova”.*

*“Para construir uma nova história é preciso trilhar novos
caminhos”.*

Mahatma Gandhi

GARCIA, T. C., **Aplicação dos conceitos de RCM e da ferramenta FMEA no aumento de confiabilidade em equipamentos de uma indústria química**. 2013. 88 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá 2013.

RESUMO

A crescente busca por qualidade a preços competitivos e por rapidez em processos produtivos colocou à prova a função da Manutenção nos setores industriais. A necessidade de equipamentos com altas taxas de disponibilidade para adequar-se a essa competitividade acirrada faz com que a manutenção se torne essencialmente confiável. Apesar desse contexto atual, muitas empresas ainda apresentam uma visão antiga da manutenção, voltada apenas em serviços corretivos, e propostas de mudanças muitas vezes são negligenciadas devido ao senso de urgência do dia a dia. Dessa forma, este trabalho tem por objetivo demonstrar por meio de fundamentação teórica a aplicabilidade de ferramenta simples, porém de grande valor no aumento de confiabilidade dentro do setor de manutenção de uma indústria, aplicando os conceitos da Manutenção Centrada na Confiabilidade - RCM (Reliability Centred Maintenance) e a ferramenta de Análise de Modos de Falhas e Efeitos - FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) em equipamentos de uma empresa química envolvidos diretamente do processo de fabricação do fluido de freio, produto esse que é utilizado em veículos em todo o país. Dessa forma, conseguir identificar os tipos, a criticidade e a ocorrência de cada falha e avaliar de forma assertiva a tomada de decisão para cada equipamento, evitando paradas desnecessárias e falhas potenciais dos mesmos.

PALAVRAS-CHAVE: Disponibilidade. Manutenção Centrada em Confiabilidade. Análise de Modos de Falhas e Efeitos.

GARCIA, T. C., **Application of RCM concepts and the FMEA tool in increasing of reliability in equipments of a chemical industry**. 2013. 88 f. Monograph (Undergraduate Work in Mechanical Engineering) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá 2013.

ABSTRACT

The growing demand for quality at competitive prices and fast production process put to the test function in the industrial Maintenance. The need for equipment with high availability to fit this fierce competitiveness makes maintenance becomes essentially reliable. Despite this current context, many companies still have an old view of maintenance, focused only on corrective services, and proposals for change are often neglected due to the sense of urgency day to day. Thus, this study aims to demonstrate through theoretical applicability of simple tool, but of great value in increasing reliability within the maintenance sector of an industry, applying the concepts of Reliability Centered Maintenance – RCM and Analysis tool Failure Modes and Effects – FMEA in equipment of a chemical company directly involved in the manufacturing process of the brake fluid, which this product is used in vehicles around the country. That way, you can identify the types, occurrence and criticality of each failure and evaluate assertively decision making for each device, avoiding unnecessary downtime and potential failures of the same.

KEY-WORDS: Availability. Reliability Centered Maintenance. Failure Mode and Effect Analysis.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO.....	20
FIGURA 2 - CURVAS DA BANHEIRA, MUDANÇA DE VISÃO DE FALHAS.....	21
FIGURA 3 - ETAPAS DO PROCESSO RCM.....	26
FIGURA 4 - ESCALA PARA AVALIAÇÃO DE SEVERIDADE DOS MODOS DE FALHA.....	36
FIGURA 5 - ESCALA PARA AVALIAÇÃO DA OCORRÊNCIA DOS MODOS DE FALHA.....	37
FIGURA 6 - ESCALA PARA AVALIAÇÃO DO ÍNDICE DE DETECÇÃO DOS MODOS DE FALHA.....	37
FIGURA 7 - EXEMPLO DE PLANILHA FMEA.....	38
FIGURA 8 - FLUXOGRAMA MACRO DA ETAPA DE CARREGAMENTO DAS MATÉRIAS PRIMAS.....	42
FIGURA 9 - FLUXOGRAMA MACRO DA ETAPA DE AQUECIMENTO.....	43
FIGURA 10 - FLUXOGRAMA MACRO DA ETAPA DE RESFRIAMENTO.....	44
FIGURA 11 - MAPEAMENTO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO DA EMPRESA.....	53
FIGURA 12 - GRÁFICO DA DISPONIBILIDADE DA MANUTENÇÃO, UNIDADE PRODUTIVA DO FLUIDO DE FREIO.....	55
FIGURA 13 - GRÁFICO DO TOTAL DE HORAS DE INDISPONIBILIDADE PARA A MANUTENÇÃO.....	55
FIGURA 14 - GRÁFICO DE PARETO REFERENTE À INDISPONIBILIDADE POR ÁREA DA MANUTENÇÃO.....	56
FIGURA 15 - GRÁFICO DE PARETO DO NÚMERO DE FALHAS POR ÁREA DA MANUTENÇÃO.....	57
FIGURA 16 - GRÁFICO DE PARETO DO MTTR EM HORAS POR ÁREA DA MANUTENÇÃO.....	59
FIGURA 17 - GRÁFICO DE MTBF POR ÁREA DA MANUTENÇÃO.....	59
FIGURA 18 - PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG SELMECR-8104.....	64
FIGURA 19 - PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG FL-8110.....	65
FIGURA 20 - PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG B-8107/1.....	66
FIGURA 21- CONTINUAÇÃO PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG B-8107/1.....	67
FIGURA 22 - PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG MB-8107/1.....	68
FIGURA 23 - CONTINUAÇÃO PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG MB-8107/1.....	69
FIGURA 24 - PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG FSL-8107.....	70
FIGURA 25 - PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG TQ-8457/1.....	71
FIGURA 26 - PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG B-8417.....	72
FIGURA 27 - CONTINUAÇÃO PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG B-8417.....	73
FIGURA 28 - PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG PSV-8131.....	74
FIGURA 29- PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG B-8127.....	75
FIGURA 30 - CONTINUAÇÃO PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG B-8127.....	76

FIGURA 31 - PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG MB-8127.....	77
FIGURA 32 - CONTINUAÇÃO PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG MB-8127.	78
FIGURA 33- PLANILHA FMEA PARA EQUIPAMENTO TAG FSL-8127.....	79
FIGURA 34- GRÁFICO DE DISPONIBILIDADE DA MANUTENÇÃO DE JANEIRO À OUTUBRO DE 2013.	83
FIGURA 35 - GRÁFICO DO TOTAL DE HORAS PARADAS PARA A MANUTENÇÃO.	83

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DADOS DO TEMPO DE INDISPONIBILIDADE POR ÁREA DA MANUTENÇÃO.	56
TABELA 2 - NÚMERO DE FALHAS POR ÁREA DA MANUTENÇÃO.	57
TABELA 3 - MTTR EM HORAS POR ÁREA DA MANUTENÇÃO.	58
TABELA 4 - FALHAS CRÍTICAS DO SETOR PRODUTIVO.	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	14
1.2 JUSTIFICATIVAS	15
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 INTRODUÇÃO A MANUTENÇÃO	17
2.2 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO	18
2.2.1 Primeira Geração	18
2.2.2 Segunda Geração	19
2.2.3 Terceira Geração	19
2.3 NOVOS VALORES PARA A MANUTENÇÃO	21
2.4 TIPOS DE MANUTENÇÃO	22
2.5 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE	23
2.5.1 Introdução	23
2.5.2 Histórico	23
2.5.3 Conceito e Objetivo da Manutenção Centrada em Confiabilidade	24
2.5.4 Implantação da RCM	25
2.5.5 Funções	27
2.5.6 Padrões de Desempenho	27
2.5.7 Falha	28
2.5.8 Modo de Falha	28
2.5.9 Causa da Falha	28
2.5.10 Efeito de Falha	29
2.5.11 Consequência da Falha	29
2.6 GESTÃO DA MANUTENÇÃO	29
2.7 INDICADORES DA MANUTENÇÃO	30
2.7.1 MTBF	30

2.7.2 MTTR	31
2.7.3 Disponibilidade	31
2.7.4 OEE	31
2.7.5 Gastos da Manutenção	32
2.4 FERRAMENTAS DE SUPORTE DA MANUTENÇÃO	32
2.8 FMEA	33
2.8.1 Introdução	33
2.8.2 Níveis do FMEA	33
2.8.3 Benefícios alcançados com o FMEA	34
2.8.4 Etapas do processo FMEA	34
3 MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	39
3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO	41
3.2.1 Equipamentos Pertencentes ao Processo	45
3.3 O SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO	51
3.4 MÉTODO DE PESQUISA E COLETA DE DADOS	54
3.5 ANÁLISE DE DADOS	54
3.6 DESENVOLVIMENTO DO FMEA	60
3.6.1 Preparação do Estudo	60
3.6.2 Estudo e Análise de Dados	61
3.6.3 Levantamento de Informações dos Itens	61
3.6.4 Análise dos Modos de Falhas e Efeitos	62
3.6.5 Seleção de Tarefas de Manutenção	62
3.7 PLANILHA FMEA	62
3.8 PLANOS DE MANUTENÇÃO	80
3.9 VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS	82
4 CONCLUSÕES	85
REFERÊNCIAS	87

1 INTRODUÇÃO

Assim como todo setor industrial, a manutenção é um segmento que vem apresentando constantes alterações nos últimos anos. Conforme Andrade (2011), o acirrado mundo econômico atual e a globalização fazem com que as empresas busquem um nível altíssimo de qualidade de seus produtos, com custos baixos e em tempos de produção cada vez menores. Além desse cenário globalizado, grandes alterações se deram devido ao nível de automação e tecnologia presente nos itens físicos (equipamentos, instalações), com projetos muito mais complexos e dinâmicos. Esse novo paradigma industrial tem afetado diretamente o setor de manutenção das empresas, mudando conceitos e criando uma nova visão de planejamento, execução e das responsabilidades cabíveis da manutenção.

Nesse contexto, a disponibilidade de máquinas e equipamentos dentro de uma indústria representa valor intrínseco nos lead times de produção, e o conhecimento de que uma falha afeta não somente a produção, mas também a segurança e o meio ambiente tornou importante o conceito de confiabilidade dos equipamentos e sistemas.

Dessa forma, a implantação de novos métodos de manutenção, meios de detecção de falhas, e principalmente ferramentas de suporte a gestão e tomada de decisões se torna necessário para que a manutenção alcance níveis gerenciais estratégicos para a organização.

1.1 Objetivos

O objetivo principal deste trabalho é utilizar a Manutenção Centrada em Confiabilidade RCM (Reliability Centred Maintenance) combinada com a aplicação da ferramenta FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) para demonstrar a aplicabilidade desses métodos na identificação de falhas e a contribuição gerada na confiabilidade de equipamentos.

A abordagem desse assunto será tratada através de um estudo de caso realizado em equipamentos de um setor produtivo de uma indústria química, envolvidos diretamente no processo de produção do fluido de freio, visando melhorar a identificação das falhas e consequentemente aumentar a confiabilidade dos mesmos. A partir dessa aplicação, avaliar quais as melhorias que tais métodos trazem para o planejamento e organização da

manutenção. Como objetivo secundário tem-se mostrar como o uso de ferramentas simples de decisão podem ser aplicadas dentro da indústria e na manutenção das empresas, avaliando a contribuição no aumento da disponibilidade dos equipamentos.

1.2 Justificativas

O trabalho em questão é justificável, pois apesar da Manutenção Centrada em Confiabilidade ser hoje um conceito essencial de suporte à manutenção, ela é ainda pouco valorizada no ambiente industrial, e o uso de ferramentas de auxílio à decisão também são vagamente utilizados frente às demandas de urgência dentro do setor de manutenção.

A empresa em questão, na qual será realizado o trabalho, não possui nenhuma ferramenta de suporte a decisão como o FMEA que avalie os modos de falhas e seus efeitos, voltados para a análise de equipamentos. O desenvolvimento deste trabalho demonstra a necessidade de melhorias na unidade produtiva, como o aumento de confiabilidade e da disponibilidade do ponto de vista da manutenção. Além disso, é visível que o setor de manutenção da empresa ainda trabalha de uma forma reativa, atendendo as demandas de urgência do dia a dia com manutenções corretivas e sem critérios na forma de atuar preventivamente e de decisão de prioridades.

Nesse contexto, a aplicação do trabalho visa melhorar a identificação das falhas em equipamentos através do FMEA, para que dessa forma, sejam tomadas ações que contribuam para o aumento de confiabilidade do setor, reduzindo o índice de manutenções não planejadas e validando o uso desses métodos dentro de um setor industrial.

1.3 Estrutura do Trabalho

O presente trabalho é dividido em 4 capítulos, além deste introdutório. Aqui serão listados os capítulos que compõem este trabalho com suas respectivas descrições.

O capítulo 1 contém a introdução da dissertação, os objetivos gerais do estudo e as justificativas para a realização de tal pesquisa.

No capítulo 2 é tratada a revisão bibliográfica do assunto, no qual é apresentada uma breve introdução e história da manutenção, mostrando a evolução e as mudanças que ocorreram nesse setor durante os anos. São considerados também os tipos de manutenção existentes. Depois é feita uma revisão da história e dos conceitos sobre Manutenção Centrada em Confiabilidade e uma abordagem simples sobre a Gestão da Manutenção, os indicadores usados, e algumas ferramentas de gestão. Por fim, é realizado um estudo da metodologia do FMEA e sua aplicação como ferramenta de decisão.

No capítulo 3 são apresentados os materiais e métodos usados para o trabalho, juntamente com uma contextualização do problema em pesquisa. É feita uma descrição do sistema em estudo, com as etapas e os equipamentos envolvidos no processo. Também são apresentados os métodos de coleta de dados e a respectiva análise dos dados em questão, e através disso, mostra-se a realização e o desenvolvimento do trabalho com os resultados alcançados.

No capítulo 4 é realizada a conclusão final da dissertação, com a análise dos resultados encontrados e os aspectos que podem ser melhorados em futuras pesquisas. Também é apresentada a importância de tal estudo e como pode ser expandido para outras áreas da empresa em questão.

Por fim, trata-se as referências utilizadas na pesquisa.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 INTRODUÇÃO A MANUTENÇÃO

A manutenção possui um significado antigo que segundo Monchy (1989) surgiu a partir do conceito militar de “manter”, como ideia de conservar homens e materiais em níveis constantes de efetivo e operação. Do ponto de vista técnico o significado fornecido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT é que manutenção é “a combinação de todas as ações técnicas e administrativas destinadas a manter ou relocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida” (ABNT, 1994).

Os significados encontrados para manutenção buscam caracterizar a definição em si da palavra e em lógica apresentam o mesmo sentido. Já a função manutenção e seu papel dentro da indústria foram se moldando ao longo dos anos de acordo com a necessidade humana e com o avanço social e tecnológico da sociedade.

A manutenção é um dos segmentos industriais que mais evoluíram nas últimas décadas. A forma de se pensar e o gerenciamento da manutenção sofreram fortes alterações com o passar dos anos, transformando o conceito de manutenibilidade e o modo de se fazer manutenção. Hoje com a grande modernidade e complexidade dos itens físicos e dos sistemas industriais, a estratégia de manutenção adotada deve ser muito mais criteriosa do que a 30 ou 50 anos atrás, para isso, houve a necessidade de criação de novas técnicas de manutenção que visam um enfoque diferente sobre o modo de ocorrência das falhas e a percepção de riscos.

Além do avanço tecnológico que mudou um pouco do aspecto físico da manutenção, existe também uma mudança no sentido das responsabilidades e das expectativas em torno da manutenção, devido principalmente à adoção de um novo conceito para a falha e a uma conscientização de quanto uma falha acarreta não somente prejuízos materiais mais como também podem trazer riscos à segurança e ao meio ambiente.

E com essa nova abordagem para o conceito de falha, outro quesito se tornou importante para a adoção de uma manutenção que assegure a função dos itens físicos, evitando desperdícios de tempo, prejuízos financeiros e riscos à sociedade e aos recursos

naturais. Esse requisito é o que tanto a manutenção e outros setores dentro da indústria buscam como “confiabilidade”.

Essas transformações dentro da manutenção e essa nova filosofia centrada na confiabilidade marca o que Moubray (2000) considera como a 3ª Geração da Manutenção de acordo com a evolução dos métodos e da visão sobre a mesma.

2.2 HISTÓRICO DA MANUTENÇÃO

A manutenção é um conceito antigo que está presente na história humana desde o início do uso de instrumentos de produção, e que tem acompanhado a evolução dos equipamentos e sistemas industriais desde o nascimento das primeiras máquinas têxteis e máquinas a vapor com o advento da Revolução Industrial no final do século XVIII. Seu termo começou a ser aplicado dentro da indústria somente após a Segunda Guerra Mundial, mas segundo Moubray (2000) desde os anos 30 a manutenção pode ser estudada através de três gerações distintas que marcam a evolução da forma de se fazer manutenção.

2.2.1 Primeira Geração

Segundo Moubray (2000), a Primeira Geração abrange o período anterior a Segunda Guerra Mundial e marca uma época no qual a indústria é muito pouco mecanizada, sendo os equipamentos simples e muitas vezes superdimensionados. Nesse período havia pouca necessidade de reparos rápidos já que a produção atendia uma demanda muito baixa e algumas vezes ainda artesanal e não eram necessários grandes habilidades para realização das tarefas corretivas. Portanto, o planejamento da manutenção e o controle de prevenção de falhas inexistiam nessa época, sendo que as atividades ligadas à manutenção consistiam em reparos quando ocorriam paradas, limpeza, serviços simples e lubrificação.

2.2.2 Segunda Geração

Conforme Kardec e Nascif (1999), a Segunda Geração teve início a partir da Segunda Guerra Mundial e é um período com fortes mudanças no setor industrial. Com o pós-guerra e a partir dos anos 50 houve uma transformação no modo de vida da sociedade, aumentando a procura e a necessidade por bens de consumo enquanto a mão-de-obra sofreu uma grande queda. Esse paradigma fez crescer a mecanização das indústrias, aumentando o número de itens físicos e a complexidade dos mesmos.

A dependência pela mecanização mudou o foco de tempo e de falha, e fez nascer a ideia de que as falhas deveriam ser evitadas e que os tempos de paralização poderiam ser diminuídos para evitar perdas no processo produtivo e redução nos custos com as ações corretivas, resultando no conceito de manutenção preventiva e conduzindo a indústria a criação de sistemas de controle e planejamento da manutenção. Tornou-se comum então o uso de planos de revisões periódicas de equipamentos e a busca por aumentar a vida útil dos mesmos.

2.2.3 Terceira Geração

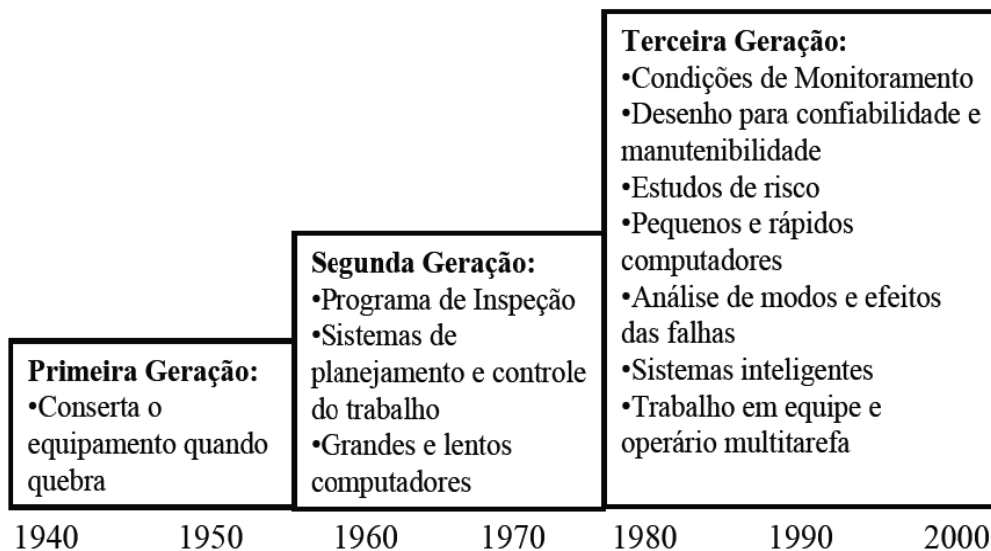
A terceira geração nasce de uma série de necessidades advindas do consumo em escala mundial de produtos industrializados e do crescente aumento em automação e tecnologia surgidas a partir da década de 70, Moubray (2000). Soma-se a isso, a adoção, da maioria das empresas de manufatura, de sistemas de produção just-in-time, na qual os estoques são reduzidos e o tempo desde a chegada de matéria prima até a saída do produto final é demasiadamente valorizado para evitar desperdícios e gargalos. Portanto, a partir da terceira geração houve uma maior conscientização de que períodos de paralização reduzem a capacidade produtiva, impactando diretamente na qualidade prestada ao cliente, no tempo de entrega e nos custos decorrentes da operação, Vicente (2012).

A necessidade de redução de custos foi outro fator determinante para que ocorressem as mudanças no modo de se pensar e de fazer manutenção. A globalização, o avanço em transportes e telecomunicações, reduziu distâncias e fez crescer a concorrência global e a competitividade entre mercados, Andrade (2011). Os custos com manutenção também se elevaram muito e por isso a necessidade de manter os itens físicos o máximo possível em

funcionamento para assegurar o retorno dos investimentos realizados, daí a grande preocupação surgida com disponibilidade e confiabilidade de equipamentos e sistemas.

A geração atual proporcionou também um avanço no entendimento sobre os modos como um equipamento pode vir a falhar, e com isso, a criação de novas técnicas, principalmente de monitoramento de condição, além da melhoria na identificação dos modos de falha através de ferramentas de decisão sobre análise de riscos (FTA – Análise de Árvores de Falhas e FMEA – Análise de Modos de Falhas e Efeitos) e metodologias de gestão e planejamento tais como a TPM (Manutenção Produtiva Total) e a RCM (Manutenção Centrada em Confiabilidade), Zaions (2003).

Figura 1 - Evolução da Manutenção.



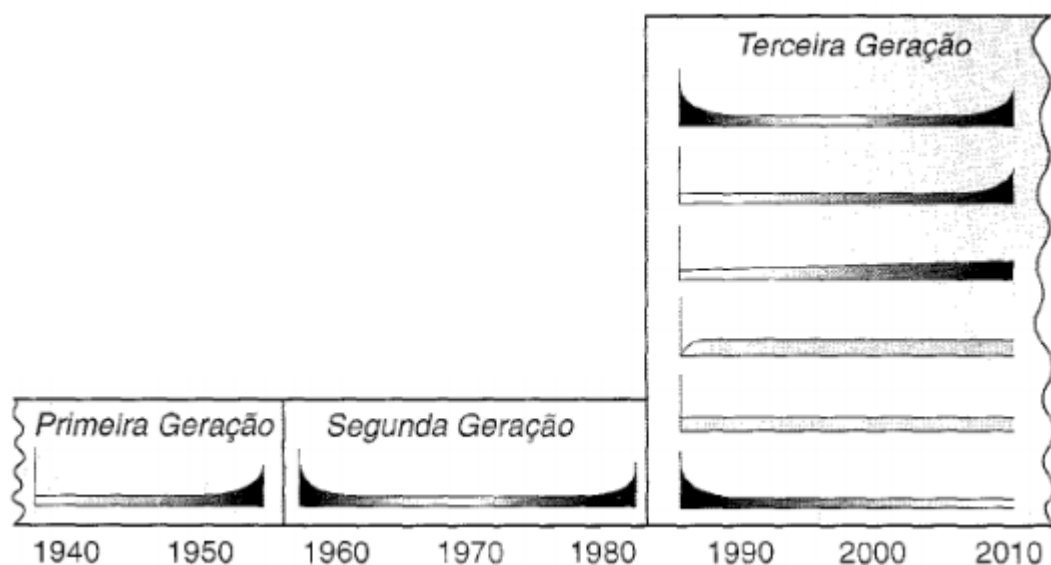
Fonte: Moubray, 2000, pág. 3

2.3 NOVOS VALORES PARA A MANUTENÇÃO

A manutenção sempre foi um dos setores chaves dentro de uma planta industrial, mas notadamente ela ganhou novos valores a partir do aumento na dependência dos itens físicos, da necessidade em escala global de redução de custos e melhorias na produtividade sem perder os elevadíssimos padrões de qualidade exigidos pelo mercado.

Segundo Kardec e Nascif (1999), existe hoje uma profunda mudança cultural nas atividades de manutenção, transformando o conceito de que manutenção eficaz seria quando um reparo é bem executado para a ideia de que a manutenção é boa quando não há a necessidade de reparos e as quebras não planejadas são evitadas. E a crença que existia de que as falhas só estão intimamente ligadas com a idade operacional dos itens físicos também mudou a partir da Terceira Geração, em que estudos dessa época revelaram 6 padrões de falha diferentes que ocorriam na prática. Isso mostrou que a maioria das tarefas de manutenção não surtia o mesmo efeito para todos os equipamentos ou sistemas, e que deveria então haver uma mudança de ações sobre a manutenção.

Figura 2 - Curvas da Banheira, mudança de visão de falhas.



Fonte: Moubray, 2000, pág. 4

O surgimento de novas técnicas e de ferramentas de suporte à decisão, o projeto de equipamentos levando em consideração a sua manutenibilidade e a mudança na visão sobre custos e confiabilidade, tornou a manutenção não somente um serviço de apoio da produção, mas sim uma disciplina de gerenciamento de fundamental importância em qualquer processo industrial, criando um pensamento empresarial em torno da manutenção que deve envolver todos os níveis hierárquicos dentro de uma organização.

2.4 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Os tipos de manutenção caracterizam a forma de atuação na prevenção ou execução de serviços de manutenção em equipamentos, e pode ser classificada basicamente em dois tipos: corretiva e preventiva.

Segundo Viana (2002), a corretiva se enquadra dentro da manutenção não planejada, que inclui todas as ações tomadas após a ocorrência da falha para retornar o equipamento ou sistema às suas condições de funcionamento operacional. A taxa de frequência da manutenção corretiva tem uma estreita relação com a confiabilidade do equipamento e é um modo de atuação não desejado, pois acontece quando a falha não é prevista ou quando não é possível evitá-la.

Já a manutenção preventiva engloba todas as medidas necessárias para manter o sistema em seu estado disponível com todas as suas funções requeridas. Essas medidas conforme Viana (2002) podem ser realizadas por meio de inspeções rotineiras, serviços de limpeza e lubrificação, calibração ou paradas programadas. Tipos de serviços como esses são executados de forma planejada e afetam diretamente a confiabilidade dos equipamentos, diminuindo a ocorrência de falhas e a frequência de ações corretivas.

Dentro da manutenção preventiva, se enquadra outro tipo, conhecido como manutenção preditiva, que se trata de ações tomadas mediante o conhecimento de que há uma falha iminente pra acontecer em determinado item físico ou então prognosticar uma possível falha. Esse é um tipo de serviço rotineiro em que são usados métodos de detecção como análise de ruídos e de vibrações, medições de temperatura e pressão e monitoramentos em geral.

Para se construir um planejamento de manutenção eficaz devem ser levados em conta todos esses tipos de serviços, sendo necessária uma avaliação por completa das características do sistema para se determinar qual método é o mais eficiente para cada equipamento.

2.5 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE

2.5.1 Introdução

Na indústria em geral e principalmente no setor de manutenção se tornou comum o uso do termo confiabilidade. Segundo Kardec e Nascif (1999) Confiabilidade é a “probabilidade de que um item possa desempenhar sua função requerida por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições definidas de uso”. Esse conceito se tornou uma das maiores preocupações em praticamente todos os setores da indústria por avaliar a probabilidade de riscos ou falhas de um sistema, processo ou produto.

Entretanto, esse termo só começou a aparecer no cenário da manutenção quando políticas puramente corretivas deram lugar à manutenção preventiva a partir da Segunda Geração da Manutenção. Nessa época as falhas eram caracterizadas por um único padrão da curva da banheira, na qual ocorriam altas taxas de falhas no início do uso do item, seguida de um período de falhas constantes e encerrando com um aumento considerado no número de falhas até a degradação total. Para esse padrão, as revisões e reparos programados eram considerados como garantia de confiabilidade, mas que foram se mostrando ineficientes a partir dos estudos feitos pela indústria aeronáutica.

2.5.2 Histórico

De acordo com Kardec e Nascif (1999), o termo Confiabilidade (do inglês Reliability) começou a ser usado para a manutenção na década de 50 nos Estados Unidos, a partir de análises feitas em equipamentos eletrônicos de uso militar.

Conforme Moubray (2000), na década de 60 a indústria aeronáutica americana se mostrou cansada dos métodos de manutenção adotados na época, baseadas em revisões e restaurações, que se mostravam ineficientes e altamente custosas. Foi então desenvolvido pela Federal Aviation Administration um programa de estudo de confiabilidade e avaliação dos métodos de manutenção para a indústria aeronáutica. A base desse estudo era entender o porquê de certos tipos de motores falhavam sem apresentar nenhum tipo de mudança na frequência ou controle de suas revisões programadas. Com isso chegou-se a algumas conclusões que mudaram os pensamentos até então vigentes para algumas práticas de

manutenção principalmente a preventiva. Algumas delas seriam que se um item não possui um modo de falha predominante, então as revisões programadas de pouco afetariam a sua confiabilidade, e que para muitos itens, a manutenção preventiva não era eficaz e não seria a melhor prática a ser exercida.

O estudo realizado e os resultados obtidos por ele foram publicados em 1967 e aperfeiçoados no ano seguinte por um grupo responsável pela manutenção da aeronave 747 da Boeing. Esse documento ficou conhecido como MSG 1 e apresentou grandes melhorias no programa de manutenção da Boeing. Consequentemente novas técnicas de avaliação de decisão foram incorporadas a este documento surgindo em 1970 o MSG 2 que tratava do planejamento de manutenção dos fabricantes de aeronaves.

Estes estudos permitiram uma melhor compreensão do processo de falhas dos itens de uma aeronave e reduziram muito os custos com as revisões programadas por direcionar as ações preventivas de maneira eficaz, sem redução na confiabilidade.

A partir do MSG 1 e MSG 2 um novo relatório desenvolvido por Stanley Nowlan e Howard Heap serviu como base para a publicação em 1978 do MSG 3, intitulado como Reliability Centred Maintenance (Manutenção Centrada em Confiabilidade). O MSG 3 passou por duas revisões em 1988 e 1993, e permanece até hoje como um dos principais documentos de gestão de equipamentos e de programas de manutenção focados em confiabilidade na indústria aeronáutica, e base para outros estudos como o RCM 2 desenvolvido por Moubray em 1991, visando orientar as empresas na análise de seus equipamentos, e que atualmente é um método reconhecido mundialmente e aplicado nos mais diversos ramos industriais que buscam aumentar a confiabilidade de suas instalações e otimizar as políticas de manutenção.

2.5.3 Conceito e Objetivo da Manutenção Centrada em Confiabilidade

Todo tipo de equipamento, item físico ou sistema que é projetado possui uma função inerente, que nada mais é, que o desempenho que o equipamento é capaz de fornecer. A partir dessa função inerente, existe a necessidade do desempenho requerido, que é a função na qual o usuário deseja obter de seu item. Conforme Kardec e Nascif (1999), quando o equipamento deixa de desempenhar a sua função requerida considera-se que o equipamento falhou e é então necessária a intervenção da Manutenção ou a aplicação de modificações no projeto do equipamento ou em seu sistema.

Dessa forma, a Manutenção é a responsável por retornar os itens do estado falho para o estado na qual o desempenho é o desejado. E a Manutenção Centrada em Confiabilidade tem por objetivo auxiliar nesse contexto, na preservação da função do sistema, na identificação de falhas potenciais, priorização das falhas segundo o grau de risco ou consequência, e na tomada de decisão sobre qual a melhor metodologia a ser aplicada levando em consideração a viabilidade técnica e o custo. De acordo com Moubray (2000) a “Manutenção Centrada em Confiabilidade é descrita como um processo usado para determinar o que precisa ser feito para garantir que qualquer item físico continue a cumprir as funções desejadas”.

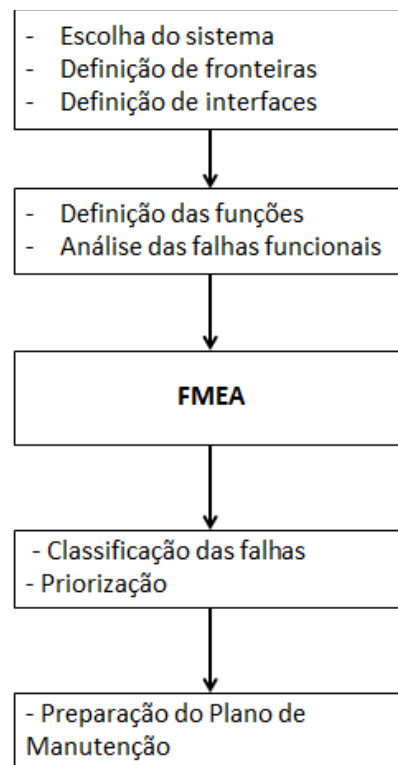
Segundo Moubray (2000), com o uso dessa metodologia é possível alcançar:

- Maior segurança e proteção ambiental, pois os modos de falha devem levar em consideração os efeitos sobre a segurança operacional e o meio ambiente;
- Melhoria nos custos de manutenção, porque o foco é realizado nas atividades que afetam com maior proporção o desempenho do sistema;
- Há um maior registro e histórico de dados, pois é necessária uma revisão dos ativos ou do processo que vai ser analisado;
- O desempenho operacional é melhorado, porque se aloca de forma mais adequada os planos de ações e manutenções para cada produto ou processo;
- Aumento da vida útil de itens, pela decisão de técnicas de manutenção que atendam de forma criteriosa cada situação.

2. 5.4 Implantação da RCM

Como um método de suporte à decisão, segundo Andrade (2011), a Manutenção Centrada em Confiabilidade pode ser implantada em qualquer ramo da indústria e é uma alternativa eficaz para manter níveis altos de competitividade dentro do mercado globalizado. Segundo Kardec e Nascif (1999), a implementação do processo RCM deve seguir as seguintes etapas:

Figura 3 - Etapas do Processo RCM.



Fonte: Adaptado de Kardec e Nascif, 1999, pág. 117

O processo básico de aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade passa pela análise de sete questões, desde o ponto de definição da função que é esperada para o equipamento ou sistema, até chegar ao ponto de criação de políticas de manutenção tecnicamente viáveis e com o melhor custo-benefício. Conforme Kardec e Nascif (1999) e Moubray (2000), as sete questões são:

1. Quais são as funções e padrões de desempenho do item no seu contexto operacional?
2. De que forma o item falha em cumprir suas funções?
3. Qual é a causa de cada falha funcional?
4. O que acontece, quais as consequências quando ocorre cada falha?
5. De que forma cada falha tem importância?

6. O que pode ser feito para prevenir cada falha?
7. O que deve ser feito, se não se pode prever ou encontrar uma tarefa preventiva apropriada?

Para responder as sete questões é importante haver um perfeito entendimento das definições com relação à função e desempenho esperado pelo item, associados com os possíveis modos de falhas do equipamento em seu contexto operacional. Dessa forma, para o uso dos conceitos de RCM na aplicação de ferramentas de suporte como a Árvore de Falhas e a Análise dos Modos de Falha e Efeitos, as informações apresentadas abaixo precisam estar bem claras e definidas, pois são fundamentais para o desenvolvimento de tais atividades.

2.5.5 Funções

Cada item ou equipamento quando instalado deve exercer uma ou mais atividades conforme a necessidade para a qual ele foi projetado. Isso pode ser definido como função.

Às vezes um item físico pode ser adquirido para exercer mais de uma função, portanto, deve ser bem definido quais são as funções principais e secundárias desse item, pois o objetivo da manutenção é assegurar o desempenho mínimo das funções principais.

2.5.6 Padrões de Desempenho

Quando um item é projetado e sua função é definida, ele deve apresentar um padrão mínimo de desempenho para que cumpra com sua função quando colocado em operação. Porém, todo equipamento ou componente se deteriora ou passa por algum tipo de desgaste com o tempo. Isso faz com que o padrão de desempenho desejado pelo usuário não seja o ideal.

A manutenção então é a responsável segundo Zaions (2003) por tentar manter o desempenho do item sempre acima de seu padrão mínimo e limitado pela sua capacidade inerente.

2.5.7 Falha

Segundo a NBR 5462 (1994), falha é quando há o término da capacidade de um item em desempenhar sua função requerida por um período de tempo. Ela pode ser representada não somente pela indisponibilidade de certo item, mas também como a operação com padrão de desempenho menor do que o aceitável, perda de qualidade do produto, ou quando ocasiona riscos a segurança operacional e/ou ao meio ambiente. Conforme Moubray (2000) é preferível definir a falha de acordo com a perda da função específica do item ao invés de somente por indisponibilidade.

2.5.8 Modo de Falha

Todo tipo de evento ou situação que leve algum ativo a perder sua função requerida e/ou reduzir seu padrão de desempenho mínimo desejado, é considerado um modo de falha.

Conforme Zaions (2003), os modos de falha podem ser classificados em três grupos:

- Quando a capacidade é reduzida abaixo do desempenho desejado;
- Quando o desempenho desejado é maior que a capacidade inerente;
- Quando o ativo não é capaz de exercer o que é desejado.

A determinação dos modos de falha de um item é um dos passos mais importantes no desenvolvimento de uma análise de confiabilidade, pois a partir do conhecimento dos modos de falha é possível verificar suas consequências e planejar ações corretivas ou preventivas para a falha. Para melhorar a identificação dos modos de falha se torna fundamental ter em mãos um histórico de falhas já ocorridas.

2.5.9 Causa da Falha

Segundo Lafraia (2001), a causa da falha é todo tipo de processo, seja ele físico ou químico, má qualidade dos componentes, defeito de projeto, defeitos de instalação e montagem, uso fora da condição operacional, condições não previstas em projeto ou qualquer outro processo que levou a falha a ocorrer ou a razão que iniciou o processo de falha.

2.5.10 Efeito de Falha

Conforme Siqueira (2005), efeito de falha é toda a mudança que ocorre no item ou em seu sistema depois de ocorrer a falha. Esse efeito pode ser sentido tanto no estado do item (desgaste, consumo excessivo), operacional (esforço excessivo de operação), ou pela perda da função (indisponibilidade, queda no desempenho).

A análise dos efeitos deve ser feita como se nenhuma medida de prevenção ou manutenção fosse realizada para prevenir a falha, assim é possível verificar através dos estudos dos efeitos quais são as reais consequências causadas pelos modos de falhas e o impacto que elas têm sobre o ativo e seu sistema.

2.5.11 Consequência da Falha

Toda ocorrência de falha gera algum impacto negativo à empresa e acarreta aumento de custos:

- Parada de produção;
- Indisponibilidade do item;
- Custo de manutenção e reparo;
- Perda de qualidade do serviço ou produto;
- Aumento do consumo de energia ou outros insumos;
- Riscos a segurança e ao meio ambiente.

Dependendo da natureza e da severidade dos efeitos causados pelos modos de falha, as consequências podem trazer maiores ou menores riscos e custos para a empresa. A partir da análise combinada desses efeitos associados a cada falha, se torna possível priorizar e hierarquizar as consequências, determinando as medidas de controle e prevenção mais adequadas.

2.6 GESTÃO DA MANUTENÇÃO

As mudanças de estratégia de manutenção durante os anos e o enfoque na Manutenção Centrada em Confiabilidade mostrou que a manutenção também deve ser um setor gerencial dentro de uma organização. Conforme Kardec & Nascif (1999), não basta, apenas, reparar o

equipamento tão rápido quanto possível, mas sim, manter a função do equipamento disponível para operação, reduzindo a probabilidade de uma parada não planejada. Dessa forma, a gestão da manutenção também deve ser estratégica para a organização, com etapas que envolvam o planejamento em função das metas, implementação de planos de ação, avaliação através de indicadores e auditorias, e por fim ações corretivas, formando um ciclo que deve acontecer continuamente e que introduzam melhorias na manutenção visando o aumento de produtividade. Para contribuir com esse fluxo contínuo, existem diversas ferramentas de suporte a decisão, métodos de gestão e de qualidade da manutenção, indicadores de desempenho.

2.7 INDICADORES DA MANUTENÇÃO

Os indicadores de manutenção têm por objetivo medir e avaliar a performance do setor de manutenção, de forma a estar sempre dentro de níveis e padrões de qualidade compatíveis com as metas da organização.

Segundo Kardec e Nascif (1999), “Quem não mede não gerencia!”. Para o gerenciamento da manutenção ser estratégico é necessário conhecer a situação atual da organização e identificar metas gerenciais de acordo com a visão da empresa. Conforme Viana (2002), as metas devem ser alcançadas através de planos de ações e projetos de melhorias, no qual a avaliação dos impactos das mudanças ou dos planos só é possível quando se dispõem de um conjunto de indicadores que revelem a eficiência ou não dessas propostas.

Existem diversos indicadores usados para avaliação de desempenho, para a manutenção eles variam de acordo com a necessidade e o critério da empresa. Os mais usados são:

2.7.1 MTBF

O MTBF do inglês (Mean Time Between Failures) ou Tempo Médio entre Falhas é um índice definido como a razão entre o total de horas disponíveis de um equipamento para a operação pelo número de falhas desse equipamento na qual houve necessidade de intervenção da manutenção. Esse índice indica o desempenho do equipamento e o efeito das ações da manutenção sobre ele.

2.7.2 MTTR

O MTTR do inglês (Mean Time To Repair) ou Tempo Médio de Reparo é definido como a razão entre a soma das horas de indisponibilidade para a operação (horas em que o equipamento ficou parado para a manutenção) pelo número de intervenções corretivas no período analisado. O MTTR avalia o desempenho da manutenção quanto à rapidez de reparo em determinado equipamento.

2.7.3 Disponibilidade

A Disponibilidade segundo a NBR-5462 (1994) é definida como a capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado.

A fórmula de cálculo da Disponibilidade varia de acordo com o que setor ou com a empresa, podendo ser utilizada para identificar o tempo disponível de qualquer item ou para qualquer processo produtivo e operação. Na manutenção a fórmula comumente usada engloba os índices de MTBF e MTTR:

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} * 100$$

Para a manutenção quanto maior a disponibilidade, maior é o período entre falhas e/ou menor o tempo no qual o item necessitou de intervenção da manutenção. Isso revela um bom comportamento do equipamento e/ou uma atuação rápida da manutenção para solucionar as falhas.

2.7.4 OEE

O OEE do inglês (Overall Equipment Effectiveness) ou Índice de Eficiência Global do Equipamento é um dos indicadores mais utilizados nas grandes empresas para avaliar índices de disponibilidade, de performance e de qualidade de seus equipamentos ou sistemas produtivos.

Ele funciona através da identificação das perdas que afetam a eficiência de um equipamento, incluindo perdas por rendimento do processo, paradas para manutenção, falta de matéria prima, falta de mão de obra, setups, etc. Os dados quantitativos dessas perdas são subtraídos do tempo total na qual esse equipamento poderia estar produzindo, dessa forma, consegue-se monitorar a eficácia de utilização do item e quais as perdas que mais afetam a sua qualidade, disponibilidade e performance de operação.

2.7.5 Gastos da Manutenção

Segundo Kardec, Flores & Seixas (2002) o custo da manutenção representou na média, 4,47% do faturamento das empresas no ano 2000. Apesar da tendência mundial de redução de custos, é necessário avaliar o quanto a redução de gastos com a manutenção podem prejudicar a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos. Daí, a necessidade de avaliação dos gastos da manutenção através de indicadores financeiros.

Os indicadores financeiros tem a finalidade de assegurar que os setores de uma empresa estão alinhados com as metas e objetivos propostos para a organização, e podem ser medidos através de diversos índices: custo da manutenção pelo custo total de produção, custo da manutenção por unidade produzida, custo da manutenção corretiva, custo da manutenção total, etc.

2.4 FERRAMENTAS DE SUPORTE DA MANUTENÇÃO

A partir da Terceira Geração da Manutenção começaram a surgir diversas práticas e ferramentas de decisão para auxiliar no aumento de confiabilidade de itens e sistemas. Dentre essas práticas e ferramentas, algumas delas são:

- Metodologia 5S, que conforme Vicente (2012), visa através de 5 sentidos (utilização, arrumação, limpeza, saúde e higiene, auto disciplina) melhorar a organização e limpeza no ambiente de trabalho e operação;
- TPM – Manutenção Produtiva Total, segundo Oliveira (2012), se trata de uma metodologia que envolve todos os setores da empresa a buscar de seus funcionários o máximo envolvimento para alcançar melhorias na eficiência dos equipamentos;

- FTA – Análise de Árvore de Falhas, um método lógico para descobrir e associar eventos que conduzam a um modo de falha característico do equipamento ou sistema, Vicente (2012);
- FMEA – Análise dos Modos e Efeitos de Falhas, que visa identificar modos de falhas e os efeitos gerados das falhas para priorizar ações de melhorias.

2.8 FMEA

2.8.1 Introdução

O FMEA ou Análise de Modos de Falhas e Efeitos (Failure Mode and Effect Analysis) é um método sistemático desenvolvido inicialmente pelo exército norte-americano O'Connor (1991) e que hoje é reconhecido mundialmente como uma das principais ferramentas da confiabilidade. Segundo Palady (1997), o FMEA é uma técnica indutiva para reconhecer falhas já conhecidas e antecipar falhas em potencial, avaliando os efeitos que podem ser gerados do ponto de vista operacional, de segurança, qualidade e meio ambiente. Conforme Guzzon (2009), essa avaliação deve resultar na evidência das causas das falhas, e a partir disso, na criação de ações de melhorias classificadas de acordo com uma prioridade de criticidade definida através da análise de severidade, ocorrência e detecção do modo de falha.

2.8.2 Níveis do FMEA

Conforme Kardec & Nascif (1999), a aplicação do FMEA pode se dar em três níveis diferentes:

- FMEA no projeto – busca identificar e eliminar na fase de concepção do equipamento ou produto as causas que podem levar esse item a falhar, considerando erros relacionados somente ao projeto, como mau dimensionamento, especificação inadequada do material, erro no cálculo de forças e tensões atuantes, etc.;
- FMEA no processo – o foco dessa análise é realizado sobre o equipamento ou item físico, avaliando sua função operacional dentro de um sistema global, como ele falha

em cumprir essa função dentro do sistema e quais os efeitos que essa falha gera no equipamento e para o sistema;

- FMEA no sistema – a atenção é voltada para a linha de produção como um todo, avaliando as falhas e os possíveis gargalos no processo global.

Para o setor de Manutenção, o desenvolvimento de um FMEA está sempre relacionado com a análise de processo, pois o enfoque envolve a avaliação de equipamentos que estão instalados e em operação.

2.8.3 Benefícios alcançados com o FMEA

Através do FMEA é possível alcançar uma série de benefícios e melhorias para o sistema em estudo, Palady (1997). Além de auxiliar como um método dedutivo de reconhecimento de falhas, o FMEA usado para o nível de processo, segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), tem o objetivo de priorizar com uma análise lógica as falhas que mais impactam na qualidade do produto e na condição operacional, assim, é possível alcançar muitos dos benefícios listados abaixo:

- Redução nos custos de operação e manutenção;
- Redução de falhas potenciais em serviço;
- Identificação do serviço de manutenção mais adequado para o item;
- Aumento nos tempos de disponibilidade;
- Locação de mão de obra e serviços de forma mais adequada;
- Identificação de possíveis gargalos no sistema;
- Registro mais eficaz de informações e documentação do item;
- Aumento na confiabilidade de operação do sistema.

2.8.4 Etapas do processo FMEA

Conforme Palady (1997), a criação de um trabalho como o FMEA envolve a participação de uma equipe multidisciplinar, contendo técnicos e engenheiros dos setores de manutenção, operação, segurança e meio ambiente, que conheçam as etapas de

desenvolvimento do FMEA, e alinhados com as definições de funções e padrões de desempenho esperados pelo equipamento em análise. Conforme Palady (1997), a multidisciplinaridade da equipe é importante para que as decisões tomadas englobem todas as áreas que podem ser afetadas pela falha, e devido à complementação de ideias e a produtividade do trabalho se mostrar mais eficiente quando há o envolvimento de diversas áreas.

O desenvolvimento do FMEA inicia-se com algumas etapas prévias, que seriam:

- Preparação do estudo – definição do grupo responsável pelo trabalho e quais devem ser os parâmetros mais importantes a serem avaliados com relação à segurança, operação e economia do processo;
- Seleção do sistema em estudo – identificação dos itens ou sistema que serão avaliados e escolha do tipo de análise que será feita (projeto, processo, sistema), estabelecendo as fronteiras até a qual o estudo pretende avaliar;
- Registro de informações – selecionar todas as informações possíveis do item ou produto como dados operacionais, especificações de projeto, fluxogramas de engenharia, procedimentos operacionais, histórico de falhas, etc.;
- Função do Componente ou processo - descrever todas as atividades desempenhadas pelo item ou sistema, identificando qual a função e o padrão de desempenho esperados para o mesmo.

Após essa definição prévia, o estudo do FMEA deve seguir as seguintes etapas, conforme Lafraia (2001):

1 – Identificação dos Modos de Falhas – Nessa etapa devem ser identificados os modos de falhas que realmente causem alguma ineficiência no item ou no sistema em que ele opera, com base em falhas já ocorridas, falhas em itens similares e falhas que podem ocorrer.

2 – Identificação das Causas Básicas das Falhas – A identificação das causas deve ser feita evitando informações genéricas e considerando causas físicas, químicas, desgaste, defeito de projeto, uso indevido, etc.

3 – Identificação dos Efeitos das Falhas – Dependendo da fronteira do estudo, podem ser avaliadas consequências do ponto de vista operacional, econômica, de qualidade,

segurança e com relação a danos ao meio ambiente. Deve-se considerar o efeito como se nenhuma medida de segurança ou manutenção fosse realizada para prevenir a falha.

4 – Análise de Criticidade – Essa análise visa estabelecer critérios para priorização das falhas através da determinação de três índices:

- Severidade – índice que deve revelar a gravidade causada pelos modos de falha, considerando os efeitos e consequências em todas as áreas;
- Probabilidade de Ocorrência – índice que avalia uma estimativa da possível ocorrência dos modos de falhas, baseados através de histórico de falhas, dados estatísticos conhecidos de itens ou sistemas similares, dados de fornecedores e até mesmo experiência de funcionários e técnicos como o item estudado;
- Probabilidade de Detecção – índice que avalia a probabilidade de se detectar a falha antes que ela afete o item ou sistema, ou que o produto chegue ao cliente.

Na literatura encontra-se diversos modos de classificação desses índices com escalas variadas. A Figura 4, Figura 5 e Figura 6 abaixo mostram a classificação segundo Lafraia (2001).

Figura 4 - Escala para avaliação de severidade dos modos de falha.

Severidade	Severidade do Efeito	Índice
Muito alta	Envolve riscos à operação segura do sistema e/ou descumprimento dos requisitos legais.	10 9
Alta	Provoca um alto grau de insatisfação do cliente. O sistema se torna inoperante. A falha não envolve riscos à segurança operacional ou descumprimento de requisitos legais.	8 7
Moderada	A falha ocasiona razoável insatisfação ao cliente. O cliente ficará desconfortável e irritado com a falha. O cliente notará razoável deterioração no desempenho do sistema.	6 5 4
Baixa	A falha causa pequenos transtornos ao cliente. O cliente notará, provavelmente, leves variações no desempenho do sistema.	3 2
Marginal	A falha não teria efeito real no sistema. O cliente, provavelmente, nem notaria a falha	1

Fonte: Lafraia, 2001, pág. 112

Figura 5 - Escala para avaliação da ocorrência dos modos de falha.

Frequência de Falha	Possíveis Taxas de Falha	Índice
Muito alta: falha é quase inevitável	1 em 2	10
	1 em 8	9
Alta: falhas repetidas	1 em 20	8
	1 em 40	7
Moderada: falhas ocasionais	1 em 80	6
	1 em 400	5
	1 em 1000	4
Baixa: relativamente poucas falhas	1 em 4000	3
	1 em 200000	2
Remota	≤ 1 em 10^6	1

Fonte: Lafraia, 2001, pág. 112

Figura 6 - Escala para avaliação do índice de detecção dos modos de falha.

Detecção	Detecção do Efeito	Índice
Absolutamente indetectável	O modo de falha não será detectável com certeza.	10
Muito baixa	O modo de falha é provavelmente muito pouco detectável.	9
Baixa	Não é provável que o modo de falha seja detectável.	8
		7
Moderada	Há 50 % de chance de detectar o modo de falha.	6
		5
Alta	Há boa chance de detectar o modo de falha.	4
		3
Muito alta	O modo de falha será, certamente, detectado durante a operação do sistema.	2
		1

Fonte: Lafraia, 2001, pág. 112

Com a definição desses três índices, calcula-se através de uma multiplicação simples o RPN (Risk Priority Number) ou Número de Prioridade de Risco:

$$\text{RPN} = \text{Severidade} \times \text{Ocorrência} \times \text{Detecção}$$

Baseado nesse número é possível hierarquizar as falhas de acordo com o impacto que elas apresentam para o processo.

5 – Definição de Ações Recomendadas – Com a hierarquização das falhas torna-se mais fácil definir planos de ações compatíveis com a importância de cada falha para o sistema, e as medidas que devem ser tomadas prioritariamente para reduzir a severidade e a ocorrência, ou encontrar meios para detectar a falha.

A Figura 7 ilustra uma planilha de FMEA.

Figura 7 - Exemplo de Planilha FMEA.

RCM		Planilha FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha								
		Sistema			Subsistema			Equipe:		
								Data:		
Item Físico:										
Função:						Falha Funcional:				
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVER.	Causa Potencial da Falha	OCORR.	Controle Atual de Detecção	DETEC.	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações Recomendadas	Responsável/Prazo

Fonte: Elaborado pelo autor.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesse capítulo serão apresentados os métodos usados no desenvolvimento do estudo, os meios de pesquisa e análise dos dados disponíveis e os pontos de melhoria de confiabilidade alcançada a partir do trabalho.

Depois de realizada uma pesquisa bibliográfica para entendimento dos conceitos da Manutenção Centrada em Confiabilidade e auxílio no desenvolvimento do FMEA, foi feita uma análise criteriosa do processo em estudo e realizado um levantamento do histórico de falhas dos equipamentos e das principais ocorrências de falhas que geraram altos tempos de indisponibilidade. Essa metodologia serviu de base para identificar os equipamentos que mais impactaram em tempos de parada do setor e para auxiliar a construção do FMEA na definição da priorização das medidas e planos de ação recomendados, como sugere Fogliatto e Ribeiro (2009).

Definiram-se então técnicas de avaliação dos indicadores de desempenho e dos registros de dados feitos pela manutenção, para posterior análise acerca dos resultados obtidos com o FMEA e o real efeito das ações tomadas para a manutenção e operação do processo.

Por último, foi feita uma conclusão a respeito do trabalho e da sua utilidade em prol do aumento de confiabilidade, dos benefícios que foram obtidos e das revisões e correções que podem ser feitas para melhorar o nível de alcance dos resultados, além da possibilidade de expansão desse trabalho a outras áreas da empresa.

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

O trabalho de pesquisa foi realizado dentro de uma indústria química situada na cidade de Tremembé, São Paulo, envolvendo alguns dos equipamentos do setor produtivo responsável pela produção do “fluido de freio”, produto comercializado para a indústria automobilística e utilizado em veículos automotivos de baixo e alto desempenho em todo o país.

O fluido de freio, conhecido comercialmente como DOT, é um produto de alta performance que possui uma série de especificações de qualidade para atender os requisitos de segurança e o desempenho exigidos pelo mercado. Entre suas principais características estão o alto ponto de ebulição (devido a altas temperaturas durante o processo de frenagem) e

o teor mínimo de água presente em sua composição (pois a água diminui a compressão do fluido acarretando em falhas de frenagem).

Na empresa estudada, o processo de produção do fluido de freio acontece através de uma reação química entre duas matérias-primas principais com a formação do produto final e água. A reação química é forçada dentro de um reator pressurizado em alta temperatura com a necessidade de vapor e óleo térmico para o processo de aquecimento, e água para o resfriamento, além de um pacote de elementos anticorrosivos que é inserido durante o processo. Para atender a demanda do mercado a unidade produtiva trabalha em regime contínuo, 24 horas por dia e 7 dias por semana.

A necessidade de se desenvolver um estudo com uma ferramenta de decisão como o FMEA surgiu de algumas necessidades:

- Aumento da demanda pelo produto, devido a empresa ser uma das poucas produtoras do fluido de freio no Brasil;
- O aumento na demanda gerou uma elevação nas taxas de ocupação do sistema produtivo, sendo necessário manter um constante nível de produtividade e de disponibilidade do sistema;
- A empresa possui contratos diretos com grandes indústrias automobilísticas que são bastante exigentes quanto a prazo, qualidade e segurança do processo produtivo;
- Necessidade de melhoria contínua no processo e nos padrões de qualidade da empresa.

Nesse sentido, os equipamentos envolvidos nesse processo apresentam-se como uma área crítica dentro da empresa, cabendo cuidados quanto à organização, segurança e disponibilidade de todo o sistema.

Um segundo ponto que também motivou o início desse estudo foi a questão das altas taxas de indisponibilidade do sistema apresentadas nos meses de março, abril e maio do ano recorrente, além do alto número de falhas em equipamentos envolvidos nesse processo. Com uma produção programada até o final do ano para atender a demanda do mercado, é necessário manter altos níveis de ocupação do sistema, portanto, qualquer parada no processo corresponde a uma perda significativa na qualidade de atendimento aos clientes e perda em faturamento.

Apesar de já existirem planos de manutenção preventiva e inspeções para alguns dos equipamentos da área de produção do fluido de freio, notou-se a necessidade de identificar pontos de melhoria de planejamento e priorização, de criação de novas rotinas preventivas e

preditivas, e de planos de peças sobressalentes. E dessa forma, atuar na redução do índice de manutenções corretivas ou diminuir o tempo de reparo dos equipamentos.

Portanto, a aplicação dos conceitos da Manutenção Centrada em Confiabilidade e a ferramenta FMEA para alguns equipamentos envolvidos na produção do DOT têm por objetivo aumentar a disponibilidade do sistema através de políticas de gestão de manutenção mais eficazes, alocando de forma adequada os recursos financeiros e a mão de obra. Além de otimizar a produtividade, melhorar a segurança do processo e garantir maior confiabilidade de toda a operação e manutenção do sistema.

3.2 DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O processo de produção do fluido de freio acontece através de uma reação química envolvendo duas matérias primas principais para obtenção do produto final e com formação de água:



A reação só acontece em alta temperatura, atingindo um ponto máximo de 192° C, e sob uma pressão de 55 mmHg. No final do processo é inserido também um pacote de elementos anticorrosivos. A Matéria Prima 1 é armazenada em um tanque dentro da unidade e transferido por uma bomba até o reator. Já a Matéria Prima 2 e os elementos anticorrosivos são inseridos por um operador com auxílio de um sistema de vácuo.

O processo em geral pode ser descrito de acordo com as etapas que se seguem.

Etapas 1 – Preparação para início da produção

Nessa primeira etapa é realizado o preparo e o fracionamento das matérias primas. É separada a sacaria da Matéria Prima 2 e do pacote de produtos anticorrosivos. Também é verificado o nível do tanque que armazena a Matéria Prima 1, para certificação de que há produto para a produção, e para posterior análise do seu carregamento (verificação de que a quantidade de Matéria Prima 1 que saiu do tanque é a mesma que entrou no reator).

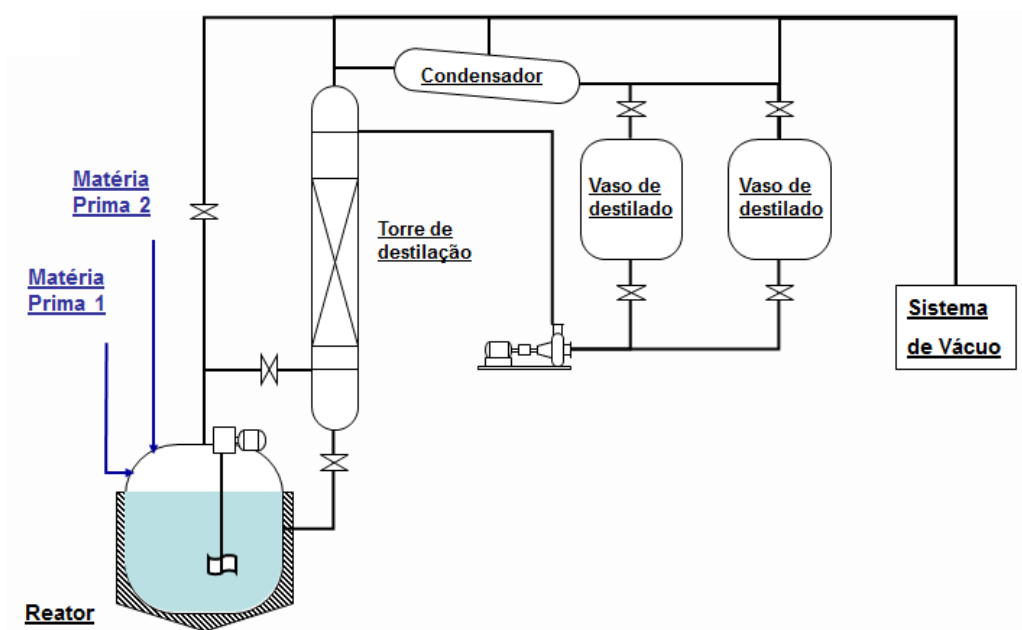
Nessa etapa também é realizada uma inspeção visual nas condições internas do reator e uma inspeção no funil pelo qual se adiciona a Matéria Prima 2.

Etapa 2 – Carregamento das matérias primas

A sequência da etapa 2 consiste primeiro na verificação do vaso de armazenamento do destilado formado na reação. A mistura oriunda da reação química entre as matérias primas passa por um processo contínuo de destilação para que a água formada seja removida do produto final. Essa mistura após ser destilada passa por um condensador onde é condensada e armazenada em um vaso. No final de cada reação, o produto final deve conter um teor inferior a 0,08% de água e a mistura contida no vaso deve apresentar um valor mínimo de 95% de água, caso contrário, a mistura contida no vaso é reaproveitada na próxima reação.

Depois de feito o descarte ou o reaproveitamento do destilado da produção anterior, inicia-se o carregamento da Matéria Prima 1. Essa transferência é feita através de uma bomba do tanque até o reator, passando por um medidor de vazão que totaliza, em quilogramas, a quantidade de Matéria Prima 1 adicionada. O valor dado pelo medidor de vazão é comparado com a diferença registrada pelo transmissor de nível do tanque, para verificação que o carregamento foi correto. É então realizado o alinhamento do sistema de vácuo para o reator e inserido a Matéria Prima 2 manualmente por um operador através de um funil. Durante o alinhamento do sistema de vácuo é também acionado o agitador que tem a função de misturar e agitar as matérias primas dentro do reator.

Figura 8 - Fluxograma macro da etapa de carregamento das matérias primas.



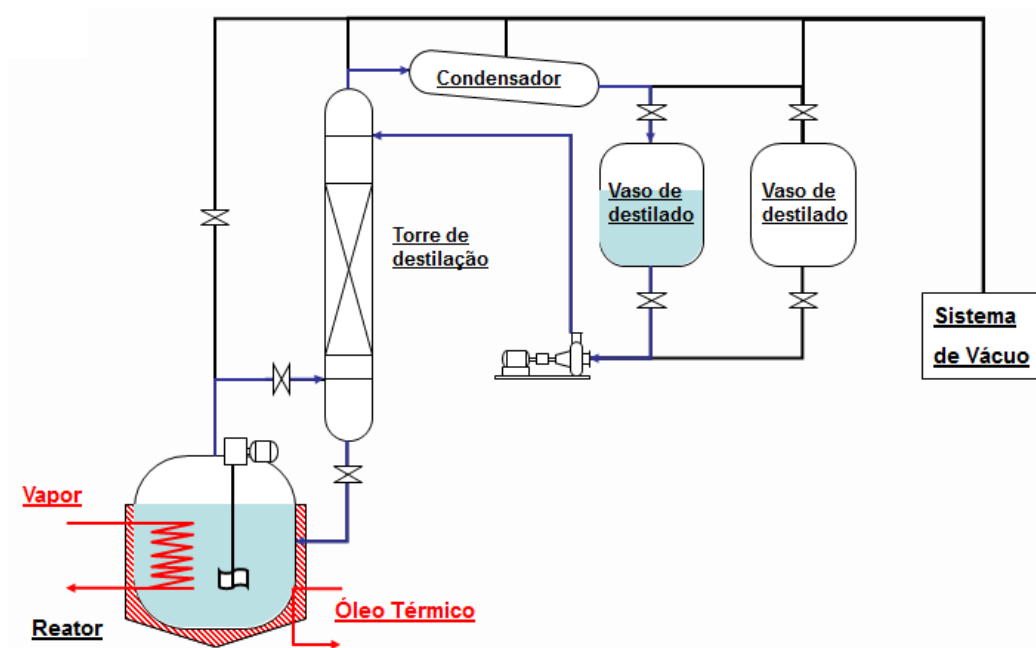
Fonte: Empresa em estudo.

Etapa 3 – Aquecimento

Nessa etapa é realizado o aquecimento do reator para que a reação ocorra.

O reator possui uma serpentina interna por onde passa vapor e uma meia cana para o aquecimento com óleo térmico. O aquecimento com óleo e vapor é realizado simultaneamente e acontece em 6 etapas que variam de acordo com a temperatura a ser atingida e o tempo para alcançar tal temperatura. Durante essa rampa de aquecimento ocorre a destilação e condensação da água formada na reação, que depois de cair no vaso de destilado é enviada continuamente para a torre de destilação. Esse refluxo de destilado é controlado por uma bomba e a vazão varia de acordo com a etapa de aquecimento. Ao atingir a temperatura final de 192° C o aquecimento é finalizado.

Figura 9 - Fluxograma macro da etapa de aquecimento.



Fonte: Empresa em estudo.

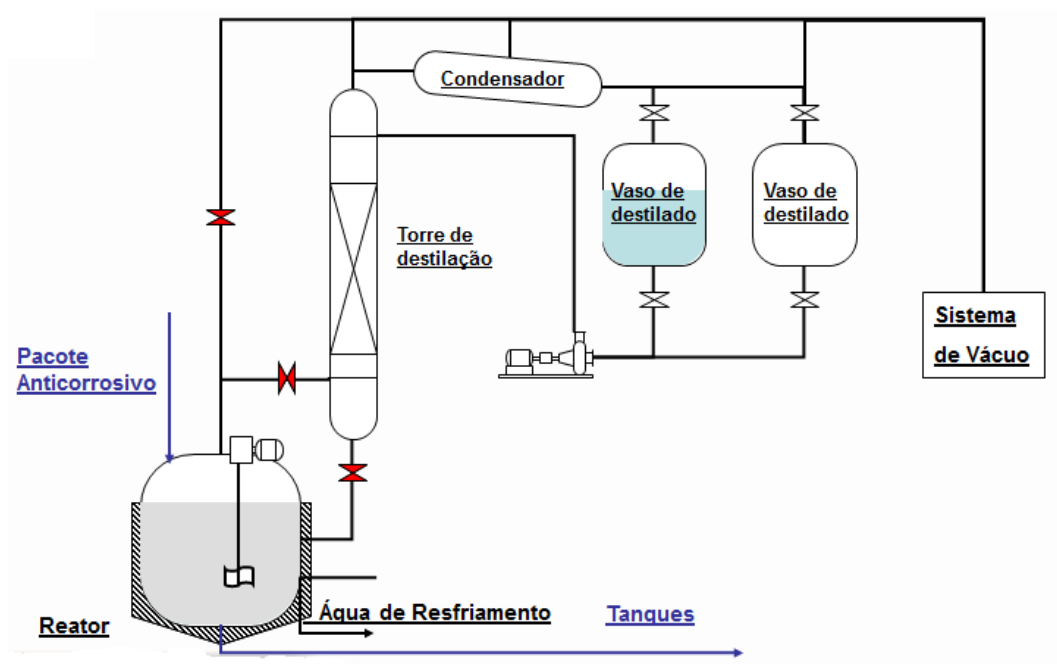
Etapa 4 – Amostragem e Correção

A etapa de amostragem e correção é uma etapa laboratorial na qual é verificado as condições do produto dentro do reator depois de finalizada a reação. É retirada uma amostra para análise do teor de água, e se esse teor for inferior a 0,08% o produto é considerado especificado e pode passar para a etapa de resfriamento, caso contrário o reator deve ser reaquecido por mais meia hora.

Etapa 5 – Resfriamento e Carregamento do pacote anti-corrosivo

Nessa etapa o reator é resfriado com água através da serpentina interna. Ao atingir a temperatura de 100° C é inserido dentro do reator o pacote anticorrosivo por um operador com auxílio de uma mangueira, isso é possível devido ao sistema de vácuo que mantém a pressão do reator inferior a do ambiente. Após esse carregamento, a mistura é agitada por meia hora e a pressão no interior do reator é elevada até 0,5 kgf/cm². O resfriamento com água continua até que a mistura atinja uma temperatura de 50° C.

Figura 10 - Fluxograma macro da etapa de resfriamento.



Fonte: Empresa em estudo.

Etapa 6 – Amostragem e Correção

Após o resfriamento até a temperatura ambiente, é retirada do reator uma nova amostra para análise do produto, na qual são verificadas três características principais do produto: a análise da viscosidade a -40°C, do pH a 25° C e novamente verificado o teor de água. Estando todos os requisitos especificados, o produto pode ser transferido à tancagem.

Etapa 7 – Transferência para os tanques intermediários

O produto final é transferido por meio de uma bomba para tanques intermediários passando por um processo de filtração no caminho até os tanques. Depois de armazenado nos tanques o produto passa por mais uma série de análises em que são verificados todos os requisitos necessários para a especificação do DOT.

Etapa 8 – Transferência dos tanques intermediários para tanque final

Depois das análises nos tanques intermediários, o produto é transferido para um tanque final de maior capacidade, onde fica armazenado e passa por mais uma etapa de amostragens para garantir a qualidade e a especificação do produto.

Etapa 9 – Carregamento do caminhão

Do tanque final o produto é carregado diretamente para o caminhão da transportadora passando novamente por um processo de filtragem para remover possíveis impurezas, ou então, é transferido para uma estação de envase na qual é envasado e comercializado em tambores para atender outra gama de clientes.

3.2.1 Equipamentos Pertencentes ao Processo

No sistema produtivo do fluido de freio, da empresa estudada, existe uma gama enorme de equipamentos envolvidos no processo, dentre equipamentos mecânicos, elétricos, válvulas, dispositivos de segurança e instrumentos. Cada um desses equipamentos possui uma função específica dentro do processo, seja para garantir as condições de produção, armazenar a matéria prima ou o produto final, ou manter a segurança do processo. De forma generalizada, todos os tipos de equipamentos pertencentes à unidade produtiva do DOT serão descritos na sequência.

- Tanques

São responsáveis por armazenar a matéria prima e o produto acabado, sendo 1 de matéria prima e 4 de armazenamento do produto acabado.

- Reator

Equipamento no qual as matérias primas são inseridas e onde ocorre a reação química para obtenção do produto final. No processo em questão está envolvido apenas um reator.

- Torre de Destilação

É um equipamento constituído por uma coluna de fracionamento pelo qual é possível separar diferentes componentes de uma mistura de acordo com o ponto de ebulição de cada um deles. No processo estudado há uma torre de destilação que é responsável por fracionar a água do fluido de freio.

- Condensador

O condensador presente na linha de produção é um trocador de calor do tipo casco e tubo, responsável por condensar a água removida da mistura pela torre de destilação. A condensação da água nesse trocador acontece devido a troca térmica realizada entre a água destilada da mistura no estado de vapor que passa através dos tubos e a água de resfriamento, utilizada como utilidade em toda planta, que passa através do casco.

- Vasos Coletores

Vasos responsáveis por armazenar o destilado condensado da reação. São 2 vasos que participam do processo de refluxo, recebendo e permitindo a passagem do destilado de volta à torre de destilação, para a remoção da água do produto final. Após o final do processo, os vasos armazenam o destilado removido da mistura, caso ele contenha um teor acima de 95% de água ele é descartado, ao contrário, é aproveitado na próxima batelada da reação.

- Sistema de Vácuo

O sistema de vácuo tem a função de remover o ar dentro do reator, gerando vácuo para o processo, pois o mesmo é realizado com pressão inferior à atmosférica. Para que isso aconteça, o sistema é composto por um motor elétrico que aciona uma bomba de vácuo do tipo anel líquido, que é o responsável por aspirar o ar e vapor d'água do processo através da passagem de água pelas câmaras do rotor da bomba. Para que a aspiração seja eficiente é necessário refrigerar a água que passa pela bomba, para isso há um trocador de calor do tipo placas paralelas que faz a troca térmica através da água vinda da torre de resfriamento com a água de processo usada na bomba. Por fim existe um vaso coletor que recebe o ar aspirado do processo e a água após passar pela bomba. Como proteção do sistema, estão inseridos no vaso coletor duas chaves de níveis responsáveis por monitorar o nível alto (para impedir que retorne água para o processo) e o nível baixo (para garantir que sempre tenha água para o funcionamento da bomba), uma válvula controladora de pressão, duas válvulas on/off, dois indicadores de pressão, dois transmissores de temperatura e uma válvula de segurança.

- Bombas

Bombas são equipamentos utilizados para o deslocamento de fluidos através de energia mecânica. Existe uma gama variada de tipos de bombas, formas construtivas, materiais e tecnologias usadas para a transferência de fluidos.

No processo estão envolvidas 8 bombas, uma delas desloca a Matéria Prima 1, seis são responsáveis pela transferência do produto final e uma pertence ao sistema de vácuo.

- Motores

Os motores são os equipamentos responsáveis em transformar a energia elétrica em rotação de eixo, ou seja, em energia mecânica. No processo de produção do DOT estão envolvidos 9 motores elétricos, sendo 8 deles, responsáveis por acionar bombas para deslocamento de fluidos, e 1 que têm por função acionar o agitador que mistura as matérias primas dentro do reator.

- Agitador

O agitador é o equipamento constituído de um eixo e uma pá de hélices, que são inseridos dentro do reator com a função de agitar e homogeneizar a mistura das matérias primas. O agitador possui um sistema de vedação por selo mecânico que faz a selagem do eixo do agitador com o reator impedindo a entrada de ar dentro do reator e/ou a saída de produto.

- Filtros

Os filtros presentes nas linhas têm por finalidade realizar filtragem, remoção de partículas e retenção de sujidade. São usados 3 filtros do tipo cuno que são filtros compactos e capazes de suportar elevadas diferenças de pressão, dois deles estão presentes na linha de saída do produto final do reator para a tancagem e um na linha de carregamento do DOT para o caminhão. Além dos filtros cunos há também dois filtros de linha em formato “y” com função de reter impurezas na linha de água para o sistema de vácuo e na linha de nitrogénio de inertização dos tanques de produto final.

- Medidores de Vazão

Os medidores de vazão são equipamentos de alta precisão que tem a função de controlar e medir a vazão que passa por determinada linha, totalizando a vazão mássica do carregamento de uma matéria prima ou produto final. Na linha de produção do DOT existem 3 medidores de vazão, um responsável pelo carregamento da Matéria Prima 1 para o reator, o segundo tem a finalidade de controlar a vazão de refluxo de destilado do vaso coletor para a torre de destilação e o terceiro está na fase de carregamento do produto final, no qual o medidor de vazão totaliza a massa que é carregada para o caminhão.

- Válvulas de Controle On/Off

As válvulas de controle on/off são válvulas automáticas que estão sempre em uma de duas posições: totalmente aberta ou totalmente fechada, e que tem por finalidade permitir ou restringir a passagem de fluido em determinada linha. As válvulas podem ser acionadas

através de energia pneumática ou eletropneumática. São um total de 20 válvulas on/off nas linhas de produção do fluido de freio e todas elas possuem um inter travamento de segurança dependendo de alguma variação no processo.

- Válvulas de Controle de Pressão e Temperatura

As válvulas de controle de pressão e temperatura são dispositivos automáticos atuados por energia pneumática, hidráulica ou elétrica, que permitem modulação através de alguma característica de fluxo, nesse caso devido à pressão ou temperatura. São diferentes das válvulas de controle on/off, pois elas permitem porcentagens de abertura de acordo com a necessidade, e suas características de abertura são preestabelecidas, não havendo dependência com alguma variação no processo. Soma-se 4 válvulas de controle de pressão e 1 de temperatura para a unidade produtiva do DOT.

- Transmissores/Indicadores de Pressão e Temperatura

Transmissores de pressão e temperatura são instrumentos com a função de medir e monitorar respectivamente a pressão e a temperatura em determinada linha ou equipamento e transmitir essa informação por uma malha de controle. Essa informação chega para os operadores da sala de controle que tem a função de monitorar as condições dos equipamentos e da produção durante o processo.

São usados 1 transmissor de temperatura e 1 de pressão para acompanhar a temperatura e pressão interna dentro do reator, os outros 4 transmissores de temperatura monitoram linhas de água de resfriamento para trocadores de calor e a saída da torre de destilação. Há também 1 transmissor/indicador de pressão na linha de inertização com nitrogênio do tanque final, que além de monitorar a condição de pressão e transmitir essa informação para a sala de controle, também indica em campo, em um visor, essa informação, podendo ser visualizada próxima a linha onde está instalado.

- Transmissores/Indicadores de Nível

Transmissores/Indicadores de Nível monitoram o nível de tanques e vasos, indicando essa informação em campo e transmitindo-a para a sala de controle. Esses instrumentos estão instalados no tanque da Matéria Prima 1 e nos tanques de produto acabado.

- Transmissores de Pressão Diferencial

São instrumentos usados para identificação de diferencial de pressão a partir da medição em dois pontos. É normalmente instalado em vasos e filtros como um sistema de proteção do equipamento para evitar variações excessivas de pressão.

São usado 3 desses instrumentos no processo, dois deles instalados nos dois filtros na linha de transferência do produto acabado para a tancagem e o terceiro instalado no filtro da linha de entamboramento do produto final para o caminhão.

- Indicadores de Pressão e Temperatura

Indicadores de pressão e temperatura são instrumentos também chamados de manômetros e termômetros, que medem respectivamente a pressão e temperatura em linhas e equipamentos. Esses instrumentos apenas indicam a medição no seu visor.

Na unidade produtiva do fluido de freio há um total de 17 manômetros e 5 indicadores de temperatura, todos analógicos.

- Chaves de Fluxo

Chave de fluxo é um instrumento que funciona a partir de um sensor, com a finalidade de realizar a detecção de presença ou ausência de fluxo em determinada linha. É comumente usado em linhas de sucção de bombas para proteção da mesma, fazendo com que a bomba pare de atuar caso não se tenha fluxo por ela.

No processo do DOT são usadas 2 chaves de fluxo, para proteção da bomba de refluxo de destilado e da bomba de transferência de produto acabado.

- Chaves de Nível

Chave de nível é um dispositivo normalmente instalado em vasos e tanques com a função de detectar quando o fluido presente atinge certo nível dentro do equipamento. É usado para proteção de algum sistema que exige um nível máximo ou mínimo de presença de fluido. No caso estudado, existem 2 chaves de nível instaladas no vaso coletor do sistema de

vácuo, uma delas serve de detecção quando a água presente no vaso chega a um nível máximo (o que pode ocasionar falha no processo de vácuo do sistema), e a outra detecta um nível mínimo de água no vaso (podendo vir a ocasionar falha na refrigeração da bomba de vácuo).

- Válvulas de Segurança e Alívio

Válvula de segurança e alívio ou também chamada de PSV (do inglês Pressure Safety and Relief Valve), são válvulas automáticas que têm por objetivo fazer alívio de pressão quando a mesma atinge um set de abertura menor que a PMTA (Pressão Máxima de Trabalho Admitida) do equipamento ou linha na qual ela está instalada. São dispositivos de extrema importância para segurança do equipamento, do processo e dos trabalhadores, em qualquer sistema ou equipamento que contenha fluidos sob pressão e são exigidas por lei para tais equipamentos. No total somam-se 18 válvulas de segurança no caso estudado.

- Disco de Ruptura

Disco de ruptura é um dispositivo também usado como alívio de pressão, porém, sacrificial, ou seja, só tem utilidade uma vez. Ele é usado para proteção de vasos sob pressão, reatores, linhas pressurizadas, etc. Normalmente é usado como uma proteção a mais além da PSV, caso a válvula de segurança falhe.

Há um único disco de ruptura no processo, presente na linha que sai do reator para a torre de destilação.

3.3 O SISTEMA DE GERENCIAMENTO DA MANUTENÇÃO

O setor de manutenção da empresa é dividido em três segmentos:

- O primeiro é composto pela coordenação e engenharia, responsável por diagnosticar falhas, identificar pontos de melhoria nos serviços de manutenção e nos equipamentos mecânicos; elétricos e instrumentos, desenvolver projetos e criar planos preventivo-preditivos voltados à manutenção.

- O segundo é formado pela equipe de planejamento, responsável por planejar as ações corretivas que ocorrem durante o dia de trabalho, planejar os planos de inspeções e de manutenção preventivo-preditiva, programar os serviços e atividades que surgem das falhas e dos desvios encontrados pela manutenção, operação e segurança.
- O terceiro segmento é composto pela equipe de execução dos serviços e atividades. Essa equipe é formada por funcionários de uma empresa terceira, contratada para prestar serviços de manutenção, e é responsável por toda execução de atividades ligadas à caldeiraria, mecânica, elétrica, civil e soldagem. Dentro da equipe de execução, os colaboradores são alinhados em serviços corretivos, inspeções e planos preventivos e preditivos.

O processo de manutenção inicia-se a partir da solicitação de uma Ordem de Serviço criada em um sistema de gerenciamento da manutenção. Essa ordem de serviço é acompanhada pela equipe de planejamento, que programa a data a ser realizada, aloca a mão de obra e os recursos necessários para a atividade. A equipe de execução recebe essa ordem e a executa em campo, retornando um feedback para o planejamento depois de finalizada a tarefa. O planejamento então encerra a ordem de serviço no sistema. Toda a atividade seja ela corretiva, preventiva, ou devido a projetos desenvolvidos pela engenharia, chega à manutenção através de ordens de serviço.

O mapeamento do processo de manutenção é descrito na figura abaixo.

Figura 11 - Mapeamento do processo de Manutenção da empresa.



Fonte: Empresa em estudo.

Para avaliar o desempenho da célula de manutenção e monitorar as condições dos equipamentos e das UPR's (Unidades Produtivas), quanto a falhas e tempos de indisponibilidade, são medidos alguns indicadores de performance. Dentre esses indicadores estão:

MTBF – para avaliar o tempo médio entre falhas dos equipamentos, instrumentos e das UPR's

MTTR – para avaliar o tempo médio que a manutenção leva para reparar cada falha;

Disponibilidade – indicar o tempo disponível das UPR's para a produção, e o tempo de paradas para atividades da manutenção;

OEE – monitorar todos os tempos de indisponibilidade das UPR's (paradas por manutenção, falta de matéria prima, falta de mão de obra, perdas por qualidade, etc).

Além desses indicadores, também é avaliado os gastos com serviços de manutenção (mão de obra, peças, reparos de equipamentos em empresas terceiras, serviços, etc.) e, medido semanalmente o índice de exequibilidade das ordens de serviço, para avaliação da execução dos planos de manutenção preventivos, dos serviços corretivos de emergência e dos serviços corretivos programados.

3.4 MÉTODO DE PESQUISA E COLETA DE DADOS

Para Werkema (1995), “os dados representam a base para a tomada de decisões confiáveis durante a análise de qualquer problema” (WERKEMA, 1995, pág.45). Dessa forma, se torna de extrema importância ter em mãos dados que possam ser usados para tomar uma ação ou avaliar algum comportamento.

A partir da análise de dados referentes ao OEE (horas de indisponibilidade da Manutenção) e a Disponibilidade da unidade produtora do fluido de freio surgiu a ação de realizar o estudo de confiabilidade em questão. A avaliação desses indicadores, e outros fatores, como o elevado número de falhas em equipamentos, o acúmulo de horas paradas para a manutenção e o baixo índice de MTBF do setor produtivo, contribuíram para o início desse trabalho. Através desses indicadores foi possível monitorar e acompanhar as condições do setor mês a mês, e ao mesmo tempo identificar os pontos de melhorias, implementar ações e avaliar os resultados gerados através das ações.

Foram coletados dados dos tempos de indisponibilidade do sistema de Janeiro-2013 à Julho-2013 e a partir desses dados foram feitas estratificações dos tempos de paradas e das falhas por área de atuação da manutenção. Também foram levantadas as principais falhas ocorridas nesse período e em quais equipamentos elas ocorreram, para uma atuação mais rápida da manutenção quanto a ações de melhorias.

Todo esse processo de levantamento dos índices de falhas e dos tempos de indisponibilidade possibilitou a identificação de equipamentos críticos para a manutenção e a escolha de medidas confiáveis para melhorar o desempenho dos mesmos. E da análise dos indicadores foi possível avaliar os resultados alcançados com tais medidas e o efeito que elas tiveram no aumento de confiabilidade do setor.

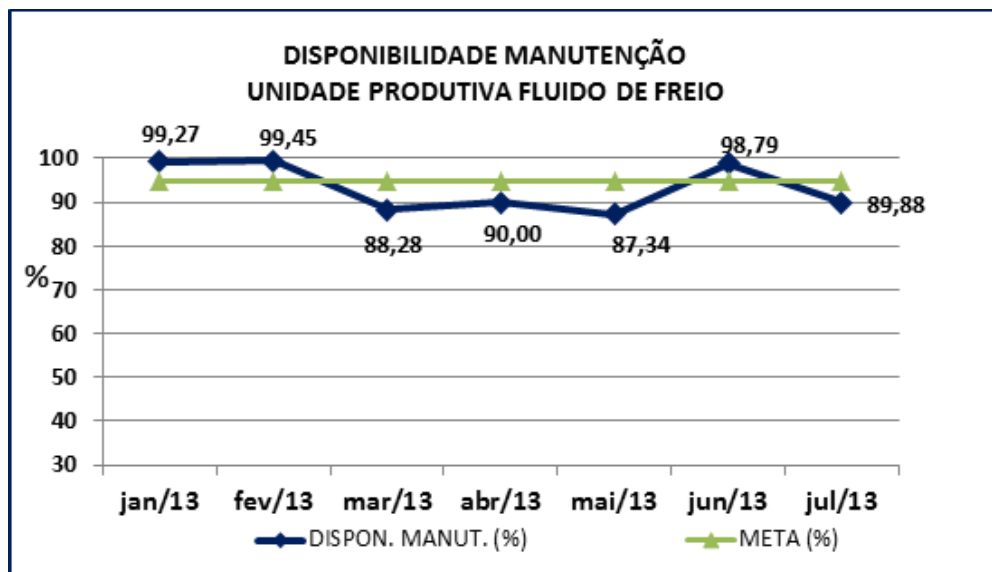
3.5 ANÁLISE DE DADOS

Os dados apresentados a seguir foram retirados de um software interno da empresa, usado como um sistema de apontamento de turnos, no qual são lançados todos os tempos de indisponibilidade das unidades produtivas da fábrica, servindo como base para o cálculo do OEE, MTBF, MTTR e Disponibilidade. O software é usado também como uma ferramenta muito útil para a manutenção, pois permite o acompanhamento das paradas que ocorrem no dia-a-dia. O apontamento para a manutenção é feito em tempo real em que as falhas ocorrem

e podem ser classificadas de acordo com a área necessária para o reparo: mecânica, caldeiraria, elétrica e instrumentação.

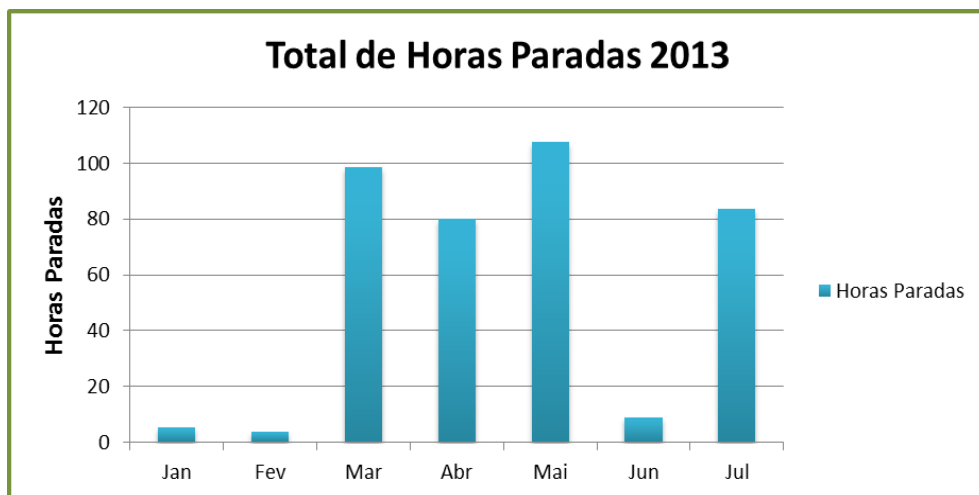
No gráfico da Figura 12 são mostrados os dados de Disponibilidade da Manutenção para a unidade produtiva do fluido de freio referente ao período de Janeiro à Julho de 2013, e a meta proposta pela organização de manter a disponibilidade em 95%. No gráfico da Figura 13 são mostradas todas as horas de parada para a manutenção referente ao mesmo período.

Figura 12 - Gráfico da Disponibilidade da Manutenção, Unidade Produtiva do fluido de freio.



Fonte: Empresa em Estudo.

Figura 13 - Gráfico do total de horas de indisponibilidade para a Manutenção.



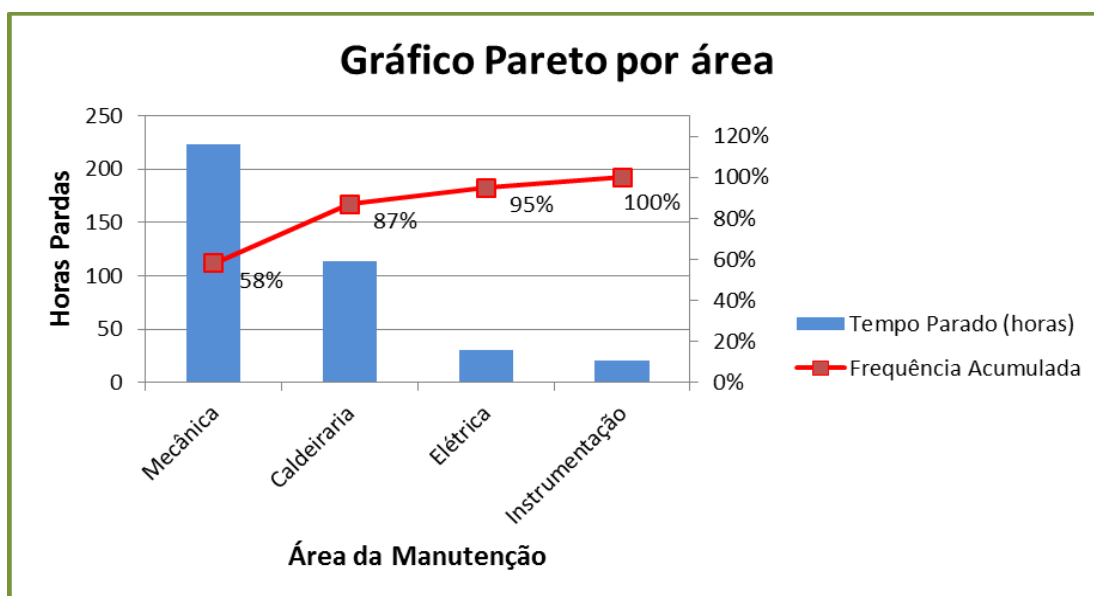
Fonte: Empresa em estudo.

A partir dos dados do gráfico da Figura 13, foi feita uma estratificação das horas paradas por cada área de atuação da manutenção e de suas frequências acumuladas, apresentadas na Tabela 1 e no gráfico de Pareto mostrado na Figura 14. Os dados apresentados desta forma ajudam a avaliar as áreas da manutenção que tem impactado mais em horas de indisponibilidade.

Tabela 1 - Dados do tempo de indisponibilidade por Área da Manutenção.

Área da Manutenção	Tempo Parado (Horas)	Frequência Acumulada
Mecânica	223,84	57%
Caldeiraria	113,53	87%
Elétrica	30,28	95%
Instrumentação	20,63	100%
Total	388,28	

Figura 14 - Gráfico de Pareto referente à indisponibilidade por área da Manutenção.



Fonte: Elaborado pelo autor.

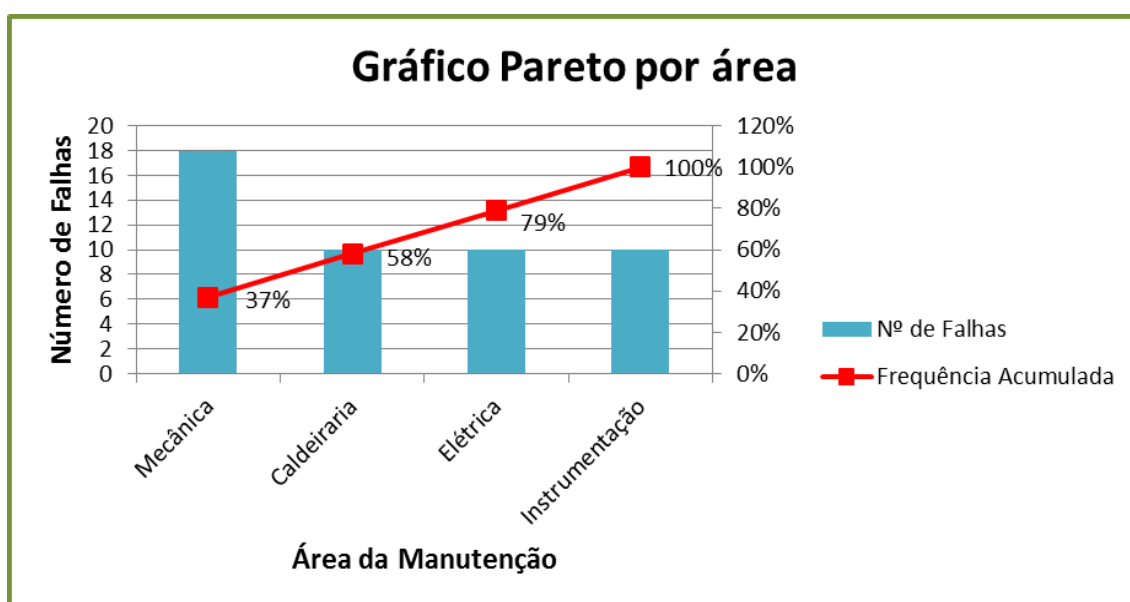
Pelos dados apresentados acima, verifica-se que os maiores tempos de indisponibilidade da unidade produtiva do fluido de freio são devidos a falhas ocasionadas por problemas mecânicos e por caldeiraria, que juntos somam um total de 349,8 horas paradas para a manutenção, correspondendo a 87% do total.

Em continuação, foi realizada uma nova estratificação considerando o número de falhas que ocorreram no período de Janeiro a Julho de 2013 referentes a cada área de atuação da manutenção e as respectivas frequências acumuladas, descritos na Tabela 2 e no gráfico de Pareto da Figura 15.

Tabela 2 - Número de falhas por área da manutenção.

Área da Manutenção	Número de Falhas	Frequência Acumulada
Mecânica	19	37%
Caldeiraria	10	58%
Elétrica	10	79%
Instrumentação	10	100%
Total	48	

Figura 15 - Gráfico de Pareto do número de falhas por área da Manutenção.



Fonte: Elaborado pelo autor.

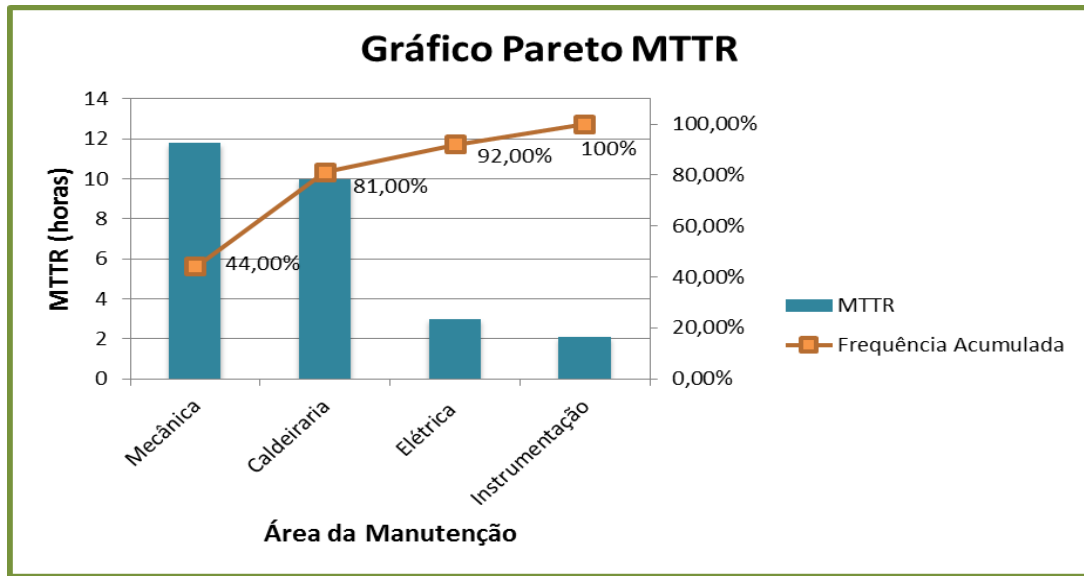
Verifica-se a partir da análise da Tabela 2 e do gráfico da Figura 15 que o maior número de falhas se deve a problemas mecânicos, com 19 falhas, correspondendo a 37% do total. Já as áreas de caldeiraria, elétrica e instrumentação apresentaram o mesmo número de falhas. Nota-se também, que os problemas mecânicos e de caldeiraria geram um alto tempo de indisponibilidade, podendo assim deduzir, que tais falhas apresentam um tempo de reparo elevado. Já as falhas por motivos elétricos e de instrumentação são reparadas em um curto espaço de tempo. Isso é identificado na Tabela 3 e no gráfico da Figura 16, na qual são apresentadas as taxas de MTTR por cada área de atuação da manutenção e as respectivas frequências acumuladas.

Observa-se também que o tempo médio entre falhas, MTBF, da área de mecânica apresenta o menor índice, a cada 268 horas ocorre uma falha, enquanto a área de instrumentação apresenta o melhor resultado, ocorrendo uma falha a cada 509 horas. Isso é mostrado no gráfico da Figura 17.

Tabela 3 - MTTR em horas por área da manutenção.

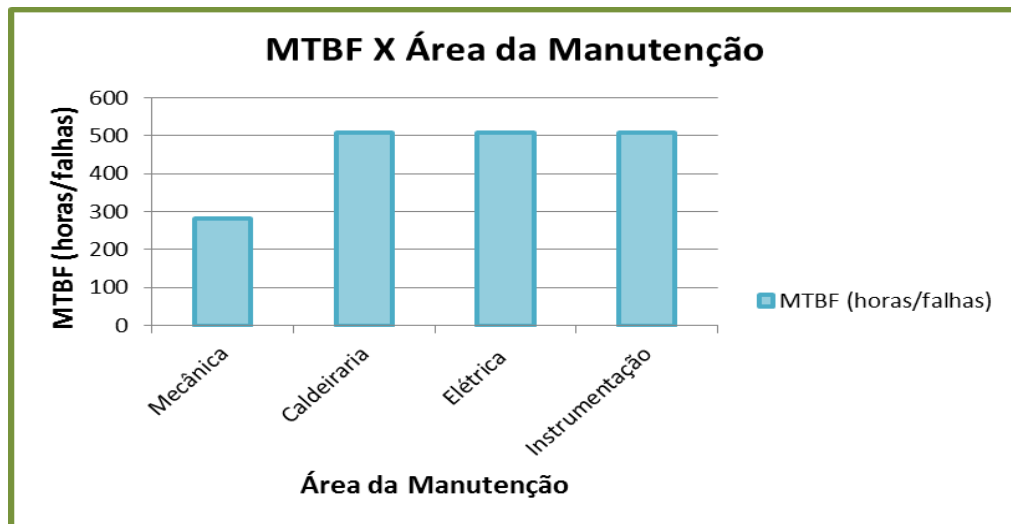
Área da Manutenção	MTTR (horas)	Frequência Acumulada
Mecânica	11,8	44%
Caldeiraria	10,0	81%
Elétrica	3,0	92%
Instrumentação	2,1	100%
Total	26,9	

Figura 16 - Gráfico de Pareto do MTTR em horas por área da Manutenção.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 17 - Gráfico de MTBF por área da Manutenção.



Fonte: Elaborado pelo autor.

As estratificações realizadas serviram para identificar o alto número de falhas ocorridas entre Janeiro à Julho de 2013 e os respectivos tempos de paradas para a Unidade Produtiva e mostrar como as falhas têm afetado cada área de atuação da manutenção.

Depois de realizado as estratificações, foram identificados os equipamentos que mais impactaram em paradas não programadas e que geraram altas taxas de indisponibilidade para

o setor. As principais falhas associadas a esses equipamentos estão descritos na Tabela 4 com os respectivos tempos de parada acarretados para a produção:

Tabela 4 - Falhas críticas do Setor Produtivo.

Tipo de Falha	TAG do Equipamento	Minutos Parados
Vazamento no selo mecânico da bomba de transferência do produto final para a tancagem	B-8107/1	2395,9
Quebra de rolamento e acoplamento do motor da bomba de refluxo de destilado	MB-8127	630,9
Vazamento e quebra do selo mecânico do agitador	SELMECR-8104	4696,9
Bomba de refluxo de destilado travada, má isolamento dos cabos do motor	MB-8127	1581,0
Bomba de refluxo de destilado sem vazão ideal	B-8127	166,0
Junta do filtro da linha de transferência do produto final para a tancagem danificada	FL-8110	147,6
Falha na chave de fluxo da linha de transferência do produto final	FSL-8107	294,0
Vazamento no selo mecânico da bomba de transferência de matéria prima para o reator	B-8417	505,9
Vazamento nos flanges do tanque de matéria prima	TQ-8457/1	145,8
Falha na chave de fluxo da linha de refluxo de destilado	FSL-8127	108,0
Válvula de segurança da linha de transferência de produto acabado dando passagem	PSV-8131	100,8
Queima do motor da bomba de transferência do produto final do reator para a tancagem	MB-8107/1	1192,8

A partir da identificação descrita na tabela 4, determinou-se a análise do FMEA para os 11 equipamentos listados acima, nos quais ocorreram as principais falhas. E assim, permitir um planejamento mais eficaz da manutenção em ações para evitar ou diagnosticar as falhas envolvidas nesses equipamentos, avaliando a eficiência da metodologia e do uso da ferramenta FMEA, e posteriormente realizar o estudo para os demais equipamentos envolvidos no processo.

3.6 DESENVOLVIMENTO DO FMEA

3.6.1 Preparação do Estudo

Para a realização do trabalho, foram seguidas as etapas de implantação da RCM sugeridos no item 2.5.4 da Revisão Bibliográfica.

Na elaboração do estudo, foi constituída uma equipe formada por profissionais dos setores de Engenharia de Processos, Engenharia de Manutenção, Produção, Segurança de Processos e Qualidade/Meio Ambiente.

Para a realização do trabalho, como sugere Palady (1997), foram definidas as fronteiras das análises, que entrariam apenas no mérito do equipamento, sem extrapolar demasiadamente as falhas em peças e subpeças. A equipe de implementação do FMEA também definiu que as principais consequências avaliadas envolveriam os problemas relacionados com a indisponibilidade por manutenção e quais os efeitos dessas paradas não programadas para a eficiência da operação, qualidade do processo e consequências para a segurança.

3.6.2 Estudo e Análise de Dados

Após as definições citadas no item acima, foi realizado entre a equipe, um estudo do processo de produção do DOT, para entendimento das etapas produtivas e do papel de cada equipamento dentro do sistema. Então, foi feito o levantamento das horas de indisponibilidade para a manutenção e das falhas que mais afetaram o setor no primeiro semestre do ano, discutidos na seção 3.5 deste trabalho. A partir disso, determinaram-se os equipamentos pertencentes ao processo que seriam avaliados e a referente etapa específica em que eles participam dentro do sistema.

3.6.3 Levantamento de Informações dos Itens

Nessa etapa do estudo, foram definidas as funções e a falha funcional de cada equipamento dentro do sistema global. Levantaram-se as características de cada item e os dados de operação, inseridos juntamente com a planilha de análise dos modos de falhas. Por fim, houve uma busca pelo histórico de falhas e ordens de serviço abertas para cada equipamento, para contribuir na análise das ocorrências.

3.6.4 Análise dos Modos de Falhas e Efeitos

Após todo o estudo, definições e levantamentos realizados, iniciou, através de reuniões regulares envolvendo a equipe multidisciplinar, a análise dos Modos de Falhas e Efeitos dos 11 equipamentos definidos da Unidade Produtiva do fluido de freio e a criação da planilha FMEA, abordando os conceitos da RCM - Manutenção Centrada em Confiabilidade, definidos na Revisão Bibliográfica.

Conforme sugere Zaions (2003), a partir da função definida e da falha funcional, foram avaliados os modos de falhas mais perceptíveis e com maior probabilidade de ocorrência para cada item e o efeito que elas causam no sistema. Determinou-se o RPN através dos índices de severidade, ocorrência e detecção.

3.6.5 Seleção de Tarefas de Manutenção

Da análise dos profissionais experientes da manutenção, definiu-se as melhores formas de atuação para eliminar, reduzir ou detectar as falhas em potencial. E com a determinação do RPN houve uma priorização nas ações para os equipamentos envolvidos.

3.7 PLANILHA FMEA

Para cada equipamento analisado foi montado uma planilha com a identificação dos dados do item, possíveis intertravamentos de segurança, função dentro do sistema e falhas funcionais. A partir disso determinou-se a análise dos modos de falhas e efeitos e as respectivas ações recomendadas.

Assim, na sequência segue a análise para os equipamentos que apresentaram as falhas críticas descritas na tabela 4 do item 3.5.

Figura 18 - Planilha FMEA para equipamento TAG SELMECR-8104.

RCM		Planilha FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha							
		Sistema Unidade Produtiva Fluido de Freio			Etapa Homogeinização		Equipe:		
							Data:		
Item Físico: Selo Mecânico do Agitador SELMECR-8104 Intertravamento: Não existe					Dados do Item: Selo Mecânico duplo, Tipo: Cartucho, Modelo: 225-20 AS SSC/CB S CHEMLAST 250 CB, Plano de Selagem: API 54, Fabricante: Chesterton, Temperatura de até 280°C, Agitador com rotação de 50 rpm				
Função: Realizar a vedação entre Agitador e Reator impedindo a entrada de ar dentro do Reator					Falha Funcional: A - Não realizar a vedação e permitir a entrada de ar no Reator				
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVER.	Causa Potencial da Falha	OCORR.	Controle Atual de Detecção	DETEC.	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações Recomendadas
A1 - Vazamento pelo selo mecânico	Perda de vácuo no Reator, necessária inertização do Reator com nitrogênio e interrupção do processo	8	A1.1 - Perda de pressão no sistema de selagem	3	Indicador de pressão na garrafa de nitrogênio de pressurização do selo/ Verificação de ruído anormal pela operação e perda de vácuo no reator pela sala de controle	3	72	Não Existe	Inspeção da operação antes de cada batelada, das pressões da garrafa de nitrogênio e do pote de selagem
			A1.2 - Trinca/quebra nas faces do selo	6		8	384	Não Existe	Inserir selo mecânico como item de estoque
A2 - Quebra ou rompimento do selo mecânico	Perda de vácuo no Reator, necessária inertização do Reator com nitrogênio e interrupção do processo	8	A2.1- Desgaste do selo mecânico	6	Inspeção visual rotineira do operador da produção antes do início de cada batelada/ Verificação de ruído anormal e vibração	8	384	Não Existe	Inserir selo mecânico como item de estoque
			A2.2 -Temperatura elevada no selo mecânico	7		4	224	Plano de selagem API 54	Alterar plano de refrigeração para API 52, realizar inspeção semanal nas condições de temperatura e nível de água no pote de selagem
			A2.3 - Alta vibração no sistema de selagem	4		3	96	Não Existe	Inspeção visual semanal da manutenção das condições de vibração do sistema

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 19 - Planilha FMEA para equipamento TAG FL-8110.

RCM		Planilha FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha							
		Sistema			Etapa		Equipe:		
		Unidade Produtiva Fluido de Freio			Filtração do Produto Acabado		Data:		
Item Físico: Filtro de Produto Acabado FL-8110 Intertravamento: Diferença de Pressão no filtro > 2,5 kgf/cm² e Diferença de Pressão no filtro < 0,1 kgf/cm² - desliga a bomba B-8107/1 - garantir delta de pressão na faixa de trabalho do filtro					Dados do Item: Filtro Cuno tipo Cartucho, Modelo: 6SL4, Fluido: DOT, Vazão: 4 m³/h, Pressão de Operação: 6,6 kgf/cm², Temperatura de Operação: 40° C, Fabricante: 3M				
Função: Filtrar particulados sólidos, impurezas ou produtos da oxidação das linhas de transferência					Falha Funcional: A - Não realizar a filtragem. Parada na filtração. B - Não realizar a filtragem, permitindo a passagem de particulados junto com o produto final				
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVER.	Causa Potencial da Falha	OCORR.	Controle Atual de Detecção	DETEC.	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações Recomendadas
A1 - Junta de vedação danificada	Vazamento de produto pelo filtro/ Intertravamento de segurança do filtro/ Interrupção da transferência do produto	8	A1.1 - Desgaste por oxidação	3	Não Existe	7	168	Não Existe	Manutenção Corretiva/ Inserir junta de vedação como item de estoque
			A1.2 - Diferencial de pressão elevada no filtro	4	Controle por transmissor de pressão diferencial/ Alarme alto	2	64	Não Existe	
A2 - Alto diferencial de pressão no filtro	Alarme de diferencial de pressão alta na sala de controle/ Intertravamento de segurança do filtro/Interrupção da transferência do produto	7	A2.1 - Acúmulo elevado de particulados no elemento filtrante	2	Controle por transmissor de pressão diferencial/ Alarme alto	3	42	Não Existe	Troca do elemento filtrante a cada 3 meses
A3 - Baixo diferencial de pressão no filtro	Alarme de diferencial de pressão baixa na sala de controle/ Intertravamento de segurança do filtro/Interrupção da transferência do produto	8	A3.1 - Vazamento no filtro ou na linha de entrada e saída do filtro	3	Controle por transmissor de pressão diferencial/ Alarme baixo	2	48	Não Existe	Manutenção Corretiva
B1 - Falha no elemento filtrante	Não realiza a filtragem de particulados/ Perigo de contaminação do produto final	6	B1.1 - Desgaste da malha de micragem do elemento filtrante	3	Não Existe	7	126	Não Existe	Troca do elemento filtrante a cada 3 meses

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 20 - Planilha FMEA para equipamento TAG B-8107/1.

RCM		Planilha FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha							
		Sistema		Etapa		Equipe:			
		Unidade Produtiva Fluido de Freio		Transferir produto acabado		Data:			
Item Físico: Bomba B-8107/1 Intertravamento: Válvulas on/off dos tanques intermediários simultaneamente fechadas - desliga a bomba - evitar sobrepressão na bomba; Chave de fluxo não indicando passagem de fluido - desliga a bomba - evitar cavitação da bomba					Dados do Item: Bomba de deslocamento positivo rotativa, Fluido: DOT, Pressão de Sucção Mínima: 1,12 kgf/cm², Pressão de Descarga Máxima: 7,45 kgf/cm², Vazão de Operação: 4,0 m³/h, Temperatura de Operação: 35°C, Rotação: 1150 rpm, Selo Mecânico simples- S10 09 AS CB/SSC S EP-1.1/8"-Chesterton-Plano API 11, Fabricante: Varisco				
Função: Transferir produto acabado do reator para a tancagem					Falha Funcional: A - Não transferir produto final para os tanques B - Transferir produto com uma vazão menor que 4,0 m³/h				
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVER.	Causa Potencial da Falha	OCORR.	Controle Atual de Detecção	DETEC.	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações Recomendadas
B1 - Vazamento no selo mecânico	Perda de eficiência na vazão da bomba, vazamento de produto, contaminação do solo	6	B1.1 - Desgaste do selo mecânico	6	Inspeção sensitiva periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	8	288	Não Existe	Operar até a falha (Manutenção corretiva)/ Inserir selo mecânico como item de estoque/ Manter inspeção
			B1.2 - Trinca nas faces do selo	7		8	336		
A1 - Quebra do selo mecânico	Vazamento excessivo de produto, interrupção na transferência do produto (Reparo em 6 horas)	8	A1.1- Desgaste do selo mecânico	6	Inspeção sensitiva periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	8	384	Não Existe	Operar até a falha (Manutenção corretiva)/ Inserir selo mecânico como item de estoque/ Manter inspeção Criação de plano preditivo quinzenal de análise de vibração e temperatura
			A1.2 -Temperatura elevada no selo mecânico	2		5	80		
			A1.3 - Alta vibração na bomba	5		5	200		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 21- Continuação Planilha FMEA para equipamento TAG B-8107/1.

A2 - Quebra do acoplamento do motor/bomba	Não acionamento do eixo da bomba (reparo em 2 horas), interrupção da transferência do produto	8	A2.1 - Alta vibração na bomba	5	Inspeção sensível periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	3	120	Não Existe	Criação de plano preditivo quinzenal de análise de vibração/ Inserir acoplamento como item de estoque
B2 - Vazamento na voluta ou flanges da bomba	Perda de eficiência na vazão da bomba, vazamento de produto, contaminação do solo	8	B2.1 - Desgaste por corrosão pelo fluido bombeado	2	Inspeção sensível periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	2	32	Não Existe	Operar até a falha (Manutenção Corretiva)
A3 - Quebra do rotor e eixo da bomba	Bomba trava e interrompe a transferência do produto	8	A3.1 - Alta vibração na bomba	5	Inspeção sensível periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	4	160	Não Existe	Criação de plano preditivo quinzenal de análise de vibração
			A3.2 - Desgaste por corrosão pelo fluido bombeado	2		7	112		Operar até a falha/ Manutenção Corretiva
A4 - Quebra dos rolamentos da bomba	Bomba trava e interrompe a transferência do produto (Reparo em 6 horas)	8	A4.1 - Alta vibração na bomba	5	Inspeção sensível periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	7	280	Não Existe	Manutenção Preventiva Anual e Criação de plano preditivo quinzenal de análise de vibração/ Inserir rolamentos em estoque
			A4.2 - Falta de lubrificação	4	Plano mensal de lubrificação	4	128	Plano mensal de lubrificação	Alterar frequência do Plano de lubrificação para quinzenal
B3 - Cavitação da bomba	Perda de eficiência na vazão da bomba e aumento no risco de quebra de partes da bomba e tubulações	6	B3.1 - Desalinhamento da bomba	4	Inspeção sensível periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	5	120	Não Existe	Verificar alinhamento da bomba trimestralmente
			B3.2 - Alta vibração na bomba	6		4	144	Não Existe	Criação de plano preditivo quinzenal de análise de vibração
			B3.3 - Bomba rodar em vazio	2	Intertravamento de segurança de não passagem de fluido	3	36	Intertravamento de segurança de não passagem de fluido	Nenhuma ação recomendada

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 22 - Planilha FMEA para equipamento TAG MB-8107/1.

RCM		Planilha FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha							
		Sistema			Etapa		Equipe:		
		Unidade Produtiva Fluido de Freio			Transferir produto acabado		Data:		
Item Físico: Motor da Bomba B-8107/1 Intertravamento: Motor desliga para as seguintes condições - (pressão alta e baixa nos filtros); (válvulas on/off dos tanques intermediários simultaneamente fechadas); (válvula on/off de tanque intermediário aberta e nível > 95%, condição para cada tanque); (chave de fluxo não indicando passagem de fluido)					Dados do Item: Motor elétrico trifásio, Modelo: 112M, Voltagem: 440 Volts, Rotação: 1150 rpm, Potência: 3,0 CV, Fabricante: WEG				
Função: Acionar a bomba B-8107/1					Falha Funcional: A - Não acionar a bomba B-8107/1				
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVER.	Causa Potencial da Falha	OCORR.	Controle Atual de Detecção	DETEC.	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações Recomendadas
A1 - Desgaste ou quebra dos rolamentos	Trava o motor, não acionando a bomba (4 horas para reparo)/ Interrompe o processo de transferência	7	A1.1 - Falta de lubrificação	4	Plano mensal de lubrificação	4	112	Plano mensal de lubrificação	Alterar frequência do plano de lubrificação para quinzenal/ Inserir rolamentos em estoque
			A1.2 - Alta vibração no conjunto motor/bomba	5	Inspeção trimestral nos motores trifásicos da Unidade Produtiva (Inspeção visual, de ruídos anormais e temperatura)	4	140	Não Existe	Criação de plano preditivo quinzenal de análise de vibração
A2 - Atrito entre rotor e estator	Pode resultar na quebra de partes do estator e rotor, comprometendo a vida útil do motor/ Interrompe o processo de transferência	8	A2.1 - Desalinhamento do eixo	2	Inspeção trimestral nos motores trifásicos da Unidade Produtiva	6	96	Não Existe	Alterar frequência da inspeção nos motores trifásicos para mensal (Inspeção visual e sensitiva)
			A2.2 - Empenamento do eixo	2	(Inspeção visual, de ruídos anormais e temperatura)	6	96		
A3 - Falhas de Cabeamento e na caixa de ligação	Impede a condução elétrica/ Não aciona o motor/ Interrompe o processo de transferência	7	A3.1 - Baixa isolamento dos cabos	3	Inspeção semestral das malhas de cabeamento	7	147	Não Existe	Alterar frequência de inspeção para trimestral (Verificar condições e isolamento do cabeamento) e reaperto nos cabos na caixa de ligação
			A3.2 - Cabos sob ação de intempéries	4		5	140		
			A3.3 - Mal contato dos cabos	5		6	210		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 23 - Continuação Planilha FMEA para equipamento TAG MB-8107/1.

A4 - Queima do motor	Prejuízo financeiro, não há motor reserva/ Não aciona a bomba/ Interrompe o processo de transferência	8	A4.1 - Baixa isolamento do estator bobinado	4	Não Existe	8	256	Não Existe	Criar plano mensal para avaliar grandezas do motor (medição de temperatura e corrente em operação, e megar o motor para avaliar resistência) e inspeção visual e sensitiva
			A4.2 - Sobretenção e corrente acima da nominal no motor	6	Não Existe	7	336		
			A4.3 - Temperatura elevada no motor devida a má ventilação	4	Inspeção trimestral nos motores trifásicos da Unidade Produtiva (Inspeção visual, de ruídos anormais e temperatura)	3	96		
A5 - Falhas nos componentes elétricos da gaveta	Impede a condução elétrica/ Não aciona o motor/ Interrompe o processo de transferência	7	A5.1 - Mal contato dos cabos na gaveta	5	Não Existe	6	210	Limpeza e organização dos CCM's mensal	Criar plano mensal para reaperto de conexões na gaveta e verificação de temperatura em operação (manter limpeza)
			A5.2 - Temperatura elevada na gaveta	5		7	245		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 24 - Planilha FMEA para equipamento TAG FSL-8107.

RCM		Planilha FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha								
		Sistema			Etapa		Equipe:			
		Unidade Produtiva Fluido de Freio			Condensar e retornar destilado		Data:			
Item Físico: Chave de fluxo FSL-8107 da linha de transferência do produto final para a tancagem				Dados do Item: Chave de fluxo tipo palheta, normal aberta, Palheta redonda, Conexão tipo Tee, Saída: contato tipo reed, Temperatura de Operação: -20°C a 120°C, Pressão de Operação: 1 a 100 kgf/cm²						
Intertravamento: Desliga a bomba B-8107/1 em caso de não passagem de fluido										
Função: Indicar a passagem ou não de fluido na linha de transferência do produto final permitindo intertravamento da bomba B-8107/1				Falha Funcional: A - Intertravar a bomba mesmo com passagem de fluido B - Não realizar intertravamento da bomba quando não há passagem de fluido						
Modo de Falha		Efeito Potencial da Falha	SEVER.	Causa Potencial da Falha	OCORR.	Controle Atual de Detecção	DETEC.	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações Recomendadas
A1 - Não fechar contato quando há passagem de fluxo de fluido (relé não atua)	Não aciona a bomba de transferência do produto final, interrompendo transferência	4	A2.1 - Descalibração do instrumento	4	Não Existe	7	112	Não Existe	Realizar calibração (teste em bancada), verificação do instrumento e limpeza do sensor de medição semestralmente	
			A1.2 - Desgaste do sensor de medição por corrosão	2		9	72			
			A1.3 - Má fixação do cabo de contato ou cabo solto do relé	4		8	128			
			A1.4 - Falha na malha de comunicação	2		7	56			
B1 - Não abrir contato quando acabar fluxo de fluido (relé atuado direto)	Bomba permanece ligada rodando em vazio podendo acarretar quebra da bomba	5	B1.1 - Incrustação de particulados do fluido no sensor de medição	4	Não Existe	8	160	Não Existe	Realizar calibração (teste em bancada), verificação do instrumento e limpeza do sensor de medição semestralmente	
			B2.1 - Descalibração do instrumento	4		7	140			

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 25 - Planilha FMEA para equipamento TAG TQ-8457/1.

RCM		Planilha FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha							
		Sistema			Etapa		Equipe:		
		Unidade Produtiva Fluido de Freio			Armazenar Matéria Prima 1		Data:		
Item Físico: Tanque TQ-8457/1					Dados do Item: Tanque de aço inox 304, Volume: 1000 m³				
Intertravamento: Nível do tanque > 95% - desliga a bomba B-8457 - evitar transbordo durante o descarregamento de caminhão									
Função: Armazenar a Matéria Prima 1					Falha Funcional: A - Não armazenar a matéria prima				
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVER.	Causa Potencial da Falha	OCORR.	Controle Atual de Detecção	DETEC.	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações Recomendadas
A1 - Vazamento de matéria prima	Perda de matéria prima, perigo de contaminação da matéria prima, contaminação do solo	4	A1.1 - Folga nos parafusos da boca de visita	2	Controle pela indicação de nível para a sala de controle	2	16	Não Existe	Criar rota de inspeção semanal sensitiva e de vazamentos para a Unidade Produtiva
			A1.2 - Furo em tubulação do tanque	5		1	20		
			A1.3 - Vazamento nos flanges	6		1	24		
A2 - Quebra da base civil do tanque	Afundamento e inclinação do tanque, risco de quebra de flanges e vazamento de matéria prima, risco de acidente grave	10	A2.1 - Solo irregular e desnivelado	2	Visualizado desnível da base do tanque	1	20	Não Exite	Realizar estudo de solo e de estrutura/ Responsabilidade da Engenharia
			A2.2 - Solo com infiltração de água	3		1	30		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 26 - Planilha FMEA para equipamento TAG B-8417.

RCM		Planilha FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha							
		Sistema		Etapa		Equipe:			
		Unidade Produtiva Fluido de Freio		Carregar Matéria Prima 1		Data:			
Item Físico: Bomba B-8417 Intertravamento: Nível do tanque TQ-8457/1 < 1% - desliga a bomba B-8417 - evitar a cavitação da bomba Válvula on/off FV-8141 fechada - desliga a bomba B-8417 - evitar contra pressão na linha				Dados do Item: Bomba Centrífuga, Fluido: Matéria Prima 1, Vazão de Operação: 20,0 m³/h, Altura Manométrica Total: 18 mcl, Pressão de Sucção Mínima: 0,072 kgf/cm², Pressão de Descarga Máxima: 1,672 kgf/cm², Temperatura de Operação: 25°C, Rotação: 1730 rpm, Selo Mecânico simples- tipo 1- Tamanho 1.3/4"- John Crane, Fabricante: Camberra					
Função: Transferir Matéria Prima 1 do tanque para o reator.				Falha Funcional: A - Não transferir Matéria Prima 1 para o reator B - Transferir Matéria Prima com uma vazão menor que 20,0 m³/h					
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVER.	Causa Potencial da Falha	OCORR.	Controle Atual de Detecção	DETEC.	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações Recomendadas
B1 - Vazamento no selo mecânico	Perda de eficiência na vazão da bomba, vazamento de matéria prima, contaminação do solo	6	B1.1 - Desgaste do selo mecânico	6	Inspeção sensitiva periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	8	288	Não Existe	Operar até a falha (Manutenção corretiva)/ Inserir selo mecânico como item de estoque/ Manter inspeção
			B1.2 - Trinca nas faces do selo	7		8	336		
A1 - Quebra do selo mecânico	Vazamento excessivo de matéria prima/ Interrupção no processo de carregamento de matéria prima (Reparo em 6 horas)	7	A1.1- Desgaste do selo mecânico	6	Inspeção sensitiva periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	8	336	Não Existe	Operar até a falha (Manutenção corretiva)/ Inserir selo mecânico como item de estoque/ Manter inspeção Criação de plano preditivo mensal de análise de vibração e temperatura
			A1.2 -Temperatura elevada no selo mecânico	2		5	70		
			A1.3 - Alta vibração na bomba	6		4	168		
A2 - Quebra do acoplamento do motor/bomba	Não acionamento do eixo da bomba (reparo em 2 horas), interrupção do carregamento de matéria prima	7	A2.1 - Alta vibração na bomba	5	Inspeção sensitiva periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	3	105	Não Existe	Criação de plano preditivo quinzenal de análise de vibração/ Inserir acoplamento como item de estoque

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 27 - Continuação Planilha FMEA para equipamento TAG B-8417.

B2 - Vazamento na voluta ou flanges da bomba	Perda de eficiência na vazão da bomba, vazamento de matéria prima, contaminação do solo	8	B2.1 - Desgaste por corrosão pelo fluido bombeado	2	Inspeção sensível periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	2	32	Não Existe	Operar até a falha (Manutenção Corretiva)
A3 - Quebra do rotor e eixo da bomba	Bomba trava e interrompe a transferência de matéria prima	8	A3.1 - Alta vibração na bomba	5	Inspeção sensível periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	4	160	Não Existe	Criação de plano preditivo quinzenal de análise de vibração
			A3.2 - Desgaste por corrosão pelo fluido bombeado	2		7	112		Operar até a falha/ Manutenção Corretiva
A4 - Desgaste ou quebra dos rolamentos da bomba	Bomba trava e interrompe a transferência da matéria prima (Reparo em 6 horas)	7	A4.1 - Alta vibração na bomba	5	Inspeção sensível periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	5	175	Não Existe	Manutenção Preventiva Anual e Criação de plano preditivo quinzenal de análise de vibração/ Inserir rolamentos em estoque
			A4.2 - Falta de lubrificação	4	Plano mensal de lubrificação	4	112	Plano mensal de lubrificação	Alterar frequência do plano de lubrificação para quinzenal
B3 - Cavitação da bomba	Perda de eficiência na vazão da bomba e aumento no risco de quebra de partes da bomba e tubulações	6	B3.1 - Desalinhamento da bomba	4	Inspeção sensível periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	5	120	Não Existe	Verificar alinhamento da bomba trimestralmente
			B3.2 - Alta vibração na bomba	6		4	144	Não Existe	Criação de plano preditivo quinzenal de análise de vibração
			B3.3 - Bomba rodar em vazio	2	Intertravamento de segurança de nível baixo do tanque	3	36	Intertravamento de segurança de nível baixo do tanque	Nenhuma ação recomendada

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 28 - Planilha FMEA para equipamento TAG PSV-8131.

RCM		Planilha FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha							
		Sistema			Etapa		Equipe:		
		Unidade Produtiva Fluido de Freio			Transferir produto acabado		Data:		
Item Físico: Válvula de segurança PSV-8131 na linha de entrada da bomba de transferência do produto acabado Intertravamento: Não Existe					Dados do Item: Válvula de Segurança de Alívio, Atuação por mola, Castelo tipo fechado, Entrada de 1" e Saída de 2", Mola de aço liga ao Tungstênio, Pressão de SET de abertura: 5,6 kgf/cm², Fabricante: Farris				
Função: Proteger a linha e a bomba de aumento de pressão, descarregando para o ambiente a sobre carga de pressão					Falha Funcional: A - Não Proteger a linha e a bomba de aumento de pressão acima de 5,6 kgf/cm²				
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVER.	Causa Potencial da Falha	OCORR.	Controle Atual de Detecção	DETEC.	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações Recomendadas
A1 - Falha na abertura (Não atuar na pressão de SET de abertura de 5,6 kgf/cm²)	Caso ocorra aumento na pressão da linha, pode ocasionar acidente de processo e quebra da bomba e linhas	9	A1.1 - Descalibração da válvula	4	Não Existe	9	324	Não Existe	Manutenção Preventiva anual/Inserir PSV no plano de calibração de instrumentos críticos (calibração, limpeza e verificação das condições da válvula)
			A1.2 - Incrustações de resíduos na sede da válvula	4		9	324		
A2 - Abertura em pressão inferior ao SET (5,6 kgf/cm²) da válvula	A válvula atua desnecessariamente, ocasionando ineficiência na transferência do produto	6	A2.1 - Descalibração da válvula	4	Não Existe	2	48	Não Existe	Manutenção Preventiva anual/Inserir PSV no plano de calibração de instrumentos críticos (calibração, limpeza e verificação das condições da válvula)
			A2.2 - Rompimento e quebra da mola de atuação da válvula	3		3	54		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 29- Planilha FMEA para equipamento TAG B-8127.

RCM		Planilha FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha							
		Sistema		Etapa		Equipe:			
		Unidade Produtiva Fluido de Freio		Condensar e retornar destilado		Data:			
Item Físico: Bomba B-8127 de refluxo de destilado do condensador para a torre de destilação				Dados do Item: Bomba rotativa de engrenagem, Acionamento Magnético, Fluido: Água/Matéria Prima 1, Altura Manométrica: 11,9 mcl, Pressão de Sucção Mínima: 0,72					
Intertravamento: Vazão da bomba setada de acordo com Medidor de Vazão; Chave de fluxo não indicando passagem de fluido - desliga a bomba - evitar cavitação da bomba				kgf/cm², Pressão de Descarga Máxima: 1,88 kgf/cm², Vazão de Operação: 0,5 m³/h, Rotação: 1720 rpm, Temperatura de Operação: 52°C, Fabricante: Micropump					
Função: Fazer refluxo de destilado do condensador para a torre de destilação				Falha Funcional: A - Não realizar refluxo do destilado B - Transferir destilado com vazão menor que a setada					
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVER.	Causa Potencial da Falha	OCORR.	Controle Atual de Detecção	DETEC.	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações Recomendadas
A1 - Quebra do acoplamento magnético	Trava a bomba (8 horas para reparo)/ Interrompe o processo de produção, sendo necessário isolar a coluna de destilação e o reator, corta-se o processo de aquecimento	8	A1.1 - Alta vibração na bomba	5	Inspeção sensitiva periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	3	120	Não Existe	Criação de plano preditivo quinzenal de análise de vibração e temperatura/ Inserir acoplamento como item de estoque
			A1.2 - Superaquecimento dos magnetos	4		6	192		
A2 - Desgaste ou quebra das engrenagens	Trava a bomba (8 horas para reparo)/ Interrompe o processo de produção, sendo necessário isolar a coluna de destilação e o reator, corta-se o processo de aquecimento	8	A1.4 - Alta vibração na bomba	5	Inspeção sensitiva periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	3	120	Não Existe	Criação de plano preditivo quinzenal de análise de vibração
			A2.1 - Atrito e abrasão entre as engrenagens	2		8	128		
			A2.3 - Atrito e abrasão pelo fluido bombeado ou por particulados sólidos	3		8	192		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 30 - Continuação Planilha FMEA para equipamento TAG B-8127.

B1 - Vazamento na carcaça da bomba	Perda de eficiência na vazão da bomba, vazamento de destilado, contaminação do solo	5	B1.1 - Desgaste por cavitação na bomba	2	Inspeção sensitiva periódica mensal	2	20	Não Existe	Nenhuma ação recomendada
			B1.2 - Desgaste pelo fluido bombeado	2	(Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	2	20		Operar até a falha/ Manutenção Corretiva
B2 - Cavitação da Bomba	Perda de eficiência na vazão da bomba e aumento no risco de quebra de partes da bomba e tubulações	8	B2.1 - Alta vibração na bomba	6	Inspeção sensitiva periódica mensal (Inspeção visual e de ruído anormal na bomba)	4	192	Não Existe	Criação de plano preditivo quinzenal de análise de vibração
			B2.2 - Bomba rodar em vazio	2	Intertravamento de segurança de não passagem de fluido	3	48		Intertravamento de segurança de não passagem de fluido Nenhuma ação recomendada

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 31 - Planilha FMEA para equipamento TAG MB-8127.

RCM		Planilha FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha							
		Sistema			Etapa		Equipe:		
		Unidade Produtiva Fluido de Freio			Condensar e retornar destilado		Data:		
Item Físico: Motor da Bomba B-8127					Dados do Item: Motor elétrico trifásio, Modelo: 71L, Voltagem: 440 Volts, Rotação: 1720 rpm, Potência: 0,5 CV, Fabricante: WEG, com inversor de frequência				
Intertravamento: Motor desliga para a seguinte condição: (chave de fluxo não indicando passagem de fluido);									
Função: Acionar a bomba B-8127					Falha Funcional: A - Não acionar a bomba B-8127				
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVER.	Causa Potencial da Falha	OCORR.	Controle Atual de Detecção	DETEC.	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações Recomendadas
A1 - Desgaste ou quebra dos rolamentos	Trava o motor, não acionando a bomba (4 horas para reparo)/Se estiver na etapa de aquecimento interrompe o processo de produção, sendo necessário isolar a coluna de destilação e o reator, corta-se o processo de aquecimento	7	A1.1 - Falta de lubrificação	4	Plano mensal de lubrificação	4	112	Plano mensal de lubrificação	Alterar frequência do plano de lubrificação para quinzenal/ Inserir rolamentos em estoque
			A1.2 - Alta vibração no conjunto motor/bomba	6	Inspeção trimestral nos motores trifásicos da Unidade Produtiva (Inspeção visual, de ruídos anormais e temperatura)	4	168	Não existe	Criação de plano preditivo quinzenal de análise de vibração/ Verificar condições da base do motor e bomba
A2 - Atrito entre rotor e estator	Pode resultar na quebra de partes do estator e rotor, comprometendo a vida útil do motor/ Interrompe o processo de produção	6	A2.1 - Desalinhamento do eixo	2	Inspeção trimestral nos motores trifásicos da Unidade Produtiva	6	72	Não existe	Alterar frequência da inspeção nos motores trifásicos para mensal (Inspeção visual e sensitiva)
			A2.2 - Empenamento do eixo	2	(Inspeção visual, de ruídos anormais e temperatura)	6	72		
A3 - Falhas de Cabeamento e na caixa de ligação	Impede a condução elétrica/ Não aciona o motor/ Interrompe o processo de produção	7	A3.1 - Isolação inadequada dos cabos	4		7	196	Não existe	Alterar frequência de inspeção para trimestral (Verificar condições e isolação do cabeamento) e reaperto nos cabos na caixa de ligação
			A3.2 - Cabos sob ação de intempéries	4	Inspeção semestral das malhas de cabeamento	5	140		
			A3.3 - Mal contato dos cabos	5		6	210		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 32 - Continuação Planilha FMEA para equipamento TAG MB-8127.

A4 - Queima do motor	Prejuízo financeiro, não há motor reserva/ Não aciona a bomba/Se estiver na etapa de aquecimento interrompe o processo de produção, sendo necessário isolar coluna de destilação e o reator, corta-se o processo de aquecimento	8	A4.1 - Baixa isolamento do estator bobinado	4	Não Existe	8	256	Não Existe	Criar plano mensal para avaliar grandezas do motor (medição de temperatura e corrente em operação, e megar o motor para avaliar resistência) e inspeção visual e sensitiva
			A4.2 - Sobretensão no motor	6	Inversor de frequência	6	288		
			A4.3 Motor trabalhando acima da corrente nominal	6	Inversor de frequência	6	288		
			A4.4 - Temperatura elevada no motor devida a má ventilação	4	Inspeção trimestral nos motores trifásicos da Unidade Produtiva (Inspeção visual, de ruídos anormais e temperatura)	3	96		
A5 - Falhas nos componentes elétricos da gaveta	Impede a condução elétrica/ Não aciona o motor/ Interrompe o processo de produção	7	A5.1 - Mal contato dos cabos na gaveta	5	Não Existe	6	210	Limpeza e organização dos CCM's mensal	Criar plano mensal para reaperto de conexões na gaveta e verificação de temperatura em operação (manter limpeza)
			A5.2 - Temperatura elevada na gaveta	5		7	245		
A6 - Falha no inversor de frequência	Desliga o motor interrompendo o processo de produção	5	A6.1 - Sobretensão no inversor	3	Não Existe	7	105	Não Existe	Manutenção Preventiva Semestral (limpeza, teste em bancada, reaperto em conexões)
			A6.2 - Sobrecorrente no inversor	4		7	140		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 33- Planilha FMEA para equipamento TAG FSL-8127.

RCM		Planilha FMEA - Análise dos Modos e Efeitos de Falha							
		Sistema			Etapa		Equipe:		
		Unidade Produtiva Fluido de Freio			Condensar e retornar destilado		Data:		
Item Físico: Chave de fluxo FSL-8127 da linha de transferência do destilado dos vasos coletores à torre de destilação					Dados do Item: Chave de fluxo tipo palheta, normal aberta, Palheta redonda, Conexão tipo Tee, Saída: contato tipo reed, Temperatura de Operação: -20°C a 120°C, Pressão de Operação: 1 a 100 kgf/cm²				
Função: Indicar a passagem ou não de fluido na linha de transferência do destilado dos vasos coletores à torre de destilação, intertravando a bomba B-8127					Falha Funcional: A - Intertravar a bomba mesmo com passagem de fluido B - Não realizar intertravamento da bomba quando não há passagem de fluido				
Modo de Falha	Efeito Potencial da Falha	SEVER.	Causa Potencial da Falha	OCORR.	Controle Atual de Detecção	DETEC.	RPN	Controle Atual de Prevenção	Ações Recomendadas
A1 - Não fechar contato quando há passagem de fluxo de fluido (relé não atua)	Não aciona a bomba de refluxo de destilado, interrompe o processo de produção, sendo necessário isolar a coluna de destilação e o reator, corta-se o processo de aquecimento	7	A2.1 - Descalibração do instrumento	4	Não Existe	7	196	Não Existe	Realizar calibração (teste em bancada), verificação do instrumento e limpeza do sensor de medição trimestralmente
			A1.2 - Desgaste do sensor de medição por corrosão	2		9	126		
			A1.3 - Má fixação do cabo de contato ou cabo solto do relé	4		8	224		
			A1.4 - Falha na malha de comunicação	2		7	98		
B1 - Não abrir contato quando acabar fluxo de fluido (relé atuado direto)	Bomba permanece ligada rodando em vazio podendo acarretar quebra da bomba	5	B1.1 - Incrustação de particulados do fluido no sensor de medição	4	Não Existe	8	160	Não Existe	Realizar calibração (teste em bancada), verificação do instrumento e limpeza do sensor de medição trimestralmente
			B2.1 - Descalibração do instrumento	4		7	140		

Fonte: Elaborado pelo autor.

3.8 PLANOS DE MANUTENÇÃO

A partir do FMEA criado para os 11 equipamentos analisados, foram propostas ações de melhorias para contribuir na identificação ou prevenção dos modos de falhas discutidos, além das recomendações de peças sobressalentes. Dentre os planos recomendados, vale ressaltar algumas rotas de inspeção:

- 1) Análise de vibrações e temperatura – Plano quinzenal (B-8107/1, MB-8107/1, B-8417, B-8127, MB-8127)

A vibração e temperaturas elevadas em qualquer item que possua movimento ou partes girantes são grandes vilões para quebra de peças e componentes, se não mantido dentro de níveis aceitáveis. Dessa forma, uma rota de inspeção em bombas e motores se torna importante para identificar falhas potenciais como quebra de rolamentos, desalinhamento de eixos, cavitação, etc.

Para a realização dessa rota será necessário a mão de obra de um técnico mecânico. Considerando o plano quinzenal, com cerca de 15 minutos de inspeção para cada equipamento em um total de 5 equipamentos, soma-se 2,5 hh/mês trabalhados.

A coleta de dados em campo será feita através de um equipamento analisador de vibração que possui um software para posterior análise. Essa análise será realizada pelo Engenheiro Mecânico responsável que tomará ações a partir dos dados das inspeções.

- 2) Plano de lubrificação quinzenal – (B-8107/1, MB-8107/1, B-8417, MB-8127)

Esse plano tem por finalidade manter sempre em bom estado os níveis de lubrificação de mancais e rolamentos de bombas e motores.

Para a realização dessa rota será necessário a mão de obra um técnico mecânico por 20 minutos em cada equipamento, somando 2,67 hh/mês trabalhados.

- 3) Plano de Análise de Motores – (MB-8107/1, MB-8127)

A queima e o desarme de motores em operação é uma das falhas mais constantes na planta industrial da empresa estudada. Para os motores analisados da Unidade Produtiva do DOT devem ser investigados alguns parâmetros para determinar as falhas potenciais e atuar de forma planejada.

Nesse plano serão medidas as grandezas temperatura e corrente em operação, e a resistência do estator bobinado com o motor parado, e também será feita uma inspeção visual das condições do motor, como ruídos, pintura e ventilação. Essa inspeção será feita por um técnico eletricista em 1 hora para cada motor. O plano mensal somará 2 hh/mês.

Além disso, como plano mensal, serão verificadas as condições das gavetas de comando dos motores, possíveis reaperto em conexões e checagem da temperatura em operação, em um total de mais 2hh/mês.

A parte de cabeamento dos motores também deverá ser verificado em um plano trimestral que deverá avaliar as condições dos cabos e conexões, e checagem de isolamento. Para essa inspeção será necessário mais 1hh/mês do técnico eletricista.

Além dessas rotas, foram criados outros planos de inspeção visual e ações de manutenção preventiva como segue:

- 4) Inspeção visual semanal para identificar vazamentos na área – 4hh/mês (caldeireiro).
- 5) Verificação das condições de temperatura, pressão de selagem e vibração no selo mecânico do agitador SELMECR-8104 – 2hh/mês (técnico mecânico).
- 6) Manutenção Preventiva Anual nas bombas B-8417, B-8107/1 e B-8127, troca de rolamentos, limpeza, pintura, avaliação de peças e troca caso necessário – 2hh/mês (técnico mecânico) e 2hh/mês (ajudante).
- 7) Verificação Trimestral de Alinhamento das bombas B-8417 e B-8107/1 – 1hh/mês (técnico mecânico).
- 8) Calibração e limpeza semestral na chave de fluxo FSL-8107 e trimestral na chave de fluxo FSL-8127 – 3hh/mês (instrumentista).
- 9) Calibração e limpeza anual da válvula de segurança PSV-8131 – 2hh/mês (instrumentista).
- 10) Troca do elemento filtrante do filtro FL-8110 a cada 3 meses – 1hh/mês (caldeireiro) e 1hh/mês (ajudante).
- 11) Manutenção Preventiva Semestral no inversor de frequência do motor MB-8127 – 1hh/mês (técnico eletricista).

E para reparos mais rápidos em caso de falhas repentinas, foram inseridas as seguintes peças como itens de estoque:

- Um selo mecânico e dois rolamentos da bomba B-8417;

- Dois rolamentos do motor MB-8417;
- Um selo mecânico e dois rolamentos da bomba B-8107/1;
- Dois rolamentos do motor MB-8107/1;
- Dois rolamentos do motor MB-8127;
- Um acoplamento magnético e kit de peças sobressalentes da bomba B-8127;
- Um selo mecânico do agitador, SELMECR-8104;
- Duas juntas de vedação e dois elementos filtrantes do filtro FL-8110.

Como outras ações propostas, foi modificado o sistema de refrigeração do selo mecânico do agitador e iniciou-se um estudo de solo para verificar e reparar pequeno declive na base do tanque de estocagem da Matéria Prima 1.

3.9 VERIFICAÇÃO DOS RESULTADOS E CONSIDERAÇÕES FINAIS

As ações recomendadas com o FMEA foram colocadas em prática a partir dos meses de Agosto e Setembro. Notou-se que a mão de obra necessária para executar tais atividades era suficiente e não afetaria a carteira de trabalho para outras unidades produtivas da empresa.

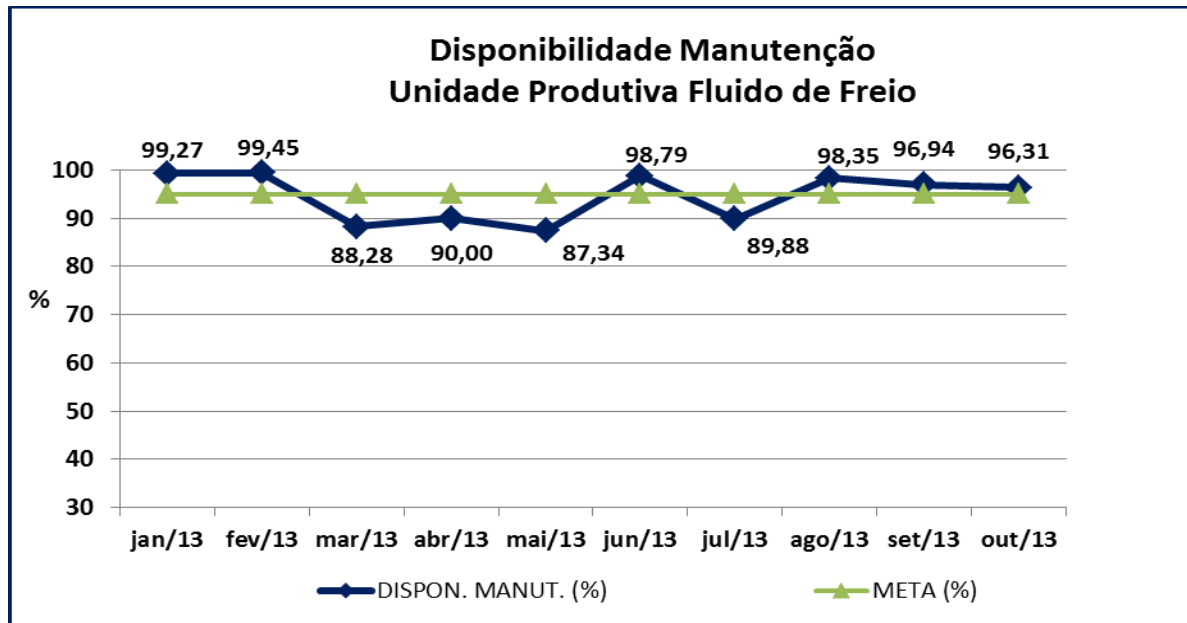
Apesar do pouco tempo da efetivação das ações, nota-se uma melhora nos indicadores da manutenção com relação à Disponibilidade e o número de horas paradas para a manutenção.

Os equipamentos analisados no FMEA não apresentaram mais falhas durante esse período e as inspeções recomendadas tem surtido efeito na percepção de falhas em potenciais. Algumas paradas programadas já foram realizadas a partir das detecções das inspeções, como a troca dos rolamentos do motor MB-8107/1 e uma parada para manutenção preventiva na bomba B-8417.

Algumas outras falhas aconteceram em equipamentos não analisados pelo FMEA, o que mostra a importância da sequência do trabalho para os demais itens do sistema.

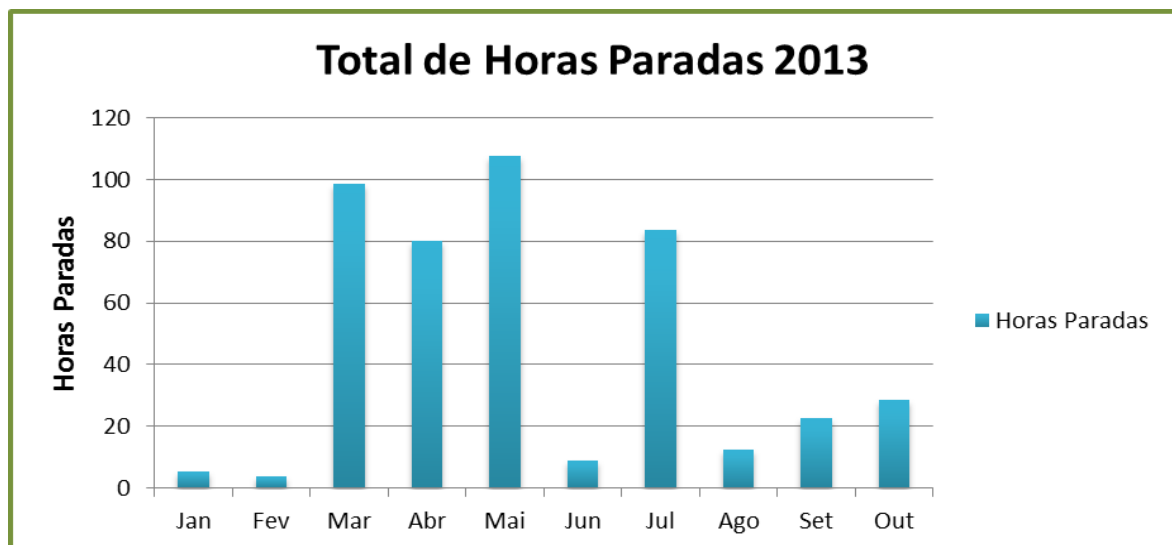
A figura 34 mostra as taxas de Disponibilidade da Manutenção ao longo do ano para o setor produtivo, e revela melhoria nos últimos 3 meses se comparados com o período de Março à Julho, no qual os níveis de Disponibilidade só se manteve dentro da meta esperada pela organização em Junho.

Figura 34- Gráfico de Disponibilidade da Manutenção de Janeiro à Outubro de 2013.



O gráfico da figura 35 mostra os tempos de indisponibilidade da Produção em paradas por Manutenção. De Agosto à Outubro, somou-se 63,72 horas de paradas o que representa 14% do total do ano. Nota-se que houve uma melhora no desempenho do setor, mas que ainda há a necessidade de reduzir a indisponibilidade para a Unidade Produtiva.

Figura 35 - Gráfico do Total de Horas Paradas para a Manutenção.



Como consideração final, percebe-se que é necessário um espaço de tempo maior para avaliar realmente a eficiência das ações propostas para cada equipamento.

É recomendável verificar o cumprimento dos planos de manutenção em campo e fazer revisões periódicas das ações propostas com o FMEA para avaliar os resultados encontrados e propor novas melhorias caso necessário.

Por fim, as ações realizadas para os equipamentos analisados pelo FMEA já apresentam impactos muito positivos principalmente com relação à tomada de decisão e a escolha da forma mais assertiva de atuação da manutenção para cada item. E o mais importante com a realização do trabalho foi validar a metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade e a aplicação do FMEA para equipamentos, iniciando um processo de mudança no conceito de manutenção da empresa.

4 CONCLUSÕES

Ao final desse trabalho, foi notório a todos os envolvidos na elaboração do FMEA e pelos coordenadores da empresa, a importância da implementação da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade para a Unidade, e o quanto o uso de ferramentas de análise de falhas agrega valor para a melhoria no processo de manutenção da empresa.

Foi constatada ao longo do trabalho a necessidade de mudanças nos conceitos e na execução de manutenção dentro do setor, principalmente na conscientização dos funcionários de como uma parada não planejada afeta todo o setor produtivo, trazendo riscos desnecessários e acarretando gastos excessivos que poderiam ser evitados. Dessa forma, há uma orientação cada vez mais forte aos operadores e executantes de manutenção na área, com relação à percepção em identificar os desvios encontrados em campo para que sejam programadas as atividades de manutenção antes que a falha aconteça e afete o sistema em geral.

Essa nova visão revela como os conceitos de Manutenção Centrada em Confiabilidade estão sendo bem absorvidos dentro da empresa, para tornar a atuação da manutenção eficiente, reduzindo a frequência de manutenções corretivas e criando planos de identificação preditiva de falhas e de paradas planejadas para ações preventivas.

A análise dos resultados revela que o objetivo do trabalho foi alcançado, pois se demonstrou a aplicabilidade e a eficiência da ferramenta FMEA, notando-se uma melhora contínua no aumento de confiabilidade do setor através da redução das taxas de falhas para os equipamentos analisados e do aumento dos índices de disponibilidade da unidade produtiva, que se mantiveram dentro da meta proposta pela organização a partir do segundo semestre de 2013 com o início da aplicação das medidas recomendadas.

Depois de realizado o FMEA para os equipamentos que apresentaram altos índices de falhas e que acarretaram tempos elevados de interrupção no processo produtivo ao longo do primeiro semestre do ano recorrido, é importante citar como sugestão, a continuação da análise dos modos e efeitos de falhas para o restante dos equipamentos envolvidos no processo, para que dessa forma torne-se mais fácil classificar a criticidade dos equipamentos e melhorar a priorização de ações. Além disso, há a necessidade em trabalhos futuros, da realização de uma análise dos custos envolvidos na adoção das medidas recomendadas com o FMEA, e assim avaliar de forma assertiva o comportamento da confiabilidade versus os custos de manutenção.

Por fim, espera-se que esse trabalho seja só o início da aplicação de ferramentas de decisão para a manutenção dentro da empresa, e que elas possam ser usadas em outros setores produtivos da organização, pois o aprendizado desenvolvido durante a realização desse trabalho mostra como o uso de ferramentas simples como o FMEA contribui de maneira significativa para melhorar o gerenciamento da manutenção e aumentar gradativamente a confiabilidade em equipamentos.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. J. O. **Emprego da confiabilidade na gestão estratégica da manutenção: estudos de caso.** In: Simpósio Internacional de Confiabilidade – SIC, Fortaleza, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade.** Rio de Janeiro, 1994. 37 p.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial.** 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

GUZZON, S. O. **Proposta de análise quantitativa de confiabilidade a partir de dados qualitativos provenientes da FMEA.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2009.

KARDEC, Alan; FLORES, Joubert; SEIXAS, Eduardo. **Gestão estratégica: indicadores de desempenho.** 1.ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2002. 120 p.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função Estratégica.** 1.ed. Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 1999.

LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade.** Rio de Janeiro: Editora Qualitymark, 2001. 388 p.

MONCHY, François. **A Função Manutenção: formação para a gerência da manutenção industrial.** São Paulo: Editora Durban LTDA, 1989.

MOUBRAY, John. **Manutenção centrada em confiabilidade.** São Paulo: Aladon LTDS, 2000. 426 p.

O'CONNOR, Patrick D. T. **Practical reliability engineering.** New York; John Wiley & Sons, Inc., 1991. 431 p.

OLIVEIRA, S. D. **Implementação da metodologia TPM em uma indústria do setor de higiene pessoal, saúde e beleza.** 2012. 44 f. Trabalho de Graduação em Engenharia de Produção Mecânica – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2012.

PALADY, P. **FMEA: Análise dos modos de falha e efeitos, prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram.** São Paulo: IMAN, 1997. 270 p.

SIQUEIRA, Iony Patriota. **Manutenção centrada na confiabilidade: manual de implantação.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

VIANA, H. R. G. **PCM, planejamento e controle da manutenção.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 167 p.

VICENTE, P. G. **Análise da aplicabilidade da ferramenta FTA no estudo de falhas de manutenção em uma indústria.** 2012. 64 f. Trabalho de Graduação em Engenharia Mecânica – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2012.

WERKEMA, Maria Cristina Catarino; **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos.** Belo Horizonte, MG: Werkema Editora, 1995.

ZAIONS, D. R. **Consolidação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade em uma planta de celulose e papel** – Dissertação Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção Departamento de Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003. 212f. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/3297>>. Acesso em: 02 set. 2013.