



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO

Curso de Engenharia Mecânica

NATASSIA BATALHA PEREIRA

Análise de confiabilidade de um sistema de agitação de tanques através da aplicação dos conceitos de Manutenção Centrada em Confiabilidade: Estudo de caso

SÃO LUÍS/MA

2018

NATASSIA BATALHA PEREIRA

Análise de confiabilidade de um sistema de agitação de tanques através da aplicação dos conceitos de Manutenção Centrada em Confiabilidade: Estudo de caso

Monografia de graduação apresentada ao Curso de Engenharia Mecânica da Universidade Estadual do Maranhão como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Msc. Giovanni Augusto Ferreira Dias

SÃO LUÍS/MA

2018

Pereira, Natassia Batalha.

Análise de confiabilidade de um sistema de agitação de tanques através da aplicação dos conceitos de manutenção centrada em confiabilidade: estudo de caso / Natassia Batalha Pereira. – São Luís, 2018.

90 f.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2018.

Orientador: Prof. Me. Giovanni Augusto Ferreira Dias.

1. Manutenção. 2. MCC. 3. FMEA. 4. Falhas. I.Título.

CDU 621.01

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Análise de confiabilidade de um sistema de agitação de tanques através da aplicação dos conceitos de Manutenção Centrada em Confiabilidade: Estudo de caso

Autor: Natassia Batalha Pereira

Orientador: Prof. Msc. Giovanni Augusto Ferreira Dias

A Banca Examinadora composta pelos membros abaixo aprovou esta Monografia:

Prof. Msc. Giovanni Augusto Ferreira Dias, Presidente
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Msc. Maria Amália Trindade de Castro
Universidade Estadual do Maranhão

Prof. Esp. Carlos Ronyhelton S. Oliveira
Universidade Estadual do Maranhão

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

São Luís/MA, 18 de Junho de 2018.

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais que me apoiam em tudo, ao meu namorado e a todos amigos que sempre me incentivaram.

Agradecimentos

Este trabalho foi realizado e devo meus sinceros agradecimentos a pessoas que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização de mais esta etapa na minha vida:

A Deus, por ser meu grande amigo e nunca me desamparar nos momentos em que eu quis fraquejar, por ter me dado saúde e forças para viver.

Ao Prof^o. Giovanni Dias por aceitar ser meu orientador, por todo apoio, paciência e conhecimentos compartilhados.

Aos engenheiros Vitor Viana, Verônica Campos e Reginaldo Rocha por participarem diretamente do desenvolvimento deste trabalho, e a Adonay Sousa e Bruno Correa por todos os conhecimentos compartilhados.

Aos meus pais por sempre acreditarem em mim, por me darem todo o apoio que eu preciso, por sempre me ensinarem o que é bom, em especial a minha mãe que passa todos os momentos de sofrimento e madrugadas acordada comigo.

Ao meu namorado Marcio Silva por todo apoio dado, por sua participação na escrita deste trabalho e por todo amor e carinho.

Aos meus amigos da graduação muito obrigada pelos cinco anos que passamos juntos, pelos desafios superados, por todos os momentos que se eternizarão em nossas memórias.

À empresa Alumar aonde eu pude adquirir muitos conhecimentos, que me fizeram crescer como profissional.

Não sabeis que entre todos os que correm no estádio, na verdade, somente um recebe o grande prêmio? Correi de tal maneira que o alcanceis!

1 Coríntios 9.24

RESUMO

Este trabalho teve como principal objetivo, a aplicação da metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) como forma de propor ações de melhoria na confiabilidade do conjunto que faz a agitação de tanques precipitadores de hidrato de alumina. Para que fosse realizado a análise de falhas foram utilizados o FTA (*Failure Tree Analysis*) e o FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) para a identificação dos modos de falhas, sendo eleito o grau de risco dos modos de falhas através de NPR (Número de prioridade de risco) em que foi analisado a severidade, a ocorrência pela frequência, e a detecção pela maneira de possibilidade de detectar a falha antes que ela ocorra, assim após o resultado do NPR foram classificadas a criticidade das tarefas sendo caracterizado o risco entre elevado , moderado e baixo, para que fossem propostas ações de mitigação destes modos de falhas. Foi aplicado todas as etapas da metodologia MCC desde a seleção do sistema até a elaboração de planos de manutenção.

Palavras-Chaves: Manutenção; MCC; FMEA; Falhas.

ABSTRACT

This work had as main objective, the application of the Reliability Centered Maintenance (RCM) methodology as a way of proposing actions to improve the reliability of the set that makes the agitation of alumina hydrate precipitating tanks. Failure analysis was performed using FTA (Failure Tree Analysis) and FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) for the identification of failure modes, and the degree of risk of fault modes using NPR (Number of risk priority) in which the severity, the occurrence by the frequency, and the detection by the way of being able to detect the fault before its occurrence, were analyzed, so after the NPR result the criticality of the tasks was classified and the risk between high, moderate and low, in order to propose actions to mitigate these modes of failure. All stages of the RCM methodology were applied from the selection of the system to the preparation of maintenance plans.

Keywords: Maintenance; RCM; FMEA; Failures.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-1. Gráfico de função de sobrevivência de um agitador	3
Figura 1-2. Comparativo de custos entre os componentes dos agitadores	3
Figura 2-1 Resultado x Tipos de manutenções.	8
Figura 2-2 Diagrama de blocos de Motor a Explosão.....	16
Figura 2-3 Estrutura organizacional de um helicóptero de caça	16
Figura 2-4 Exemplo de formulário do FMEA.....	25
Figura 2-5 Fluxo de decisão das funções significantes.....	27
Figura 2-6 Lógica de decisão	29
Figura 2-7 Diagrama decisional	38
Figura 3-1 Modelo de implantação da MCC.....	41
Figura 4-1. Representação do tanque precipitador.....	43
Figura 4-2 Diagrama funcional de precipitadores de hidróxido de alumina.....	43
Figura 4-3 Estrutura Organizacional do Precipitador	47
Figura 4-4 FTA de sedimentação de sólidos nos precipitadores	49
Figura 5-1 Análise de grau de risco	62
Figura 5-2 Custo de Manutenção Corretiva de componentes do sistema de agitação ..	63

LISTA DE QUADROS

Quadro 2-1 Evolução da manutenção.....	6
Quadro 2-2 Matriz de severidade do FMEA	21
Quadro 2-3 Matriz de probabilidade de ocorrência.	23
Quadro 2-4 Matriz de detecção de falhas para o FMEA	23
Quadro 2-5: Quadro de documentação de consequências	29
Quadro 2-6 Formulário de análise decisional	36
Quadro 2-7 Aplicabilidade e Efetividade da Manutenção :	37
Quadro 4-1 Dados dos precipitadores	44
Quadro 4-2 Descritivo do sistema	47
Quadro 4-3 Validação de dados do FTA	50
Quadro 4-4 Matriz de probabilidade de ocorrência de falhas padrão da empresa	52
Quadro 4-5 Matriz de detecção	54
Quadro 4-6 Classificação do grau de risco aplicado ao caso de estudo	54
Quadro 4-7 Quadro de matriz de severidade aplicada ao estudo de caso	55
Quadro 4-8 FMEA agitadores dos precipitadores.....	56
Quadro 5-1 Quantificação da classificação de riscos	62
Quadro 5-2 Quadro análises de decisões do FMEA	66
Quadro 5-3 Critérios de aplicabilidade e efetividade da manutenção	67
Quadro 5-4 Procedimento de manutenção dos precipitadores	69
Quadro 5-5 Resumo do FMEA	71

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

FMEA: *Failure Mode and Effect Analysis*

FMECA: *Failure Mode Analysis, Effects, And Criticality Analysis*

FTA: *Fault tree Analysis*

MCC: Manutenção Centrada em Confiabilidade

NPR: Numero Prioritário de Risco

PDCA: Plan, Do, Check, Act

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	4
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1	Conceito de manutenção	5
2.2	Evolução da manutenção	5
2.3	Classificação da manutenção	7
2.3.1	Manutenção Corretiva	8
2.3.2	Manutenção Preventiva	9
2.3.3	Manutenção Preditiva	9
2.3.4	Engenharia de Manutenção	10
2.3.5	Engenharia de Confiabilidade	10
2.4	Manutenção Centrada em Confiabilidade	12
2.4.1	Histórico da MCC	13
2.4.2	Objetivos do MCC	14
□	Processo de implementação da MCC	14
2.5	Seleção e identificação do sistema	15
2.6	Definição das funções do sistema	16
2.7	Análises de modos de falhas e efeitos	17
2.7.1	Brainstorming	18
2.7.2	Diagrama de Pareto	18
2.7.3	FTA (Failure Tree Analysis)	19
2.7.4	FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)	20
2.8	Análise e decisão	25
2.8.1	Consequências das falhas	26
2.8.2	Funções significantes / Lógica de decisão	26
2.8.3	Lógica de decisão	28
2.9	Aplicabilidade da manutenção	30
2.9.1	Denominação das atividades	31
2.10	Efetividade da manutenção	34
2.11	Seleção de atividades e periodicidade das atividades	35
3	METODOLOGIA	39

4	ESTUDO DE CASO	42
4.1	Descritivo dos precipitadores	42
4.2	DESCRITIVO DE IMPLEMENTAÇÃO	44
4.2.1	Seleção e identificação do sistema;	45
4.2.2	Identificação das funções do sistema	46
4.2.3	Análises de modos de Falhas e efeitos	47
5	RESULTADOS E DISCURSSÕES	62
5.1	Análise e decisão	64
5.2	Aplicabilidade e efetividade	64
5.3	Seleção das atividades de manutenção	64
5.3.1	Plano de manutenção	65
	CONCLUSÃO	73
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75

1 INTRODUÇÃO

O processo de manutenção apresenta vários métodos que auxiliam na tomada de decisão e gerenciamento tais como FTA, FMEA, PDCA, Análise de Vida. Dentre esses métodos na última década tem se destacado o método de Manutenção Centrada em Confiabilidade, que tem aberto sua aplicação a quase todas as áreas de atividades humanas, em que ocorra necessidade de manter o funcionamento de ativos físicos ou processos. Procedentes da indústria aeronáutica americana e seguidos pelas indústrias nuclear e elétrica, além disso nos dias atuais é aplicada em muitos setores modernos da economia, inclusive o terciário e o de serviço. (SIQUEIRA, 2014).

Segundo Viana (2002), o estudo do MCC busca entender as diversas formas de como um equipamento ou sistema pode vir a falhar, em busca de ações que possam combatê-las. Pode ser considerada como um importante instrumento para tomada de decisão gerencial para diretrizes da política de manutenção.

Conforme afirma Moubrey (1997), o MCC quando aplicado busca garantir maior disponibilidade e confiabilidade, maior segurança, maior qualidade dos produtos, ausência de danos ao meio ambiente, maior vida útil dos equipamentos, além de maior efetividade do custo de manutenção. Assim como assegura Siqueira (2014), que uma das características do MCC é prover um método estruturado de selecionar as atividades de manutenção, para qualquer processo produtivo. O método consiste de uma sequência de etapas bem definidas, que precisam ser seguidas em forma sequencial para responder às questões formuladas pela MCC e garantir os resultados.

De acordo com Smith (1993), para se alcançar os objetivos da MCC tem-se que realizar a seleção do sistema e levantamento de dados, definir as fronteiras do sistema, descrever os sistemas e subsistemas, identificar as funções e falhas funcionais, fazer as análises dos modos de falhas utilizando a metodologia do FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) e definição das ações pelo diagrama de decisão.

A Manutenção Centrada em Confiabilidade busca a solução para as diversas falhas existentes no sistema fora do esperado, então a principal ferramenta utilizada para se fazer a análise dos modos de falhas do sistema é o FMEA que é uma metodologia de análise de modos e efeitos de falhas que tem como objetivo reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, além de identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas e documentar o estudo criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo (FOGLIATTO, 2011).

A aplicação da metodologia do MCC pode ser evidenciada no estudo de caso de Baran (2011), onde ele fez a aplicação do método em um sistema industrial de um Desbobinador de Alumínio que apresentava falhas relacionadas ao controle de tensão, após a aplicação das melhorias e dos planos de manutenção propostos pelas conclusões das análises o MCC foi considerado uma ferramenta eficaz na redução dos modos de falhas específicos de um sistema e na manutenção desse resultado. Assim como também foi aplicado por Pedrosa (2014), a metodologia FMEA para a Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos em um secador industrial.

O que motivou este estudo foi a observação de falhas no conjunto de agitação dos tanques precipitadores de hidrato de alumina, entre os anos de 2015 a 2017 gerando perda de produção e elevados custos de manutenção na planta industrial

Pode-se observar na figura 1.1 que a curva que representa a função de sobrevivência de um dos precipitadores, o considerado mais crítico encontra-se com maior taxa de falhas em um menor espaço de tempo, considerando assim que o conjunto dos precipitadores apresenta uma curva de mortalidade infantil.

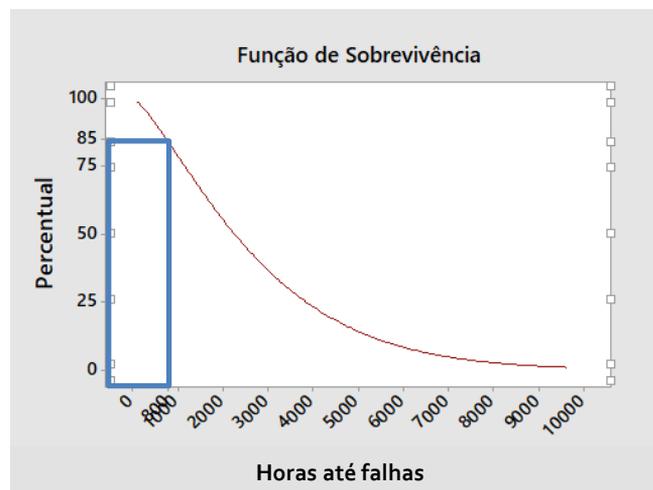


Figura 1-1. Gráfico de função de sobrevivência de um agitador (Autor, 2018).

Os altos custos de manutenção para a empresa se justificam na análise dos componentes do redutor, como pode-se observar na figura 1.2. Isso se justifica por ser o principal componente do conjunto e seus sobressalentes possuírem elevado custos, dentre conjuntos de engrenagens que são os elementos mais caros.

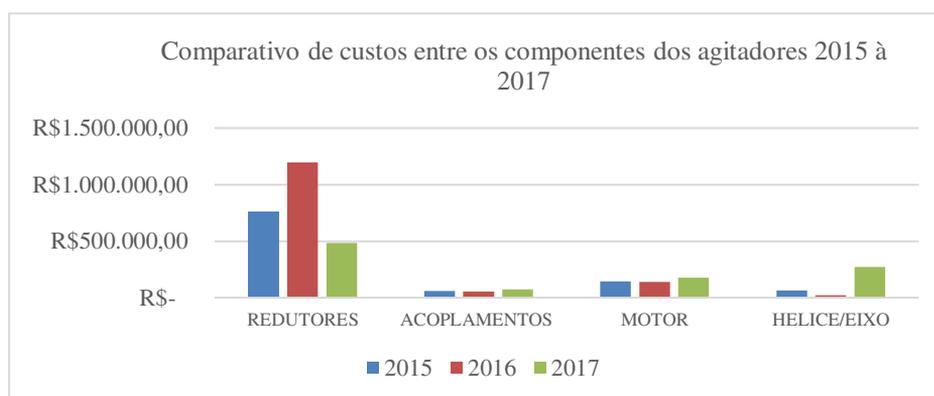


Figura 1-2. Comparativo de custos entre os componentes dos agitadores (Autor ,2018).

Baseado no contexto apresentado acima será necessário fazer um estudo de MCC para o conjunto de agitação, que contribuirá para o seu público alvo através das ações recomendadas o benefício de maior confiabilidade do sistema, em busca de redução de custos de manutenção e aumento da disponibilidade evitando perdas de produção.

Com o estudo da aplicação da MCC nos agitadores destes tanques pretende-se propor melhorias na confiabilidade, ou seja, propor as manutenções adequadas para o sistema assim

como ações que possam ser recomendadas para reduzir as falhas do sistema, para que a empresa possa garantir redução dos custos e tempos de paradas inesperadas causando problemas mais graves como sedimentação de sólidos nos precipitadores.

1.1 Objetivos

Objetivo geral

Aplicar a metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade no sistema de agitação de tanques precipitadores.

Objetivos específicos

- Realizar revisão bibliográfica sobre Manutenção Centrada em Confiabilidade;
- Definir as funções do sistema, aplicando no FMEA;
- Identificar os modos de falhas que influenciam tais funções (FTA e FMEA);
- Classificar os modos de falhas quanto a severidade, ocorrência e detecção.
- Priorizar quanto ao grau de risco das falhas.
- Definir as ações a serem recomendadas para as falhas funcionais..

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico será abordado uma revisão bibliográfica sobre os principais conceitos, evolução e classificação da manutenção. Assim como métodos de análise de falhas, e a abordagem de Manutenção Centrada em Confiabilidade.

2.1 Conceito de manutenção

Define-se manutenção como uma combinação de todas as ações técnicas, administrativas e também ações de supervisão, destinadas para manter um item em condições de funcionamento padrão, ou restaura-lo a um estado no qual ele possa realizar uma função requerida (NBR 5462:1994).

2.2 Evolução da manutenção

Ao longo da história da manutenção fica evidente o fato de existirem quatro gerações distintas que são elas: a Primeira Geração que apresentava pouca mecanização, a Segunda Geração já apresentava uma complexidade nas instalações industriais, a terceira geração apresenta-se com uma maior automatização e início dos conceitos de confiabilidade já a Quarta Geração apresenta uma continuidade nos conceitos de confiabilidade e busca por maior disponibilidade das máquinas, conforme a quadro 2-1.

De acordo com Alan Kardec (2009), a Primeira Geração ocorreu nas décadas 40 e 50 em que a mecanização da indústria era iniciante em que havia equipamentos simples e superdimensionados para suas operações. Neste período não existia manutenção planejada. Era utilizado apenas a manutenção Corretiva, assim como também limpeza e lubrificação.

Quadro 2-1 Evolução da manutenção (Alan Kardec, 2009).

EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO				
	Primeira Geração	Segunda Geração	Terceira Geração	Quarta Geração
ANO				
Aumento das expectativas em relação a manutenção	*Concerto após falha	*Disponibilidade crescente *Maior vida útil do equipamento	*Maior confiabilidade *Maior disponibilidade * Melhor relação custo-benefício *Preservação do meio ambiente	*Maior confiabilidade *Maior disponibilidade *Preservação do meio ambiente *Segurança *Influir nos resultados do negócio *Gerenciar os ativos
Visão quanto à falhas do equipamento	*Todos os equipamentos se desgastam com a idade, por isso, falham	*Todos os equipamentos se comportam de acordo com a curva da banheira	*Existência de 6 padrões de falhas (Nowlan & Heap e Moubray)	*Reduzir drasticamente falhas prematuras dos padrões A e F (Nowlan & Heap e Moubray)
Mudanças nas técnicas de Manutenção	* Habilidades voltadas para o reparo	*Planejamento manual da manutenção *Computadores grandes e lentos *Manutenção Preventiva (por tempo)	*Monitoramento da condição *Manutenção Preditiva *Análise de risco *Computadores pequenos e rápidos *Software potentes *Grupos de trabalho multidisciplinares *Projetos voltados para a confiabilidade *Contratação por mão de obra e serviço	*Aumento da manutenção preditiva e monitoramento da condição *Minimização nas manutenções Preventivas e Corretivas não planejadas *Análise de falhas *Técnicas de confiabilidade *Manutenabilidade *Engenharia de manutenção *Projetos voltados para confiabilidade, manutenabilidade e Custo do ciclo de vida. *Contratação por resultados

A Segunda Geração ocorreu entre os anos de 50 e 70, logo após a Segunda Grande Guerra. Neste período, devido as pressões que surgiram na época, houve um aumento pela demanda dos produtos de forma geral. Entretanto, nesta época teve-se a primeira onda de escassez de mão-de-obra especializada devido a crescente mecanização e também das

complexidades das instalações industriais, o que se exigia de tal mão-de-obra (especializada) início da Manutenção Preventiva.

A Terceira Geração iniciou-se a partir da década de 70 com o crescimento da automação e da mecanização, que tornam importantes a disponibilidade e confiabilidade dos sistemas. Pode-se assim destacar:

- O conceito e a utilização da manutenção Preditiva;
- O processo do MCC (Manutenção Centrada na Confiabilidade).

O avanço da informática permitiu utilização de computadores mais velozes e o desenvolvimento de softwares para o planejamento, controle e acompanhamento dos serviços de manutenção.

A Quarta Geração que ocorreu entre 2000 a 2010 apresenta como medida de performance mais importante é a disponibilidade, onde a busca por preservação do meio ambiente e segurança são valorizados.

2.3 Classificação da manutenção

A manutenção pode ser classificada de duas formas quanto à programação ou quanto aos objetivos, quanto a programação têm-se as classes de manutenção programada e não-programada para designar, que as diferenciará quanto a critérios de tempo e condições pré-definidas e as executadas em função da necessidade, quanto aos objetivos são classificadas de acordo com a ação do usuário em relação as falhas, são divididas em seis tipos: Manutenção Corretiva, Preventiva, Preditiva, Proativa, Produtiva e Detectiva (SIQUEIRA, 2014).

Segundo Siqueira (2014) a manutenção Corretiva destina-se a corrigir falhas já existentes, enquanto que a manutenção Preventiva tem o objetivo de prevenir e evitar as falhas inesperadas. A manutenção Preditiva busca a previsão das falhas com medidas dos parâmetros que indique a evolução de uma falha a tempo de serem corrigidas. Analogamente a manutenção

Detectiva procura identificar falhas que já aconteceram, mas que não sejam percebidas. A manutenção Produtiva busca garantir a melhor utilização e maior produtividade dos equipamentos. Enfim a manutenção Proativa, a experiência é utilizada para otimizar o processo e o projeto de novos equipamentos. Em uma atitude Proativa de melhoria continua. Na figura 2.1 pode-se observar os resultados em relação aos tipos de manutenções.

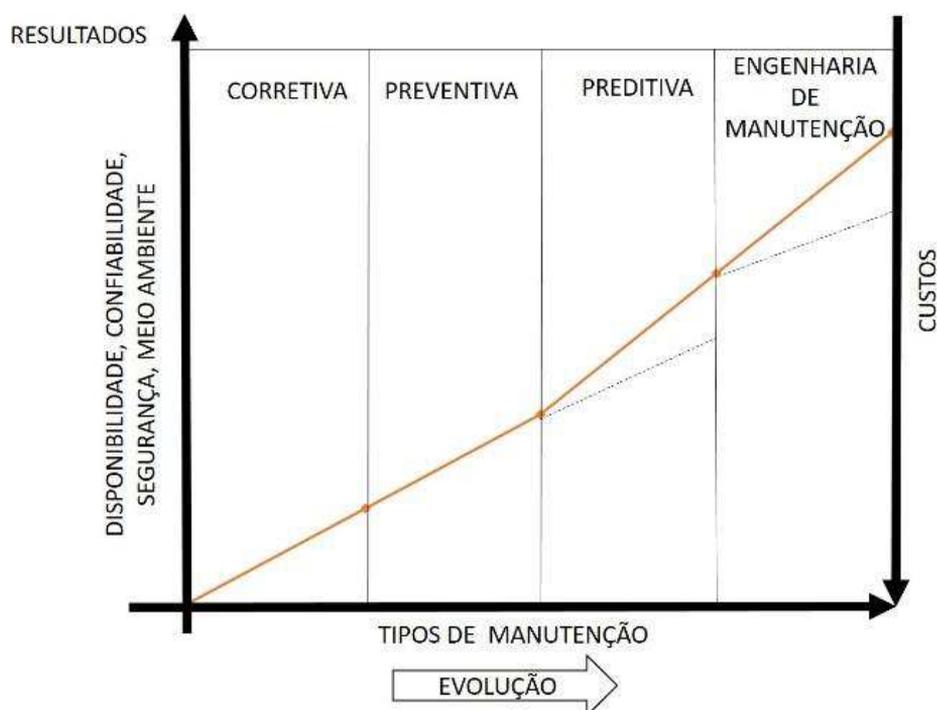


Figura 2-1 Resultado x Tipos de manutenções. (Alan Kardec, 2009)

2.3.1 Manutenção Corretiva

Segundo a Norma NBR 5462 (1994), manutenção Corretiva é “a manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane, destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”. Ou seja, busca realizar manutenção em equipamentos ou sistemas que entraram em falha inesperada ou que apresentem o desempenho menor que o padrão esperado, buscando assim saná-los.

Existem dois tipos de manutenção Corretiva, planejada e não planejada, quanto a manutenção Corretiva planejada pode ocorrer em casos em que equipamentos ou sistemas

apresentem desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento das variáveis operacionais e são realizadas por decisão gerencial.

Já a não planejada é a correção da falha aleatória de um equipamento ou sistema, não havendo tempo para preparação do serviço, esse tipo de manutenção implica em altos custos, pois a quebra inesperada acarreta diretamente na perda de produção e na qualidade final do produto.

2.3.2 Manutenção Preventiva

A manutenção Preventiva busca a prevenção dos equipamentos, tanto em reduzir ou evitar falha ou na queda no desempenho, e esse tipo de manutenção obedece um plano elaborado previamente que são baseados em intervalos definidos de tempo. (KARDEC, 2009).

As vantagens da manutenção Preventiva são o conhecimento prévio das ações, previsibilidade de consumo de materiais e sobresselentes, assim como também visa a substituição, reaperto, lubrificação e outras atividades nos equipamentos, em intervalos de tempo determinados, antecedendo ao tempo até falha. Já a desvantagem é o índice elevado de paradas no equipamento onde, às vezes a substituição das peças é desnecessária.

2.3.3 Manutenção Preditiva

A manutenção Preditiva são tarefas que visam acompanhar a máquina ou as peças por monitoramento, por medições ou por controle estatístico e tentam prever a proximidade da ocorrência da falha, para assim prever a necessidade de intervenção mantenedora evitando a necessidade de desmontagem para intervenção assim como também facilitando utilizar o componente até o máximo de sua vida útil.

Existem várias técnicas Preditivas, bastante usadas nas indústrias nacionais que são Ensaio por ultrassom, análise de vibração mecânica, análise de óleo lubrificante, termografia, entre outras.

Um dos agravantes da manutenção Preditiva é a não execução de seus laudos, pois cabe a decisão gerencial a intervenção ou não, nos equipamentos em que foram detectadas alterações.

2.3.4 Engenharia de Manutenção

Segundo Kardec (2009), a utilização da engenharia de manutenção significa uma mudança cultural. Esta através do suporte técnico de manutenção busca consolidar rotinas e implantar melhorias dentro das indústrias, sendo que as principais atribuições são: Aumentar a confiabilidade, solucionar problemas tecnológicos, aumentar a disponibilidade, melhorar a capacitação do pessoal, melhorar a manutenibilidade, gerir materiais e sobressalentes, aumentar a segurança, participar de novos projetos (interface com a engenharia), eliminar problemas crônicos, dar suporte à execução, solucionar problemas tecnológicos, fazer análise de falhas e estudos, elaborar planos de manutenção e de inspeção e fazer sua análise crítica, aumentar a segurança acompanhar os indicadores e eliminar problemas crônicos.

2.3.5 Engenharia de Confiabilidade

Com o auge da tecnologia, observou-se a necessidade cada vez maior por produtos e sistemas com alto desempenho e baixos custos, assim como a busca por redução na probabilidade de falhas, o que fez com que a procura por confiabilidade se tornasse algo primordial.

Em seu sentido mais amplo, confiabilidade está associada à operação bem-sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebras ou falhas. Em análise de engenharia, todavia, é necessária a definição quantitativa de confiabilidade, em termos de probabilidade (FOGLIATTO, 2011).

Lemmis (1995), afirmou que garantir a confiabilidade de um item equivale à probabilidade deste de desempenhar adequadamente o seu objetivo, durante um período de tempo e sob pré-determinadas condições ambientais.

Confiabilidade também pode ser entendida como a forma de mensurar a probabilidade de um sistema de executar a função para o qual foi projetado dentro de suas especificações de projeto e operação.

De acordo com Salgado (2008), confiabilidade consiste na probabilidade de um sistema desempenhar suas funções de maneira satisfatória ou sem falhas, por um período de tempo determinado e dentro dos limites de desempenho especificados, quando utilizado da maneira e com os objetivos para o qual foi projetado, e operando sob condições ambientais de aplicação e contexto operacional com um certo nível de stress associado.

Conforme verificado, a confiabilidade trata-se inegavelmente da probabilidade, que é definida em função de um período de tempo, assim como o conceito de confiabilidade deve ser associado a um período de tempo ou duração da missão até a falha.

Segundo Fogliatto (2011), o último aspecto da definição de confiabilidade diz respeito à demarcação das condições ambientais de uso do item. Um mesmo produto pode exibir desempenho diferenciado atuando em ambientes de calor ou umidade intenso, se comparado a condições climáticas amenas de uso.

Os conceitos de confiabilidade acima são muito restritivos e utilizam as técnicas de probabilidade e estatística para o cálculo da confiabilidade. "São considerados restritos, pois é necessário determinar o que é falha além de delimitar os fatores causais ou relevantes que proporcionam o seu desenvolvimento ou ocorrência (conhecimento dos mecanismos de falhas)" (SALGADO, 2008).

Fogliatto (2011), afirma sobre a diferença entre qualidade e confiabilidade que se diferenciam na questão que a confiabilidade incorpora a passagem do tempo, enquanto que a

qualidade consiste na descrição estática de um item, porém eles se inter-relacionam no projeto e na manufatura dos produtos e na sua posterior utilização.

Enfim, a engenharia de confiabilidade corresponde a probabilidade de um item desempenhar a sua função adequadamente, o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sobre condições ambientais predeterminadas conforme explicado acima. O autor deixa claro que as probabilidades necessitam ser limitadas para que se possa utilizar os modelos matemáticos para delimitar as variáveis, sendo possível apenas para quem conhece os mecanismos de falhas, assim se faz necessário assumir as condições como fatores ambientais constantes, condições ideais de operação.

2.4 Manutenção Centrada em Confiabilidade

A aviação civil em busca de formas de diminuir consideravelmente ou até mesmo eliminar o número de acidentes na aviação aplicou a metodologia MCC e alcançou melhores resultados.

A MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade) ou RCM (*Reliability-centred Maintenance*) pode ser definida segundo Moubray (1997), como: um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que os seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional presente.

O estudo da MCC busca entender as diversas formas de como um equipamento ou sistema pode vir a falhar, em busca de ações que possam combatê-las. Pode ser considerada como um importante instrumento para tomada de decisão gerencial para diretrizes da política de manutenção (VIANA, 2002).

2.4.1 Histórico da MCC

A confiabilidade aplicada a sistemas técnicos começou a existir a mais de 50 anos. Segundo Knight (1991), o conceito adquiriu um significado tecnológico após o término da Primeira Guerra Mundial, quando foi utilizada para descrever estudos comparativos feitos em aviões com um, dois, ou quatro motores. No final da Segunda Guerra Mundial após os testes feitos durante a guerra com os mísseis o matemático Robert Lusser propôs a lei da probabilidade de um produto com componentes em série, em que estabelecia que a confiabilidade de um sistema em série é igual ao produto das confiabilidades de suas partes componentes. (FOGLIATTO, 2011).

Na década de 1970 os estudos de confiabilidade estiveram focados nas usinas nucleares, nas áreas de construção e operação, a partir de então começou-se a utilizar nas mais diversas áreas. Na engenharia de produção foram aplicados estes conceitos descritos por Rausand & Hoyland (2003), nos ramos a seguir: análise de risco e segurança, qualidade, otimização da manutenção, proteção ambiental e projeto de produtos.

Segundo Siqueira (2014), a Manutenção Centrada na Confiabilidade está associada aos processos tecnológicos e sociais que ocorreram após a Segunda Guerra Mundial. Quanto ao primeiro está relacionado aos estudos da indústria bélica americana, seguidos pela automação industrial que sofreu influências da evolução das telecomunicações e da informática, em relação ao segundo esse movimento resultou na dependência da sociedade contemporâneas em relação aos métodos automáticos de produção, além disso o campo social conseguiu atingir níveis que afetaram o meio ambiente e a segurança física dos seres humanos.

Conforme explicado acima o que importa é que cada geração é caracterizada por um estágio diferente de evolução tecnológica dos meios de produção e pela introdução de novos conceitos e paradigmas nas atividades de manutenção. Além disso, fica evidente que uma das grandes mudanças é o aumento da disponibilidade e confiabilidade o que resulta em uma melhor produção e qualidade dos produtos.

2.4.2 Objetivos do MCC

Segundo Gissoni, (2017), o objetivo geral da MCC é reduzir o custo da manutenção por meio da priorização das funções mais importantes do sistema, e por evitar ou remover as ações de manutenção que não sejam estritamente necessárias.

Conforme Nowlan e Heap (1978), os objetivos específicos da MCC são os seguintes:

- Garantir que seja alcançada os níveis de segurança e confiabilidade inerentes aos equipamentos;
- Restaurar os equipamentos a estes níveis inerentes quando ocorrer deterioração;
- Obter informações necessárias para uma melhoria de projetos destes itens quando suas confiabilidades inerentes provarem ser inadequadas;
- Realizar esses objetivos com o menor custo total possível, incluindo os custos de manutenção, logística e das consequências econômicas de falhas operacionais.

❖ Processo de implementação da MCC

Para que seja aplicado a metodologia MCC é necessário seguir uma série de etapas que segundo (SIQUEIRA, 2014) são sete etapas:

- Seleção e identificação do sistema;
- definição das funções do sistema;
- análise de modos de falhas e efeitos;
- análise e decisão;
- avaliação da aplicabilidade da manutenção;
- avaliação da efetividade da manutenção;
- seleção das atividades e periodicidade das atividades.

2.5 Seleção e identificação do sistema

A identificação dos sistemas é parte essencial da MCC, ela é uma componente da primeira etapa desta metodologia, uma vez que as funções e falhas do sistema serão baseadas no resultado desta etapa Zaions (2003) e Smith (1993), afirmam que os objetivos dessa etapa são: definir limites do sistema, descrevê-los, identificar entradas e saídas, definir o contexto de operação do sistema e documentar processo de identificação.

Para Siqueira (2014), o analista pode utilizar diversas ferramentas que serão necessárias para identificação, documentação e funcionamento dos sistemas, são elas:

- **Formulário de documentação:** é um formulário que apresenta em sua parte superior dados contendo informações do sistema em análise, do analista, da empresa, data, e na parte posterior possui um campo onde destina-se a inserção de informações para análise como: diagramas, gráficos, quadros, textos e etc.
- **Diagrama esquemático:** diagrama mostrando ligações físicas entre os componentes e demais informações de caráter técnico, como esquemas elétricos, diagramas funcionais, esquemas de processo, etc.
- **Diagrama de bloco:** o diagrama de bloco serve para facilitar e completar o diagrama esquemático, ele fornece uma divisão do sistema em bloco ou subsistemas, mostrando o fluxo de entrada e saída, cada um desempenhando um conjunto de funções do sistema, ilustrando a operação, interfaces e interdependências do mesmo, na figura 2-2, Siqueira (2014) representa um exemplo deste diagrama para um motor a explosão ou de combustão interna.

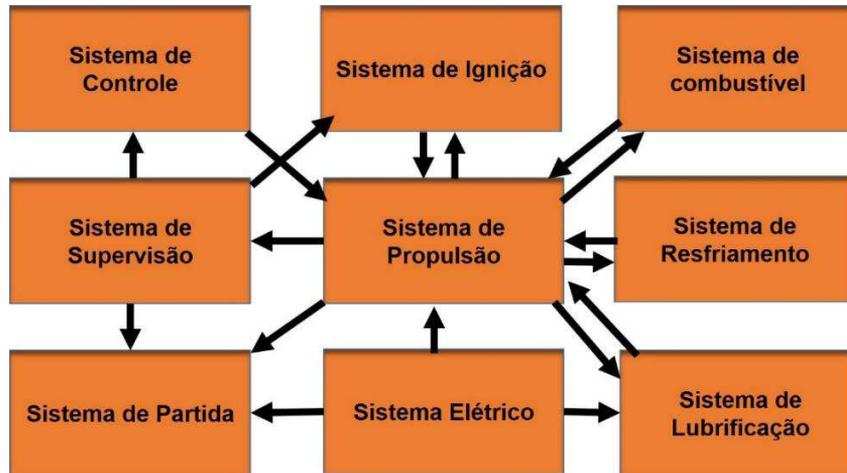


Figura 2-2 Diagrama de blocos de Motor a Explosão (Siqueira, 2014)

- **Diagrama organizacional:** estrutura o sistema de maneira hierárquica, e esta é representada por um diagrama de blocos dividido em níveis progressivamente inferiores como mostrado na figura 2-3, exemplo do livro (SIQUEIRA, 2014).

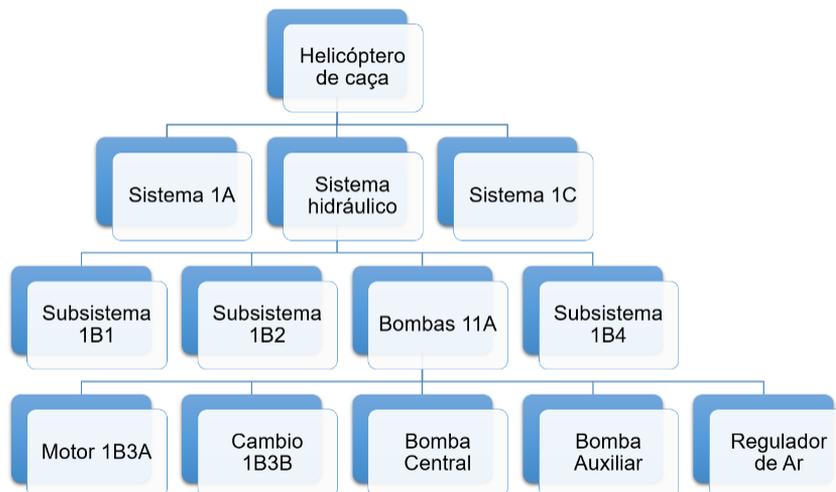


Figura 2-3 Estrutura organizacional de um helicóptero de caça (Siqueira, 2014)

2.6 Definição das funções do sistema

Segundo Moubray (1997), a definição de uma função deve consistir de um verbo e um objeto e o padrão de desempenho desejado, as funções são executadas pelos sistemas que segundo o Dicionário da língua portuguesa Aurélio (FERREIRA, 2010) é “conjunto de

elementos materiais ou ideias entre os quais se possa encontrar ou definir alguma relação” e a identificação dos sistemas é uma das etapas de caracterização das funções. Nos sistemas industriais, esta semelhança é constituída com a finalidade de se atender a uma ou mais funções características dos sistemas.

De acordo com Siqueira (2014), para seleccionar os sistemas deve-se levar em conta a segurança, disponibilidade e economia do processo de acordo com as suas significâncias que serão submetidos a análise MCC. É de extrema importância que os métodos de seleção, os critérios utilizados e os resultados obtidos sejam documentados.

Identificadas às funções do sistema e seus subsistemas, Moubray (1997), sugere dividi-las em duas categorias principais: (I) funções primárias ou principais; e (II) funções secundárias ou auxiliares. Siqueira (2009), ainda destaca a importância de priorizar as funções mediante o seu impacto em: segurança, meio ambiente, fatores econômicos e operação da instalação.

2.7 Análises de modos de falhas e efeitos

Para se compreender melhor a metodologia de análises de falhas precisa-se entender as principais diferenças entre defeito e falha. Segundo Barros (2017), defeito é a ocorrência em componentes da máquina que não impedem seu funcionamento, entretanto, a curto ou longo prazo, podem acarretar sua indisponibilidade, ou seja, é um sintoma que é detectado por ações Preditiva. Já as falhas são o termino da habilidade de um item para desempenhar funções requeridas, necessitando assim de uma intervenção da manutenção Corretiva.

O exercício da análise de falhas tem como principal objetivo corrigir, detectar e antecipar as possíveis falhas em equipamentos. Quando executado de maneira dinâmica consegue-se minimizar a ocorrência de uma falha ocorrida anteriormente, garantindo assim qualidade, confiabilidade e produção.

Algumas ferramentas são utilizadas na investigação e análise das causas raiz dos problemas, como forma de auxiliar na busca de soluções são elas: o Brainstorming, Diagrama de Pareto, Diagrama de Ishikawa, entre outras.

2.7.1 Brainstorming

Segundo Dedini (2015) método sinérgico de "Brainstorming" (Tempestade cerebral de Alex Osborn) é o método de pensamento criativo em grupo mais usado e divulgado, podendo ser aplicado em qualquer fase do desenvolvimento do produto. O termo pretende exprimir a liberação espontânea da imaginação sem restrições ou obstruções ao volume de ideias. O método tem como objetivo estimular um grupo de pessoas a gerar um número muito elevado de ideias, sem nenhuma necessidade de serem plausíveis, para solucionar um problema de projeto (como uma criança sem inibições).

2.7.2 Diagrama de Pareto

O diagrama de Pareto utiliza-se para constituir uma ordenação nas causas de perdas que devem ser resolvidas. O seu foco está em tratar melhor o resultado através da relação ação/benefício, ou seja, através de um gráfico ordena a quantidade de ocorrência das falhas buscando assim a eliminação de perdas.

A construção do gráfico de Pareto também permite de acordo com (BARROS, 2017):

- Dividir o problema grande no grande número de problemas menores e que são mais fáceis de serem resolvidos;
- priorizar projetos;
- estabelecer metas concretas e atingíveis.

Para execução de Pareto algumas etapas precisam ser seguidas:

1. Identificar o problema;
2. Estratificar o problema;
3. Coletar dados;
4. Priorizar de acordo com o diagrama de Pareto;

5. Atribuir responsabilidades de acordo com as soluções dos problemas;

Alguns objetivos básicos da manutenção são: a prevenção ou eliminação das falhas. Para Smith e Hinchcliffe (2004), as falhas dos componentes possuem potencial para derrubar o primeiro objetivo da MCC “preservar a função do sistema”.

Smith e Hinchcliffe (2004), ainda definem que para prevenir, reduzir ou detectar o início da perda da função o foco da análise está na perda da função e não na perda do equipamento;

2.7.3 FTA (Failure Tree Analysis)

A FTA consiste na identificação das possíveis causas ou modo defeituosos que provocam um efeito indesejado provocado por problemas no estudo analisado (FLORENCE e CALIL , 2005).

A análise de árvore de falhas foi inicialmente aplicada na verificação de projetos de aeronaves. Ele é aplicado em projeto e em revisão de produtos, mas hoje em dia ele também é utilizado em análise de processos.

Segundo Fogliatto (2011), uma árvore de falha é um diagrama lógico que representa as combinações de falhas entre os componentes que acarretam um tipo de falha global. Ela também pode ser considerada uma técnica analítica que especifica as condições que acarretam em um estado indesejado do sistema (evento de topo). Ela exige que se desenvolva um modelo que são especificadas as dependências entre os componentes do sistema, ela permite que sejam calculadas as probabilidades de ocorrência do evento de topo (desgaste) que forem analisados.

Para se fazer uma análise de árvores de falhas deve-se seguir a ordem de fazer o diagrama de árvore de falha, reunir dados básicos de falhas, calcular probabilidades, determinar a criticidade, formular ações Corretivas e recomendações.

2.7.4 FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*)

O FMEA é uma metodologia de análise de modos e efeitos de falhas que tem como objetivo reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo, além de identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas e documentar o estudo criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo como afirmou (FOGLIATTO, 2011).

De acordo com Kardec (2009), ele explica que há três níveis do FMEA que são eles de projeto, processo e sistema. O FMEA de projeto consiste em fazer a análise das possíveis falhas durante a modelagem dos sistemas, o de processo busca analisar como o equipamento é mantido em operação e o de sistema busca as falhas potenciais e oportunidades em uma linha de produção.

Segundo Jaques, Silva, Kato, Domingues, & Duclós (2010), a FMEA é uma técnica de avaliação sistemática dos efeitos do modo de falha de um produto e a identificação destas. Com a FMEA pode-se chegar no FMECA – *Álise Crítica de Modos de Falhas e Efeitos*, através da análise da severidade dos efeitos e também das probabilidade de ocorrência de falhas.

Primeiramente a FMEA é aplicada de maneira qualitativa, isso ocorre quando se determina o sistema, as funções, os componentes, os modos de falhas e seus efeitos.

Segundo Fernandes (2005), o FMEA passa por algumas etapas e elas seguem uma sequência lógica e sistemática que avaliam as formas possíveis pelas quais os sistemas ou processos estão expostos as falhas, e estes passos são:

a) Identificar modos de falhas conhecidos e potenciais: Nesta fase serão descritas todos as funções do sistema, produto, componente, serviço ou processo em questão, que podem ser tanto requisitos como características. Considerando que cada função pode falhar quando for solicitada, os modos de falhas que podem vir a existir durante a execução da função desejada, estes podem ser identificados utilizando-se a ferramenta do *Brainstorming*.

b) Identificar os efeitos de cada modo de falha e sua severidade: Após a aplicação do *Brainstorming* para definição dos modos de falhas para as funções são definidos os efeitos resultantes das falhas para o sistema. Em seguida cada modo de falha deve ser classificado quanto a severidade dos efeitos que trarão como consequência para o sistema.

A severidade é determinada utilizando a quadro 2-2, que leva em consideração o resultado final do efeito potencial das falhas de cada item do equipamento. Em que encontram-se a divisão entre efeito do cliente externo e efeito na manufatura, sendo necessário a identificação dos critérios analisando a quadro 2-2.

Quadro 2-2 Matriz de severidade do FMEA (AIAG, 2008).

Severidade	Critério		Índice
	Efeitos para os clientes	Efeito para manufatura	
Perigoso sem avisos	Quando um efeito do modo de falha em potencial de um sistema de segurança opera sem avisos (compromete a segurança) e/ou envolve o não cumprimento de regulamentação do governo.	Pode colocar o operador em risco sem avisos.	10
Perigoso com aviso	Quando um efeito do modo de falha em potencial de um sistema de segurança opera sem avisos (compromete a segurança) e/ou envolve o não cumprimento de regulamentação do governo.	Pode colocar o operador em risco com avisos.	9
Muito alta	Sistema inoperável (parada da função primária)	100% do produto possivelmente deverá ser jogado fora, ou reparado no departamento com um tempo maior que 1 hora.	8
Alta	Sistema operável, porém em um nível de performance reduzido.	O produto deverá ser desmontado e classificado e uma porção dele jogada fora ou produto deverá ser reparado no departamento com um tempo entre 0,5 e 1 hora.	7

Moderada	Sistema operável, porém, com itens de conforto/conveniência inoperáveis. Cliente insatisfeito.	Uma porção do produto deverá ser jogada fora sem necessidade de desmontá-lo e classificá-lo ou produto deverá ser reparado no departamento com um tempo menos de 0,5 hora.	6
Baixa	Sistema operável, porém, com itens de conforto/conveniência operáveis em um nível reduzido de performance. Cliente um pouco insatisfeito.	100% do produto deverá ser retrabalhado ou o produto deverá ser reparado fora da linha de produção, mas não precisa ir para o departamento de reparos.	5
Muito baixa	Sistema produz barulhos e chiados; encaixes não estão de acordo. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais que 75%).	Um produto deverá ser remontado e classificado em uma porção dele deverá ser retrabalhado.	4
Mínima	Sistema produz barulhos e chiados; encaixes não estão de acordo. Defeito notado pela metade dos clientes.	Uma porção do produto deverá ser retrabalhada dentro de linha, mas fora da estação.	3
Quase nula	Sistema produz barulhos e chiados; encaixes não estão de acordo. Defeito notado por poucos clientes.	Uma porção do produto deverá ser retrabalhada dentro de linha, mas dentro da estação.	2
Nula	Nenhum defeito	Nenhum efeito ou pequenos inconvenientes para o operador.	1

c) Identificar as causas possíveis para cada modo de falha e a probabilidade de ocorrência de falhas relacionadas a cada causa

Empregando-se histórico do sistema, produto, processo, consultoria do fabricante, manuais ou serviços semelhantes e conhecimentos técnicos da equipe com aplicação do *Brainstorming* são definidas todas as causas que podem ser tanto reais quanto potenciais para cada modo de falha existente.

Após as definições das causas são descritos os meios de prevenção atuais que atuam na redução da probabilidade de ocorrência dessa falha. A matriz de probabilidade determina as ocorrências pelas frequências de falhas do sistema em estudo, levando em consideração seu histórico, levantamentos de dados, conhecimentos prévios dos operadores e dados estatísticos. O índice de ocorrência é determinado com base na quadro 2-3.

Quadro 2-3 Matriz de probabilidade de ocorrência. (AIAG, 2008).

Probabilidade	Probabilidade de falha	Índice
Muito alta: a falha é quase inevitável	1 em 10	10
Alta: muitas falhas	1 em 20	9
	1 em 50	8
	1 em 100	7
Moderada: falhas ocasionais	1 em 500	6
	1 em 2.000	5
	1 em 10.000	4
Baixa: poucas falhas	1 em 100.000	3
	1 em 1.000.000	2
Remota: a falha é improvável de ocorrer	Falhas eliminadas através de controles preventivos (Poka-Yokes)	1

d) Identificar o modo de controle de detecção no caso da ocorrência do modo de falha e sua respectiva probabilidade de detecção

A detecção é a forma de se eleger o índice que determinará a capacidade de identificar o modo de falha, ou seja, definir a forma de se detectar a falha após sua ocorrência. Dessa forma os controles de detecção são a descrição da forma de verificação e identificação das eventuais falhas.

Em seguida, as descrições do meio de detecção são classificadas de acordo com os critérios da quadro 2-4.

Quadro 2-4 Matriz de detecção de falhas para o FMEA (Moura, 2000)

Detecção	Critério (Probabilidade de Detecção pelo Controle de Projeto/Processo)	Índice de Detecção
Quase Impossível	Não é conhecido controle disponível para detectar o modo de falha.	10

Muito remota	Probabilidade muito remota de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	9
Remota	Probabilidade remota de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	8
Muito baixa	Probabilidade muito baixa de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	7
Baixa	Probabilidade baixa de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	6
Moderada	Possibilidade moderada que o Controle de Projeto irá detectar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	5
Moderadamente alta	Probabilidade moderadamente alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	4
Alta	Probabilidade alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	3
Muito alta	Probabilidade muito alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	2
Quase certamente	Controle atual quase certamente irá detectar o modo de falha. A confiança nos controles de detecção é conhecida em processos similares.	1

e) Avaliar o potencial de risco de cada modo de falha e definir medidas de eliminação ou redução do risco de falha.

Posteriormente é realizado uma análise quantitativa para estabelecer a probabilidade de falhas ou confiabilidade do sistema através do cálculo do NPR (Número de Prioridade de Risco) que é obtido pela mutiplicação dos valores definidos para os critérios de severidade, ocorrência e detecção.

$$\mathbf{NPR = severidade \times ocorrencia \times detecção} \quad \text{Eq. (01)}$$

Não existe um critério para se eleger o Grau de Risco (GR), assim fica a critério da necessidade de cada sistema a ser definido o GR, que pode ser elevado (quando gerar impacto alto no sistema necessitando de ação imediata), moderado (quando os impactos são controlados e as ações podem ser programadas, mas necessário executá-las assim que possível) e baixo (não gera impactos significativos ao sistema, porém podem ser tomadas ações de melhorias sem caracter de urgência).

Logo após se priorizar os riscos, ações para a diminuição ou eliminação dos riscos devem ser definidas, em que a prioridade das ações deve ser dada para as que forem classificadas com o (GR) elevado.

Na figura 2-4 observa-se um exemplo de formulário do FMEA

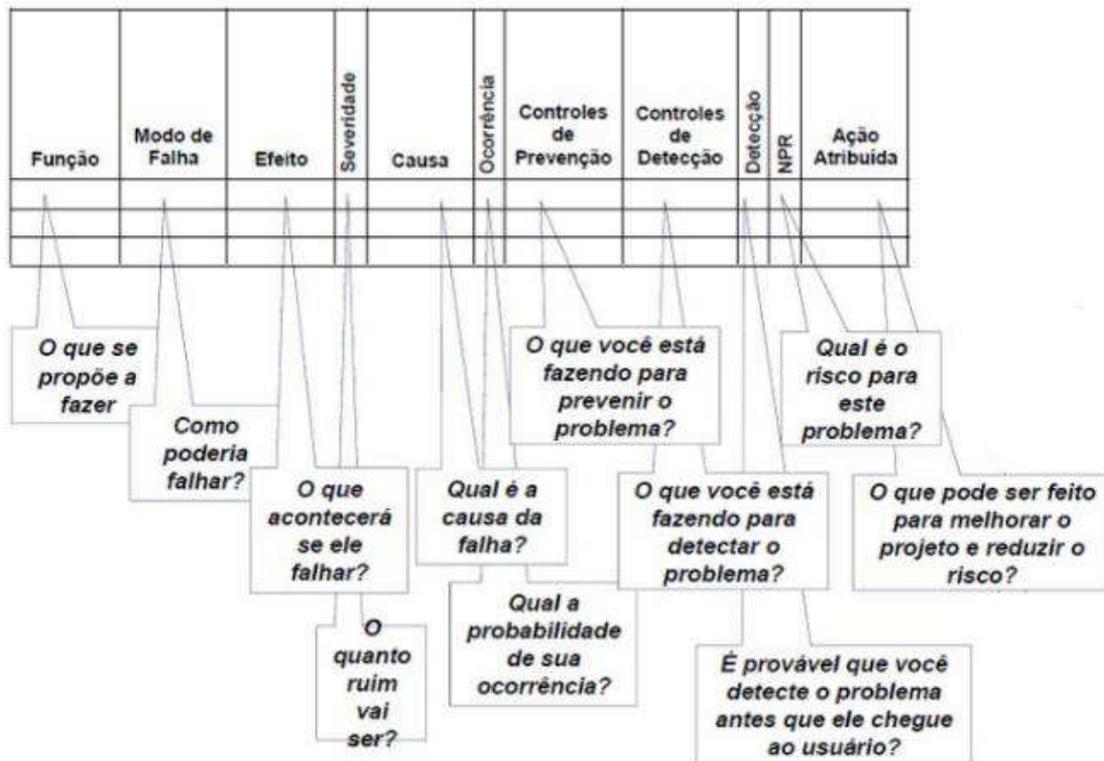


Figura 2-4 Exemplo de formulário do FMEA (Dias, 2016)

2.8 Análise e decisão

Esta fase ocorre após a determinação dos efeitos de cada falha, como parte da análise de modos e feitos de falhas do (FMEA). Tendo como objetivo eleger as atividades de manutenção Preventivas e Corretivas com apoio em sua aplicabilidade e eficácia, através da sua capacidade de reduzir, eliminar, prevenir ou detectar uma falha conciliada a uma análise de viabilidade econômica e técnica da mesma.

2.8.1 Consequências das falhas

Backlund (2003) afirma que a consequência de uma falha, é o choque ocasionado no processo devido a sua ocorrência. Zaions (2003) complementa essa afirmação, observando que cada modo de falha impacta de forma diferenciada no processo, podendo afetar a produção, qualidade, segurança, ambiente, custo, tornando evidente a análise das consequências dos modos de falha em função da sua natureza e a gravidade.

A análise das consequências das falhas deve ser realizada no MCC em decorrência pelos impactos dos efeitos dos modos de falha Siqueira (2014): segurança física; meio ambiente; operação do sistema e economia do processo.

2.8.2 Funções significantes / Lógica de decisão

As funções significantes servem para selecionar as funções cujas as falhas serão submetidas as etapas posteriores da MCC que definirá a atividade de manutenção.

A função é significante quando a falha funcional provocar um efeito no sistema principal tendo como consequência a segurança, o meio ambiente, operação e economia.

Outros fatores relevantes em uma função seriam se sua falha funcional é evidente durante processo de operação do equipamento, ou se já existe uma atividade de manutenção Preventiva para a mesma (SMITH, 1993). Uma sugestão de fluxo de seleção de funções é apresentada na figura 2-5.

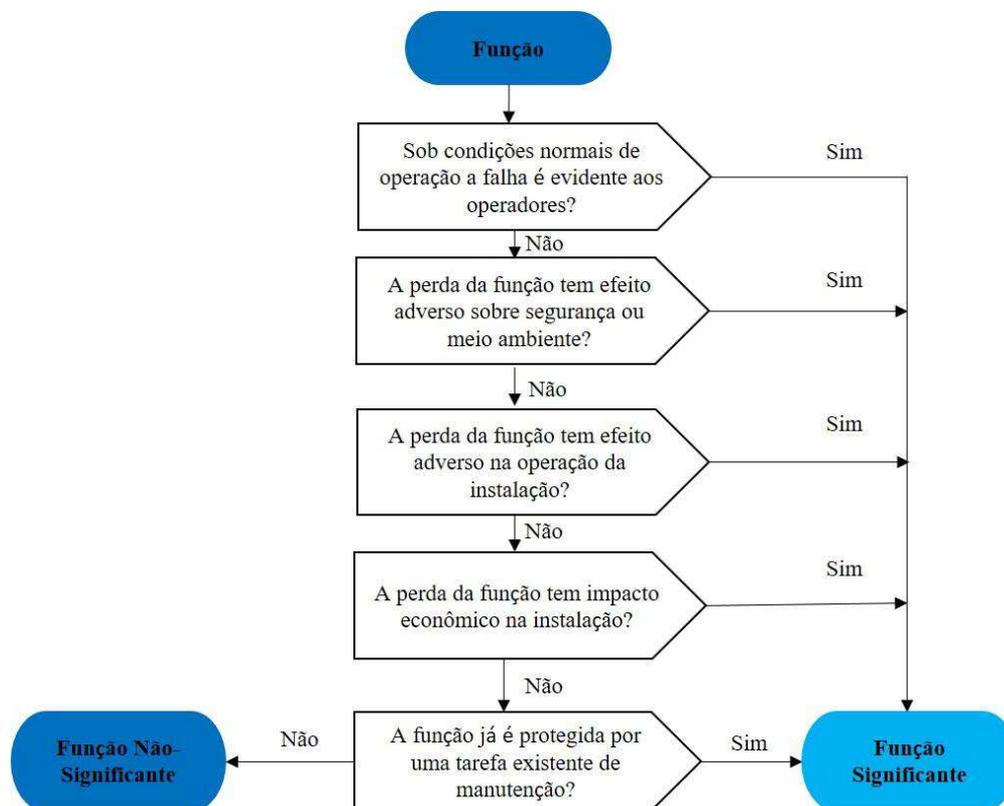


Figura 2-5 Fluxo de decisão das funções significantes adaptado de (Siqueira, 2014).

Na sequência do fluxo será considerado como função significativa se a falha atingir a operação, o meio ambiente, a segurança física ou economia do processo, ou a existência de alguma atividade de manutenção Preventiva, que visa garantir a revisão dos planos atuais de manutenção a fim de que sejam reavaliadas as atividades críticas com base nos aspectos priorizados pela MCC.

As consequências das falhas segundo Siqueira (2014) seguem os critérios de seleção que são a Segurança, Meio ambiente, Operação, Economia. Em que os impactos de segurança para Papic e Aronov (2009), é considerado quando um modo de falha causa durante a operação do sistema riscos potenciais para causar lesões ou ameaçar a vida do usuário do sistema em análise. Siqueira (2014) considera que as séries como ISO 9000 e ISO 4000 exigem que as organizações façam tudo que seja prudente para garantir a segurança e preservação ambiental.

Os impactos econômicos e operacionais segundo Kardec e Nascif (2009), são classificados como àqueles que afetam a capacidade de produção do sistema, diminuem a eficiência do processo, a qualidade do produto, geram insatisfação do cliente, e influenciam nos

custos de produção e manutenção. Siqueira (2014) lembra também que mesmo as organizações sem fim de produção como as militares, assistenciais e religiosas, as consequências podem ser medidas por variável econômica, como o custo.

2.8.3 Lógica de decisão

Após a definição das funções significantes se faz necessário aplicar a lógica de decisão a partir do fluxo de decisão com base em perguntas sobre a falha funcional e os modos de falhas associados a ela. Isso auxiliará para determinar a necessidade e a periodicidade das medidas Preventivas e outras tarefas de manutenção (NAVSEA, 2007; NASA, 2004).

É comum o processo de decisão do MCC ocorre em três níveis, conforme ilustra a figura 2-6 (LEVERETTE, 2006):

- Avalia cada modo de falha de acordo com a visibilidade dos seus efeitos produzidos durante processo de operação do sistema;
- avaliação das consequências das falhas sobre: segurança, meio ambiente, operação e custos;
- avaliação da causa da falha para seleção de tarefas de manutenção aplicáveis e efetivas.

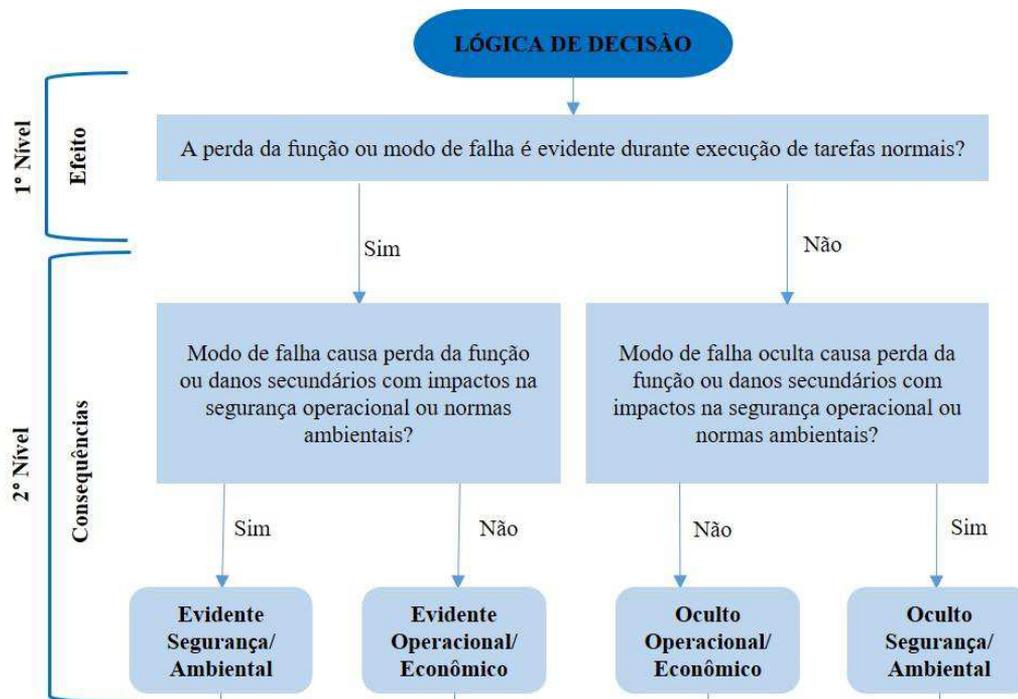


Figura 2-6 Lógica de decisão (adaptado de Leverette J. C. , 2006)

Após as análises seus resultados devem ser apresentados na quadro 2-5 preenchida auxiliando na sequência de implementação, formando um histórico do sistema e para futuras auditorias (NAVAIR, 2005).

Quadro 2-5: Quadro de documentação de consequências (Autor, 2018)

FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHAS (O QUE ESTA ERRADO?)	CAUSA DA FALHA (PORQUE ESTÁ ERRADO?)	CONSEQUENCIA DA FALHA				
				DESCRIÇÃO	H	S	E	O

O corpo da quadro é utilizado na documentação do registro das consequências, com os campos para:

- Referência da informação – contêm o sistema, o equipamento, o componente do equipamento, descrição das funções do sistema, falhas funcionais para cada função e os modos de falha de cada falha funcional e suas causas;
- descrição da consequência – descrição detalhada do efeito do modo da falha e sua consequência no sistema e processo;

- avaliação da consequência – informa, através de SIM ou NÃO, se a consequência da falha é oculta (H), qual a natureza do seu impacto, segundo critérios de segurança (S), meio ambiente (E), operacionais (O) e econômicos (N).

2.9 Aplicabilidade da manutenção

A aplicabilidade da manutenção é de extrema importância, pois ele define os processos lógicos que são utilizados para determinar as ações que podem ser tomadas para prevenir ou corrigir os modos de falhas.

De acordo com Siqueira (2014), uma atividade de manutenção, para ser aplicável, segundo a MCC deve garantir os seguintes objetivos:

- Descobrir falhas ocultas;
- detectar a evolução de falhas;
- prevenir modos de falhas;
- reduzir a taxa de deterioração;
- reparar o item após as falhas;
- suprir necessidades e consumíveis do processo.

Do ponto de vista técnico será sempre preferível uma atividade que venha prevenir a ocorrência do modo de falha. No entanto ela nem sempre é possível devido alguns fatores encontrados na indústria, como por exemplo, redução de custos. Visando essa redução econômica, geralmente procura-se minimizar a taxa de deterioração dos modos de falhas, ou redução da taxa de falha.

As atividades podem ser classificadas segundo Siqueira (2014), em programadas e não programadas:

A atividades programadas podem ser:

- **As atividades direcionadas por tempo**, que tem como principal objetivo a prevenção ou prorrogação da falha, acontecem em ciclos com periodicidade pré-definida e são adequados para modos de falhas com desgaste progressivo ou vida útil previsível;
- **as atividades direcionadas por condição** são atividades que são previstas geralmente pela Preditiva, estas são indicadas para modos de falhas evolutivos e observáveis, em que é possível fazer o acompanhamento evolutivo da falha;
- **as atividades direcionadas por falhas** sua meta é descobrir ocorrência de falhas ocultas, buscando evidenciar sua existência e prevenir seu progresso para falhas múltiplas;
- **atividades orientadas pela operação** que tem como interesse preservar o ambiente de instalação, assim como atribuir as atividades mais básicas para a excursão pela operação como atividades de lubrificação, limpeza, e suprimento de matéria prima, entre outros.

As atividades não-programadas podem ser classificadas em:

- **Atividades de correção de defeitos** são detectadas pela manutenção programada, por análise de dados e desempenho operacional ou pela equipe de operação, propõe-se a sanar o defeito antes que a falha seja catastrófica;
- **as atividades de correção de falhas** são as ações Corretivas que são realizadas após a ocorrência da falha através do reparo, substituição ou restauração.

2.9.1 Denominação das atividades

O manual de Siqueira (2014), classifica e padroniza as atividades, assim como também Moubrey (1997), que as seleciona as seguintes atividades de manutenção em: (I) Inspeção Preditiva; (II) Restauração Preventiva; (III) Substituição Preventiva; (IV) Detecção da falha; (V) Reparo funcional.

2.9.1.1 Inspeção Preditiva

Segundo Smith (1993), classifica como inspeção Preditiva toda tarefa de inspeção programada, realizada de forma não intrusiva, que detecta uma condição de falha através da correlação de um parâmetro mensurável com o início desta condição. Neste momento é especificado um valor crítico para realizar uma ação de manutenção antes de sua evolução para falha funcional.

2.9.1.2 Reparação Preventiva

A reparação Preventiva consiste em corrigir um item de forma programada seja por análise de fim de vida útil, ou por tempo de reparação para assim prevenir a o modo de falha catastrófico. Como bem afirma Moubray (1997), as ações de reparo alinham-se para um modo de falha previsível, nos quais utilizam-se técnicas de: alinhamento, balanceamento, filtragem, lubrificação, limpeza, desmagnetização, etc.

2.9.1.3 Substituição Preventiva

Ocorre em equipamentos que possuem vida útil definida, onde a substituição garantirá a condição original de suas funções, deve cumprir exigências de segurança, além de garantir que a substituição tenha um menor custo em relação à reparação.

2.9.1.4 Detecção de falhas ou inspeção funcional

Essa atividade busca identificar falhas funcionais ocultas, ou seja, falhas que não sejam visuais para a equipe de operação, a fim de evitar falhas múltiplas (SMITH, 1993).

Para que seja possível realizar a detecção de falhas tem-se como critério de aplicabilidade a tarefa deve ser capaz de revelar falhas latentes, a falha não ser relevada na operação normal do equipamento, além de só aparecer após a ocorrência de outra falha ou evento e ser possível exercitar o funcionamento do item sem destruí-lo (SIQUEIRA, 2014).

Quando há impossibilidade de aplicação das ações Preventivas de forma eficaz, sejam por detalhes tecnológicos, questões econômicas, fatores técnicos ou dificuldades do projeto, o MCC recomenda a identificação de “atividades *default*” como solução da análise, sugerindo uma mudança de projeto, para modos de falha com impactos ambientais e de segurança, ou um reparo funcional, para modos de falha menos significantes (SMITH, 1993).

2.9.1.5 Atividades *Default*

Consiste em atividades em que as ações Preventivas não forem aplicáveis ou efetivas para prevenir a falha funcional. (SIQUEIRA, 2014).

Para a MCC tem-se duas atividades a mudança de projeto, que consiste em atividades que alteram as especificações funcionais do item, seja ela construtiva ou operacional e o reparo funcional, corresponde à decisão de permitir a operação do sistema, sem nenhuma tarefa de manutenção, até a ocorrência da falha (*Run-to-Failure*), devido à inaplicabilidade de outros métodos de manutenção ou decisão econômica (KOBACZY e MURTHY, 2008).

Segundo Siqueira (2014), tem-se como critérios de aplicabilidade da mudança de projeto a um modo de falha:

- Inviabilidade técnica de uma atividade Preventiva de inspeção, reparo ou substituição ou econômica.
- Alta prioridade do equipamento;
- Existência de impactos de segurança;
- Análise de custos/benefícios favoráveis;

- Falta de recurso técnico para restauração ou substituição Preventiva.

Os seguintes critérios definem a aplicabilidade de uma Tarefa *Default* de reparo funcional (*Run-To-Failure*) a um modo de falha:

- Inviabilidade técnica de uma atividade Preventiva de inspeção, reparo ou substituição ou econômica.
- Baixa prioridade do equipamento;
- Inexistência de impactos de segurança;
- Análise de custo/benefício favorável;

O reparo funcional difere-se da manutenção Corretiva que é realizada após inspeções Preditivas e restaurações Preventivas, pois ela permite que ocorra a falha funcional, enquanto que as demais são programadas logo após a falha potencial, mas antes da falha funcional.

2.10 Efetividade da manutenção

A efetividade de uma tarefa de manutenção pode ser definida com a avaliação da eficácia do seu resultado e a viabilidade de sua aplicação, considerando os recursos econômicos disponíveis e necessários com base nos seguintes critérios de acordo com (KOBACZY e MURTHY, 2008):

- Aplicabilidade técnica e viabilidade da tarefa
- O uso e custos dos recursos físicos necessários
- Indisponibilidade da operação durante aplicação da tarefa;
- Eficácia do resultado;
- Intervalo de execução.

Para Siqueira (2014), os resultados esperados dependem dos impactos das falhas. Quando estes causam impactos ambientais ou na segurança física só terá uma solução aceitável com a redução na probabilidade de falha. Sob outra perspectiva para uma falha com impacto econômico ou operacional, o critério de efetividade será o fator econômico, ou melhor, o resultado almejado nos custos, na produção, ou na receita, entre outros, com a execução da tarefa deverá ser melhor

que o prejuízo da falha evitada. Pode-se observar de forma resumida na quadro 3-6 os critérios de aplicabilidade e efetividade.

2.11 Seleção de atividades e periodicidade das atividades

A seleção de atividades de manutenção para um determinado modo de falha, segundo o MCC estrutura-se de tal forma que busca maximizar os resultados econômicos e operacionais, submetido as limitações de segurança e proteção do meio ambiente. (SIQUEIRA, 2014).

A decisão por uma atividade de manutenção segundo Bloom (2006), deve-se fundamentar na sua aplicabilidade e efetividade, de tal maneira que se apliquem tanto na redução quanto na eliminação da falha do objeto em análise, levando em consideração os critérios econômicos e operacionais adequados, além da segurança.

Com base nos critérios de aplicabilidade e efetividade da quadro 2-7, Moubray (1997), sugere a seguinte ordem de prioridade na seleção entre as atividades de manutenção: inspeção Preditiva; restauração Preventiva; substituição Preventiva; detecção da falha; atividades *Default*.

Zaion (2003), observa a utilização de um diagrama de decisão figura 2-7, com base na avaliação da evidência e consequência da falha e na análise lógica das atividades, como pode-se observar na quadro 2-6 que mostra um fluxo de decisão que utiliza-se para a seleção das atividades de manutenção.

O fluxo de decisão é composto por várias perguntas, que é conduzido por uma pessoa responsável (analista), a medida que ele vai dando as respostas para as perguntas, será direcionado a seleção de uma atividade de manutenção.

O resultado deste processo de decisão deverão ser documentados em um formulário para referência que irá conter como mostrado na quadro 2-6 as respostas do diagrama de decisão, descrição das atividades com informações técnicas, periodicidade e o responsável pela atividade.

Quadro 2-6 Formulário de análise decisional (Moubray , 1997)

		SISTEMA													
		SUBSISTEMA													
Referência Informação			Avaliação de consequencias				H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	Ação <i>Default</i>			Tarefa Proposta	Frequencia inicial	Responsável
F	FF	FM	H	S	E	O				H4	H5	S4			

Quadro 2-7 Aplicabilidade e Efetividade da Manutenção (Baran, 2011):

Tarefa	Aplicabilidade	Efetividade		
		Segurança	Operacional	Econômico
Serviço Operacional	Deve reduzir a taxa de deterioração funcional	Reduzir o risco de falha	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Possuir custo reduzido
Detecção de Falhas	Possibilidade de identificar falhas e defeitos ocultos em operação	Detectar falhas ocultas reduzindo risco de falhas múltiplas	Geralmente não recomendado. Tarefa deve detectar falhas ocultas e possuir custo reduzido	Detectar falhas ocultas evitando efeitos econômicos e possuir custo reduzido
Inspeção Preditiva	Possibilidade de identificar falhas e defeitos ocultos em operação defeitos por teste ou inspeção. Intervalo PF adequado.	Reduzir probabilidade ou risco de falha garantindo uma operação segura	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Tarefa deve possuir custo menor que o da falha evitada.
Reparo Preventivo	O item apresenta uma idade definida (de preferência um visível) no qual há um aumento da probabilidade condicional do modo de falha em consideração, sendo que a restauração previne a ocorrência do modo de falha a um nível aceitável para o usuário do sistema	Reduzir probabilidade ou risco de falha garantindo uma operação segura	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Tarefa deve possuir custo menor que o da falha evitada.
Substituição Preventiva	O item apresenta uma idade definida (de preferência um visível) no qual há um aumento da probabilidade condicional do modo de falha em consideração e o reparo preventivo não é viável (razões de segurança, técnicas, econômicas)	Reduzir probabilidade ou risco de falha garantindo uma operação segura	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Tarefa deve possuir custo menor que o da falha evitada.
Combinação das técnicas	Nenhuma atividade anterior consegue identificar ou corrigir a falha de maneira isolada, sendo necessária uma combinação de tarefas.	Reduzir probabilidade ou risco de falha garantindo uma operação segura	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Tarefa deve possuir custo menor que o da falha evitada.
Reprojeto	Nenhuma atividade anterior consegue identificar ou corrigir a falha de maneira isolada.	Reduzir probabilidade ou risco de falha garantindo uma operação segura.	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Combinação de tarefas possui custo superior ao da falha

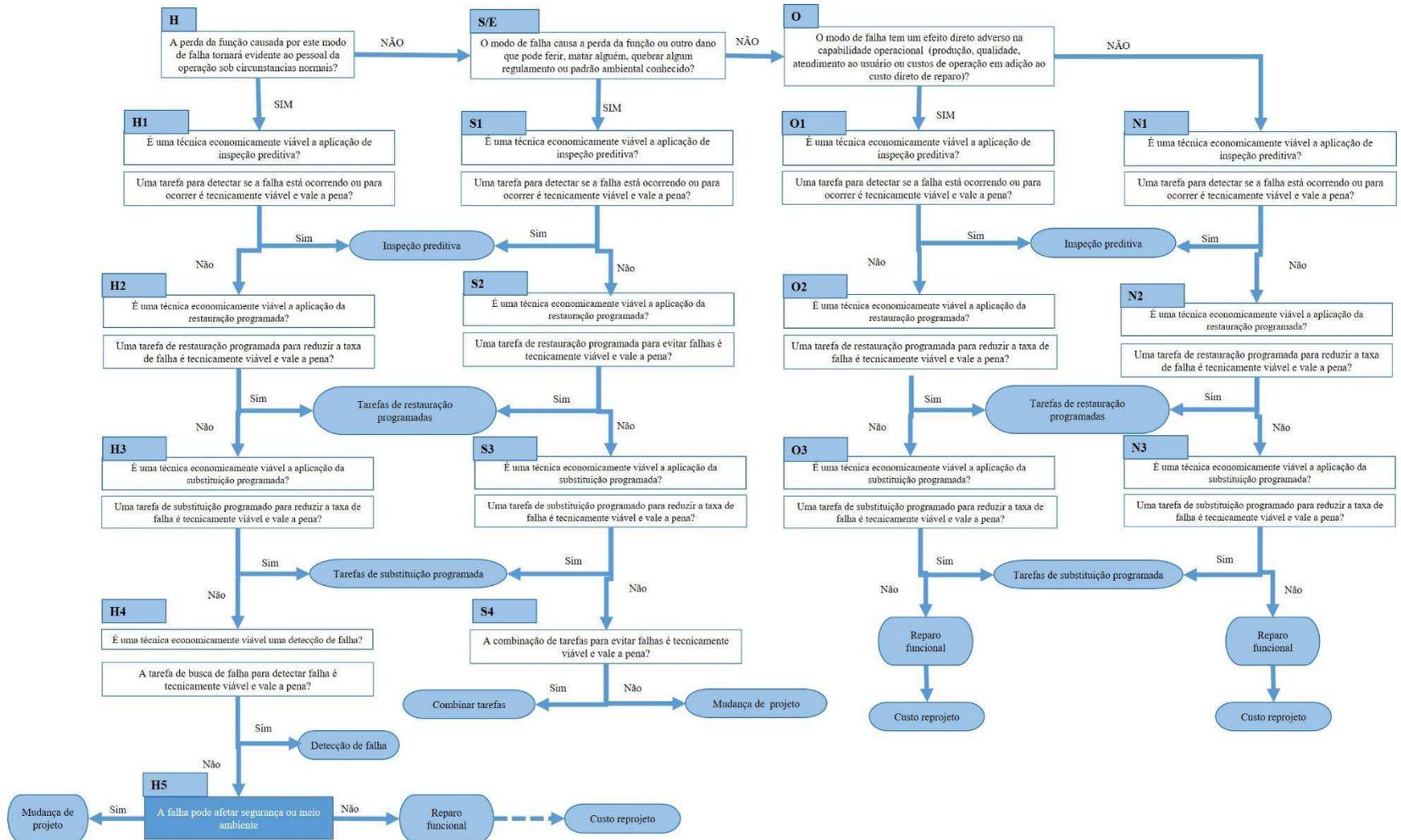


Figura 2-7 Diagrama decisional adaptado de (Moubray ,1997)

3 METODOLOGIA

Para um melhor tratamento dos objetivos e melhor apreciação desta pesquisa, observou-se que ela é classificada como pesquisa exploratória e descritiva. Detectou-se também a necessidade da pesquisa bibliográfica no momento em que se fez uso de materiais já elaborados: livros, artigos científicos, revistas e documentos eletrônicos na busca e alocação de conhecimento sobre a Manutenção Centrada na Confiabilidade para aplicação destes conceitos no conjunto de agitação dos precipitadores, correlacionando tal conhecimento com abordagens já trabalhadas por outros autores.

A pesquisa assume como estudo de caso, sendo exploratória, por sua vez, proporcionar maior familiaridade com o problema, tornando-o explícito ou construindo hipóteses sobre ele através de principalmente do levantamento bibliográfico. Por ser um tipo de pesquisa muito específica, quase sempre ela assume a forma de um estudo de caso (GIL, 2008) e descritiva por expor as características de um determinado conjunto, demandando técnicas padronizadas de coleta de dados do sistema, como disponibilidade e custos do conjunto de agitação.

Como procedimentos, pode-se citar a necessidade de pesquisa Bibliográfica, isso porque será feito o uso de material já publicado, constituído principalmente de livros, também se entende como um procedimento importante o estudo de caso como procedimento técnico. Têm-se como base para o resultado da pesquisa um caso em específico que poderá ser expandido futuramente.

A abordagem do tratamento da coleta de dados do estudo de caso será qualitativa, pois busca fonte direta para coleta de dados, interpretação de fenômenos e atribuição de significados.

A metodologia utilizada foi a aplicação do MCC que fornece um enquadramento estruturado que permite analisar as funções e potenciais falhas dos ativos físicos de forma a desenvolver um planejamento de manutenção que conduza a um nível de operação e um nível de risco aceitável, de uma forma eficiente e rentável. Para se implementar a estratégia de manutenção MCC é fundamental aplicar a técnica do FMEA. Esta metodologia compreende a

definição clara e explícita de todas as falhas funcionais associadas aos componentes e acessórios do equipamento delimitado para análise.

A figura 3-1 ilustra as etapas do processo de implementação do MCC para este trabalho, que vão desde o projeto que consiste na seleção do sistema que nesta fase engloba a definição do escopo e dos objetivos, o desenvolvimento do embasamento teórico a definição da equipe de análise e a coleta de informações que ajudarão no desenvolvimento dos diagramas funcionais e esquemas teóricos para a identificação das fronteiras e identidades, que englobam os parâmetros de criticidade, a análise de criticidade dos sistemas e dos componentes para assim ser definidos as funções e as falhas do sistema.

Com a definição das funções têm-se a identificação das falhas funcionais e então têm-se a análise dos modos de falhas e efeitos para que seja definido uma análise das consequências que engloba a definição do NPR que envolve a severidade, a ocorrência e a detecção dos modos de falhas assim define-se a criticidade dos modos de falhas para que sejam assim avaliados posteriormente.

Durante a seleção das atividades de manutenção tem-se a definição dos critérios de aplicabilidade e efetividade que consiste na definição se as atividades serão programadas ou default até que sejam analisados através de diagramas e esquemas decisoriais para que seja aplicado a lógica de decisão para assim fazer-se a definição das atividades e seus planos de manutenção.

Em cada etapa são usadas ferramentas de modelagem ou análise de sistemas destinadas a responder e documentar as respostas do MCC como pode-se observar na figura 3.1:

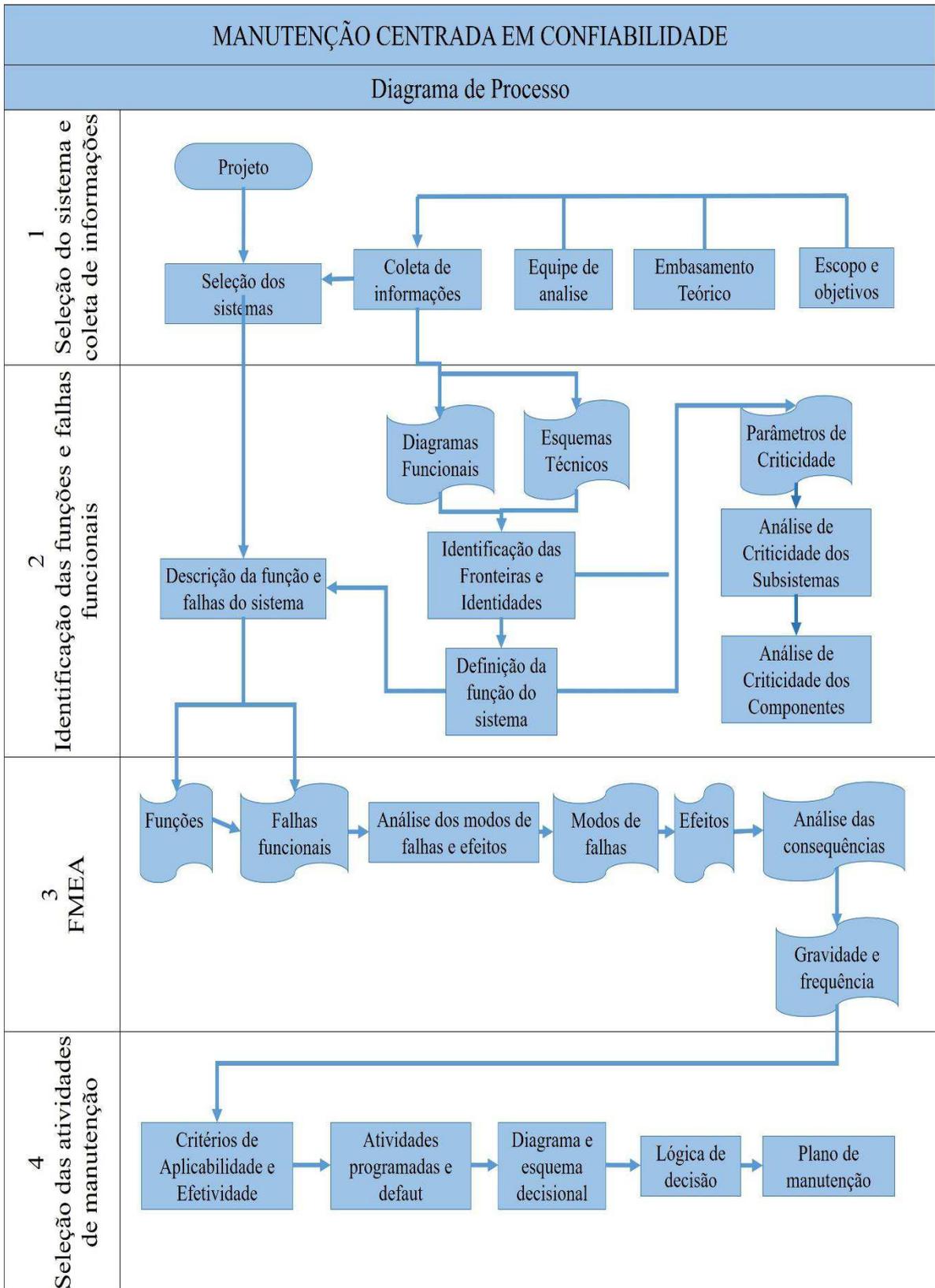


Figura 3-1 Modelo de implantação da MCC adaptado de (Siqueira, 2014).

4 ESTUDO DE CASO

Neste tópico será demonstrado a aplicação da ferramenta MCC, com base nas características desta, busca-se a diminuição da taxa de falhas e revisão das tarefas de manutenção do sistema de agitação dos precipitadores de hidróxido de alumina. Primeiramente será feito um resumo descritivo do modelo de implementação proposto, posteriormente será realizado a descrição do sistema e de todo o seu processo de aplicação.

4.1 Descritivo dos precipitadores

O conjunto do precipitador consiste em tanques que possuem um draftube no meio e um conjunto de agitação composto por motor, redutor, eixo e hélice como ilustrado na figura 4-1. Este precipitador encontra-se no setor da precipitação de refinarias de alumina e tem como principal objetivo precipitar a alumina solubilizada através do resfriamento do licor formado no processo anterior, com maior rendimento possível e de forma que a qualidade do hidrato formado atenda aos requisitos do cliente.

O licor chega aos primeiros tanques de cada conjunto fluindo de um precipitador para outro por transbordamento conforme figura 4-2 e entre os precipitadores passa por trocadores de calor, para ajudar no resfriamento. A área de estudo compreende o sistema de agitação destes precipitadores que não se encontra atendendo as necessidades de ressuspensão de sólidos necessária para garantir a qualidade do processo.

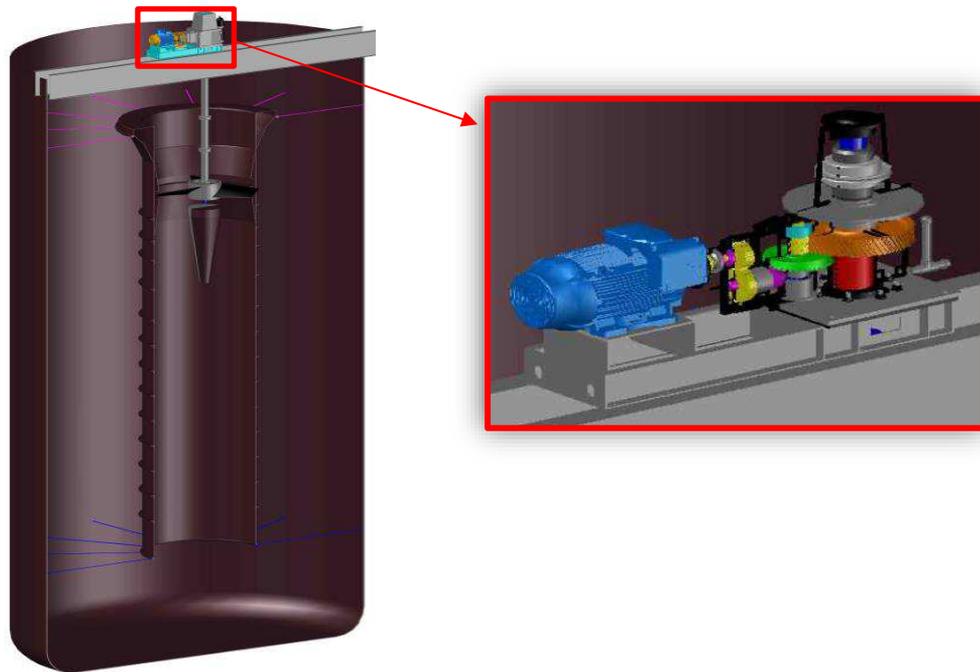


Figura 4-1. Representação do tanque precipitador (Autor, 2018).

Esse conjunto de agitadores são acionados por motores que transmitem movimento para os redutores de velocidade para que estes movimentem a hélice que se encontra na ponta de um eixo tripartido para que assim ocorra a agitação dos sólidos em suspensão do licor que passa por estes precipitadores conforme apresentado na figura 4-1 em que observar-se a representação de um tanque precipitador, com seu conjunto de agitação formado por motor acoplamento, caixa redutora de velocidade eixo e hélice.

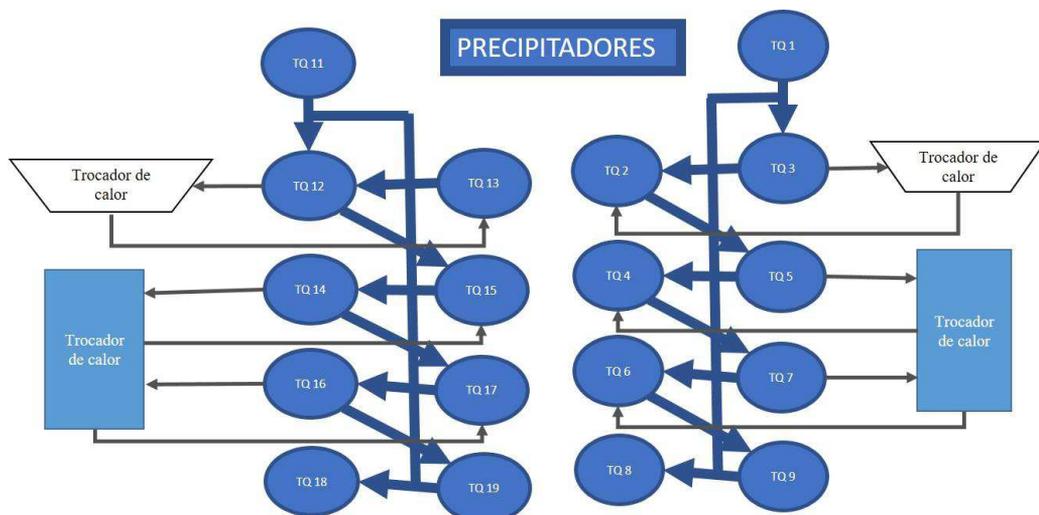


Figura 4-2 Diagrama funcional de precipitadores de hidróxido de alumina (Autor, 2018).

A quadro 4-1 apresenta detalhamento técnico do agitador em estudo

Quadro 4-1 Dados dos precipitadores (Autor, 2018)

Principais características	Modelo 881
Potência do motor	100 HP
R.P.M motor	1770 RPM
Capacidade de óleo aproximada na caixa de redução	83,3 L
Redução da velocidade	TRIPLA
Torque no eixo de saída	22600 N.M
Rotação do eixo de saída	30 rpm

Na abordagem deste trabalho será realizado uma análise de confiabilidade que abrangerá avaliação de riscos do precipitador com o uso da metodologia de análise dos modos de falhas e seus efeitos (FMEA). O objetivo pretendido é obter informações de quais os modos de falhas que exigem mais atenção para em seguida agir em busca das ações de melhorias. Após a identificação dos modos de falhas a próxima etapa consiste em selecionar qual a melhor ação recomendada para diminuir o risco em cada modo de falha, para isso será usada a matriz de decisão para a seleção das melhores ações a serem tomadas.

4.2 DESCRITIVO DE IMPLEMENTAÇÃO

O programa MCC tem como os principais objetivos de desenvolvimento as seguintes:

- Manter as funções do sistema;
- Definição das falhas funcionais, modos de falha, causas e efeitos;
- Priorização das criticidades das funções;
- Definição das tarefas aplicáveis e efetivas;
- Aumento da confiabilidade do sistema.

O processo de implementação do MCC deve se adaptar ao contexto organizacional e operacional com as suas características específicas de cada empresa. Com base nos principais objetivos citados acima, nas sete etapas descritas no processo de implementação na figura 3-1 tem-se o seguinte fluxo de implementação do MCC:

- Seleção e identificação do sistema;
- Identificação das funções do sistema;
- análise de modos de falhas e efeitos;
- análise e decisão;
- avaliação da aplicabilidade da manutenção;
- avaliação da efetividade da manutenção;
- seleção das atividades e periodicidade das atividades.

4.2.1 Seleção e identificação do sistema;

A primeira etapa foi a seleção da equipe técnica responsável pelo estudo, execução e administração da metodologia, sendo formada por profissionais da área de manutenção (elétrica, mecânica, mecatrônica), de processo e operação.

O objetivo da análise foi buscar melhorias para a redução das falhas associadas ao subsistema de redução de velocidade, que apresenta constantes quebras, o que ocasiona diminuição de produção e sedimentação de sólidos no fundo do tanque.

No escopo foi decidida a análise ao nível de componente do sistema de agitação dos precipitadores, priorizando os componentes com interação direta com o controle de tensão e definido como parâmetros críticos o impacto na segurança operacional, impactos operacionais e econômicos.

4.2.2 Identificação das funções do sistema

O estudo com a metodologia FMEA pode ser muito complexa, sendo necessário se definir as fronteiras e interfaces do sistema que foi documentado nos diagramas funcionais e formulários MCC, para que se pudesse simplificar e as ações de melhorias sejam incidentes sobre os modos de falha mais problemáticos, considerando os menos problemáticos para futuras revisões.

Primeiramente elaborou-se uma quadro 4-1 que demonstra as principais características do sistema e na quadro 4-2 têm-se a descrição do sistema, em que são apresentados dados das funções, características dos componentes do sistema de agitação, dispositivos de proteção e detalhes de instrumentação.

Foi elaborado o diagrama organizacional que ilustra a estrutura hierárquica do sistema, visto que o diagrama como mostrado na figura 4-3, apresenta no topo da árvore o bloco do precipitador de alumina que corresponde à árvore inteira, e os níveis abaixo deste que são: o tanque, o draftube e o sistema de agitação correspondem aos sistemas principais do precipitador.

Além do diagrama organizacional, elaborou-se o diagrama funcional figura 4-2, através do entendimento do funcionamento do sistema, que consiste em alimentação de material ao tanque para que possa circular este afim de que ocorra perda de temperatura e aglomeração das partículas, até a passagem para outro precipitador, o sistema de agitação deve garantir o movimento deste material no interior do tanque para evitar a formação de sólidos sedimentados no fundo do tanque.

As elaborações dos diagramas foram fundamentadas na observação do funcionamento dos subsistemas, análise do processo em que os subsistemas estão inclusos, assim como na análise dos manuais de fabricantes e desenhos técnicos.

O conjunto de agitação analisado possui fronteira com todos subsistemas do precipitador de hidrato, pois uma falha no sistema de agitação tem impacto direto na função principal do sistema.

Contudo, o sistema possui entradas e saídas de outros sistemas do processo de precipitação de alumina, tendo como a referência a temperatura final do material que passa pelo conjunto de precipitadores, e também por trocadores de calor que são transferidos por um sistema de bombeamento.

Quadro 4-2 Descritivo do sistema (Autor, 2018)

Quadro de Descrição do Sistema	Processo: Fabricação de Alumina	N°	Coord:	Data:
	Linha: Precipitação do hidrato de Alumina	01/01	##	19/03/2018
	Equipamento: Precipitador	Rev.:	Equipe	Folha:
	Conjunto: Sistema de agitação	0	Engenharia de Manutenção	01/01
Função: Garantir a agitação necessária para o licor verde para a aglomeração das partículas de alumina, não permitindo a sedimentação de sólidos no fundo do precipitador.				

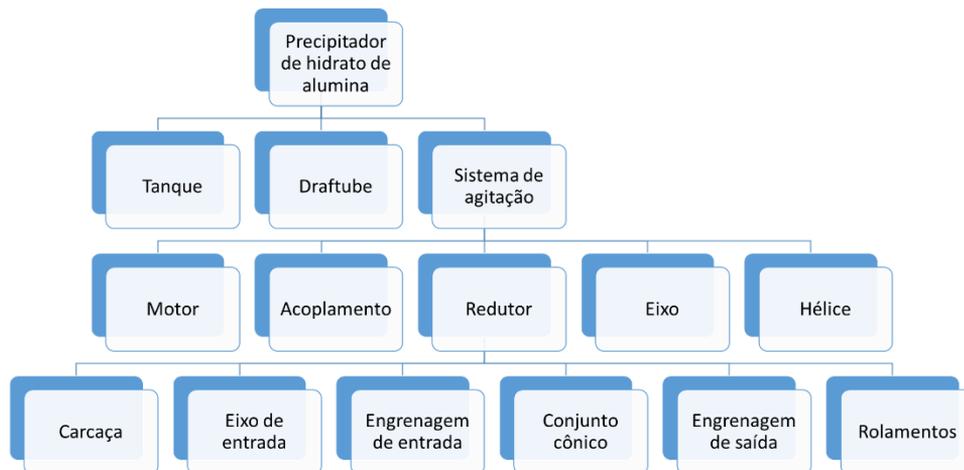


Figura 4-3 Estrutura Organizacional do Precipitador (Autor, 2018)

4.2.3 Análises de modos de Falhas e efeitos

Afim de se obter os modos de falhas encontrados nos precipitadores foi desenvolvida duas metodologias de análise de falhas, a FTA e o FMEA.

4.2.3.1 F.T.A.

Para definição da análise de falhas foi definido uma árvore de falhas figura 4-4 e em seguida a quadro 4-3 de verificação das hipóteses das falhas através da aplicação do Brainstorming com uma equipe de engenheiros e técnicos para eleição dos principais modos de falhas do sistema. Além disso foi utilizado os desenhos de projeto original assim como data sheet, data book e manuais do fabricante, que deram suporte ao desenvolvimento do FTA.

Para a análise FTA é necessário à validação das hipóteses para que assim se obtivesse ações de mitigação das falhas encontradas.

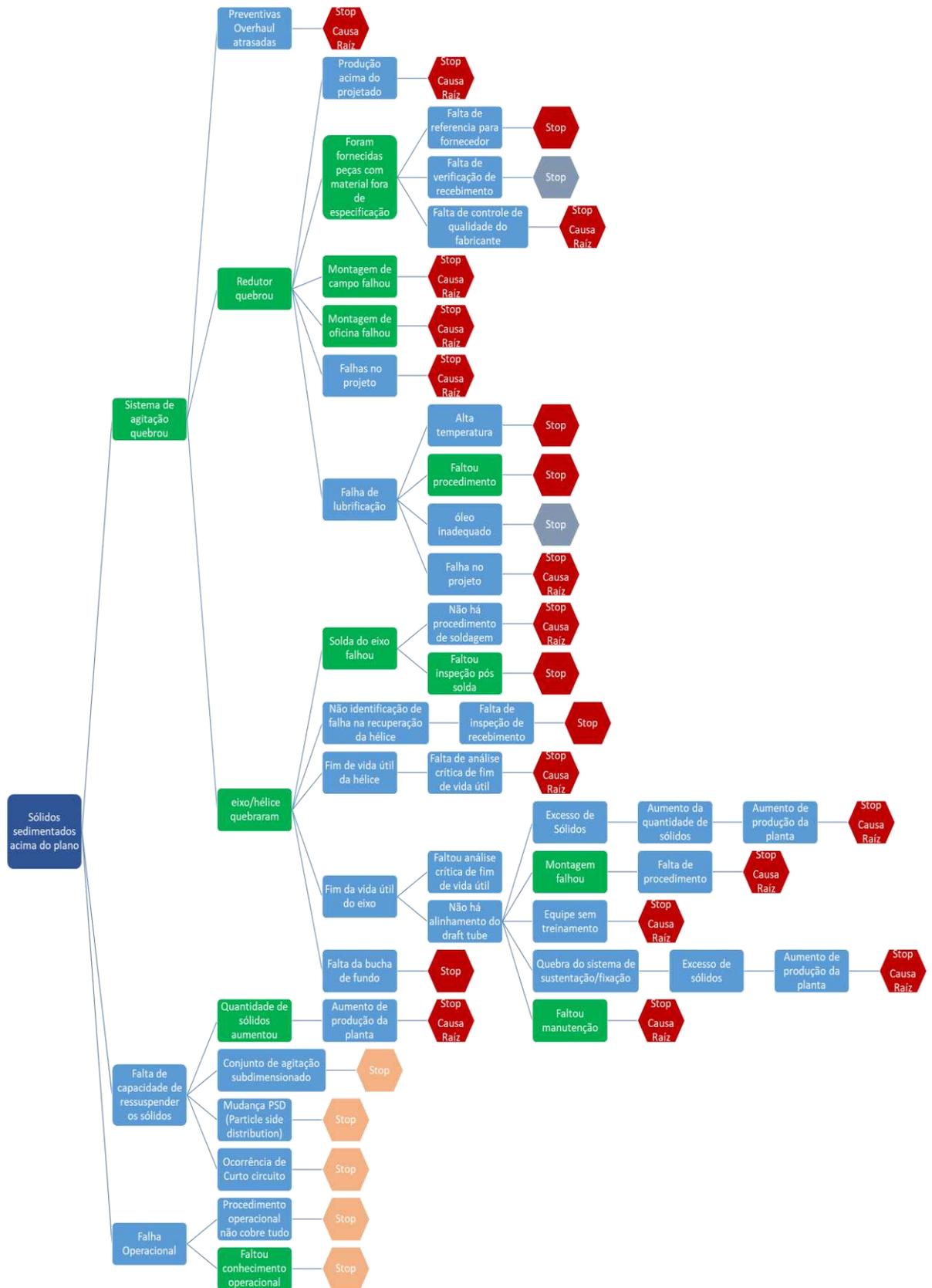


Figura 4-4 FTA de sedimentação de sólidos nos precipitadores (Autor.2018)

Quadro 4-3 Validação de dados do FTA (Autor, 2018)

Verificação de hipóteses			
Efeito	Hipótese de causa	Confirmação (verdadeiro ou falso)	Evidência
Quebra do sistema de agitação	Preventivas do precipitador atrasadas	Verdadeiro	Plano de Preventiva em atraso - Residual life atrasada.
Quebra do redutor	Sobrecarga no redutor	Verdadeiro	Existem casos em que a hélice raspa no draft tube forçando o conjunto. Excesso de sólidos sedimentados
	Falta de referência para fornecedor	Verdadeiro	Foi enviado ao fornecedor apenas dimensional das engrenagens, mas não foi enviado material para estudo de engenharia reversa.
	Falta de verificação de recebimento	Falso	As engrenagens recebidas em termos de dimensional não tem alteração, sendo assim, simples verificação de recebimento não identificaria os problemas de material identificados na oficina (como dureza)
	Falta de controle de qualidade do fabricante	Verdadeiro	Foi realizado ensaio de dureza nas engrenagens da Aubert e identificou-se falta de homogeneidade e baixa dureza nos dentes
	Falha de montagem de campo	Verdadeiro	Foi identificado calços irregulares, redutor soldado.
	Falha de montagem de oficina	Verdadeiro	Modo de falha precoce por montagem. Alto turn over, falta de conhecimento entre integrantes do time.
	Falha de projeto	Verdadeiro	Mortalidade infantil dos redutores desde início de operação.
	Falha de lubrificação por alta temperatura	Verdadeiro	Foi identificado na visita da lightnin por amostragem, redutores trabalhando com temperaturas elevadas, de modo a comprometer as características do óleo
	Falha de lubrificação por falta de procedimento	Falso	Foi observado variação de nível de lubrificante entre os redutores, porém todos apresentavam lubrificante.
	Falha de lubrificação por óleo inadequado	Falso	Estudo realizado demonstrou que o lubrificante é adequado para aplicação
	Falha de lubrificação por falha de projeto	Verdadeiro	Temperatura muito alta deveria contemplar sistema de resfriamento do óleo ou sistema de bombeamento para garantir lubrificação em todos componentes internos.
Quebra do eixo/hélice	Falha de solda no eixo	Verdadeiro	Identificado que soldas realizadas apresentam trincas, estudo realizado pelo Vitor e foi realizada alteração do procedimento de soldagem dos eixos.
	Falta de inspeção de recebimento	Verdadeiro	Não realiza inspeção técnica.
	Falta de análise crítica de fim de vida útil da hélice	Verdadeiro	Não existe um parâmetro de referência documentado

	Falta de análise crítica de fim de vida útil do eixo	Verdadeiro	Não existe um parâmetro de referência documentado
	Aumento de produção da planta além da capacidade dos equipamentos	Verdadeiro	A produção está com fluxo nas calhas e quantidade de sólidos acima do projeto.
	Falha de montagem do draft tube	Verdadeiro	Não se faz topografia, não se usa procedimento para documentar.
	Equipe sem treinamento para intervenção no draft tube	Verdadeiro	Não se faz topografia, não se usa procedimento para documentar.
	Falta de manutenção do draft tube	Verdadeiro	Não há intervenções para reposicionamento, fixação dos tirantes ou recuperação de avarias.
	Falta de bucha de fundo	Falso	Há incerteza se a buchas de fundo estão instaladas corretamente. Necessário mapear a medida que forem realizando as Preventivas.
Falta de capacidade de ressuspender sólidos	Conjunto de agitação subdimensionado	Verdadeiro	Estudo do COE mostra que para ressuspender sólidos é necessário uma rotação de 36rpm.
	Mudança VF	Falso	Foi feito testes com VF em alguns precipitadores e não foi evidenciado melhora significante.
	Ocorrência de Curto circuito	Verdadeiro	Evidenciado a presença de curto circuito nos tanques
Falha de intervenção em campo	Procedimento operacional não cobre todas interferências operacionais e impactos	Verdadeiro	Procedimentos incompletos quanto a informações
	Falta de conhecimento do time operacional	Falso	Equipe apresenta conhecimento e experiência em campo
	Falta de conhecimento do time de manutenção de processo	Falso	Equipe apresenta conhecimento e experiência em campo
	Falta de conhecimento do time de manutenção de campo	Falso	Equipe apresenta conhecimento e experiência em campo

4.2.3.2 FMEA

Para que fosse iniciada a elaboração do FMEA foi realizada a identificação dos modos de falhas, respectivas causas e efeitos. Em seguida estipulou-se as pontuações baseado nas bibliografias quanto a severidade, ocorrência e detecção para o cálculo do NPR.

Para a pontuação da coluna de severidade e detecção foi feito o brainstorming, para a taxa de ocorrência foi utilizado dados existente de histórico de funcionamento do equipamento nos anos de 2015 a 2017 contanto com recursos de histórico de falhas, dados técnicos do equipamento, planos de manutenção, procedimentos operacionais e outros dados.

Para as classificações foi utilizado as quadros de referências da empresa adaptado pelo Autor de severidade e ocorrência para que fosse determinado as pontuações para a eleição do risco quanto a baixo, médio, alto, muito alto.

Para a ocorrência foi utilizado a quadro de referência da empresa tabela4-4, tendo em conta as seguintes considerações

Quadro 4-4 Matriz de probabilidade de ocorrência de falhas padrão da empresa adaptado pelo (Autor, 2018).

Matriz de Probabilidade					
Classificação	Classificação Quantitativa	Descrição	Estilos alternativos de classificação		
			Julgamento	Frequência	Experiência
A	5	Quase certo ou frequente	Quase certo de acontecer	Bem alta, Podendo ocorrer várias vezes no ano.	Um resultado similar aconteceu várias vezes no ano em operações na planta local.
B	4	Suscetível ou provável	Mais próximo de ocorrer do que não ocorrer.	Alta, pode ocorrer ao menos uma vez no ano.	Um resultado similar aconteceu várias vezes no ano em operações Empresa(mundial) ou industria de mesmo ramo.

Continuação quadro 4-4 Matriz de probabilidade de ocorrência de falhas padrão da empresa adaptado pelo (Autor, 2018).

Classificação	Classificação Quantitativa	Descrição	Estilos alternativos de classificação		
			Julgamento	Frequência	Experiência
C	3	Possível ou Ocasional	Possível tanto acontecer como não acontecer	Possível, probabilidade de acontecer é de 1 a cada 10 anos	Um resultado similar surgiu anteriormente em operações na planta local.
D	2	Improvável ou remoto	Mais próximo de não ocorrer do que ocorrer.	Não Impossível de ocorrer, podendo ocorrer nos próximos 10 a 25 anos	Um resultado similar aconteceu anteriormente em operações Empresa(mundial) ou indústria de mesmo ramo.
E	1	Raro ou pouco possível	Pouco provável de acontecer	Bem baixa, bem improvável, podendo ocorrer nos próximos 25 anos.	Nenhum acontecimento registrado em operações tanto na Empresa como em indústria de mesmo ramo. Porém é teoricamente possível.

Quanto ao índice de severidade, foi determinado analisando-se o grau de impacto dos efeitos dos modos de falha em cada componente do sistema. Os efeitos são classificados nas seguintes categorias: Segurança e Saúde, Meio Ambiente, Regulamentação, Reputação e Imagem, Impactos Financeiros e Integridade da Planta. Após a definição dos valores para cada modo de falha, esse índice é obtido com a escolha do maior valor atribuído nas categorias para o modo de falha em causa, como mostrado na quadro 4-7.

Para a classificação do índice de detecção foi adaptada a quadro 2-4 AIAG (2008), para atribuição dos índices para cada modo de falha e suas causas, considerando que a detectabilidade como a capacidade de detectar a falha após a ocorrência, como apresentado na quadro 4-5.

Quadro 4-5 Matriz de detecção adaptado de (Moura, 2000)

Detecção	Critério (Probabilidade de Detecção pelo Controle de Projeto/Processo)	Índice de Detecção
Quase Impossível	Não é conhecido controle disponível para detectar o modo de falha.	5
Remota	Probabilidade remota de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	4
Moderada	Possibilidade moderada que o Controle de Projeto irá detectar um causal mecanismo potencial e subsequente modo de falha.	3
Alta	Probabilidade alta de que o controle atual irá detectar o modo de falha.	2
Quase certamente	Controle atual quase certamente irá detectar o modo de falha. A confiança nos controles de detecção é conhecida em processos similares.	1

Após a escolha dos índices de ocorrência, severidade e detecção, será classificado o grau de risco (NPR) representado na quadro 4-6, que tem como objetivo eleger o grau de risco (elevado, moderado e baixo) para obter informações sobre a necessidade da urgência da execução das ações de melhorias em busca de diminuição do risco para cada falha.

Quadro 4-6 Classificação do grau de risco aplicado ao caso de estudo adaptado de Pedrosa (2014).

GRAU DE RISCO (NPR)		GRAU DE URGENCIA DAS MEDIDAS
GR \geq 24*	Risco Elevado	Requer ação imediata para diminuir o risco
12 \leq GR < 24	Risco Moderado	Devem ser tomadas ações assim que possível para diminuir o risco
GR < 12 **	Risco Baixo	Devem ser tomadas medidas de melhoria sem caráter de urgência

*Considerou - se como limite inferior o NPR resultante do produto entre:

2(Severidade: Menor) * 3 (Ocorrência: Possível ou Ocasional) * 2 (Detecção: Alta)

** Considerou-se como limite superior o NPR resultante do produto:

2(Severidade: Menor) * 3 (Ocorrência: Possível ou Ocasional) * 4 (Detecção: Remota)

Quadro 4-7 Quadro de matriz de severidade aplicada ao estudo de caso adaptado de dados da empresa.

Rating		Segurança e Saúde	Meio Ambiente	Regulamentação	Reputação e Imagem	Impactos Financeiros	Integridade da planta	Performace do Projeto	Colaboradores
5	Critical	<ul style="list-style-type: none"> Múltiplas Fatalidades de funcionários, contratados ou Público. 	<ul style="list-style-type: none"> Dano ambiental à longo prazo(5 anos ou mais) ou sendo necessário >\$5M para estudar/reparar ou multa de valor equivalente. 	<ul style="list-style-type: none"> Intervenção Regularizar ou possível processo com multa >\$5M. 	<ul style="list-style-type: none"> Dano a reputação da corporação a um nível internacional criado em mídia social ou não. Perda de apoio de acionistas e/ou Estado e/ou Comunidade. 	<ul style="list-style-type: none"> Perdas diretas ou aumento de custo >\$20M. Erro ou perda de capital >\$20M. Fraude > \$1M. 	<ul style="list-style-type: none"> Grande problema com relação ao sistema, integridade, propriedade ou condição da planta. Falha no alcance de objetivos críticos para a empresa. 	<ul style="list-style-type: none"> Projeto considerado crítico com atraso > 6 meses. Falha no alcance de metas críticas para o projeto. 	<ul style="list-style-type: none"> Grande grupo de Gerentes ou funcionários experientes deixando a Empresa.
4	Major	<ul style="list-style-type: none"> Uma fatalidade ou Lesões graves ou doenças ocupacionais não recuperáveis ou deficiências permanentes maiores que 30% do corpo. 	<ul style="list-style-type: none"> Dano ambiental à médio prazo(1 a 5 anos) ou sendo necessário \$1M até \$5M para estudar/reparar ou multa de valor equivalente. 	<ul style="list-style-type: none"> Violação de licenças, legislações, regulamentações ou mandatos padrões da organização. 	<ul style="list-style-type: none"> Dano a reputação da corporação a um nível Nacional criado em mídia social ou não. Perda significativa de acionistas e/ou apoio do Estado e/ou da Comunidade. 	<ul style="list-style-type: none"> Perdas diretas ou aumento de custo \$5M até \$20M. Erro ou perda de capital \$5M até \$20M. Fraude \$0.5M até \$1M. 	<ul style="list-style-type: none"> Falha para alcançar performace ou alguma meta de sistema, propriedade, integridade ou condições da planta. 	<ul style="list-style-type: none"> Projeto considerado crítico com atraso de 3 a 6 meses. Falha no alcance de alguns alvos de performace. 	<ul style="list-style-type: none"> Alguns Gerentes ou funcionários experientes deixando a empresa. Taxa alta de mudança de funcionarios experientes. Empresa não reconhecida como uma boa escolha.
3	Moderado	<ul style="list-style-type: none"> Afastamento ou atividades restritas devido a lesões ou doenças ocupacionais (recuperáveis) 	<ul style="list-style-type: none"> Dano ambiental à curto prazo(<1 ano) ou sendo necessario até \$1M para estudar/corrigir ou multa de valor equivalente. 	<ul style="list-style-type: none"> Violação de padrões, diretrizes, legislações, ou assuntos abordados como preocupação da corporação através das auditorias ou acordos voluntários 	<ul style="list-style-type: none"> Noticias desfavoráveis em mídia estadual ou regional. Perda de acionistas, Apoio do estado e/ou comunidade. 	<ul style="list-style-type: none"> Perdas diretas ou aumento de custo \$1M até \$5M. Erro ou perda de capital \$1M até \$5M. Fraude \$0.25M até \$0.5M. 	<ul style="list-style-type: none"> Redução nas condições de funcionamento do sistema, propriedade ou integridade da planta. Redução consideravel na performace. 	<ul style="list-style-type: none"> Projeto considerado crítico com atraso de 1 a 3 meses. Redução na performace. 	<ul style="list-style-type: none"> Reputação ruim como empregadora. Problemas com relação a atitude dos funcionarios. Alta taxa de mudança de funcionários.
2	Minor	<ul style="list-style-type: none"> Tratamento medico ou Primeiros socorros, sem afastamento do trabalho ou atividade. 	<ul style="list-style-type: none"> Dano ambiental necessitando de até \$250m para estudar/corrigir ou multa de valor equivalente. 	<ul style="list-style-type: none"> Violação de procedimentos internos ou diretrizes. 	<ul style="list-style-type: none"> Noticias desfavoráveis em mídia local. Preocuções a cerca da performace da panta levantadas por parte dos acionistas, estado e/ou comunidade. 	<ul style="list-style-type: none"> Perdas diretas ou aumento de custo \$0.25M até \$1M. Erro ou perda de capital \$0.25M até \$1M. Fraude \$0.1M até \$0.25M. 	<ul style="list-style-type: none"> Danos mínimos a performace ou ao sistema, propriedade, integridade ou condição da planta. 	<ul style="list-style-type: none"> Projeto considerado crítico com atraso < 1 mes. Alteração minima na performace. 	<ul style="list-style-type: none"> Problemas com a atitude e moral dos funcionários no geral. Aumento na taxa de mudança de funcionários.
1	Insignificante	<ul style="list-style-type: none"> Sem lesões 	<ul style="list-style-type: none"> Impacto ambiental insignificante reparado com orçamento operacional. 	<ul style="list-style-type: none"> Sem violações de licenças, padrões, diretrizes ou assuntos relacionados a auditoria. 	<ul style="list-style-type: none"> Consciência por parte da comunidade existe mas não existe nenhuma preocupação em particular. 	<ul style="list-style-type: none"> Perdas diretas ou aumento de custo abaixo de 250k. Erro ou perda de capital desprezível. Fraude desprezível 	<ul style="list-style-type: none"> Danos insignificantes a performace, sistema, propriedade, integridade ou condição da planta. 	<ul style="list-style-type: none"> Atraso insignificante 	<ul style="list-style-type: none"> Insatisfação insignificante ou isolada de funcionários.

Quadro 4-8 FMEA agitadores dos precipitadores (Autor, 2018)

FMEA DO SISTEMA DE AGITAÇÃO																								
SISTEMA	E	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	F	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODOS DE FALHAS (O QUE ESTA ERRADO?)	CAUSA DA FALHA (PORQUE ESTÁ ERRADO?)	O	EFEITO	EFEITO DA FALHA						S	CONTOLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR	Grau de risco
													A	B	C	D	E	F						
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	A	ACOPLAMENTO	ELEMENTO ELÁSTICO	A1	UNIR DUAS EXTREMIDADES (EIXOS) DE EQUIPAMENTOS DISTINTOS TRANSMITINDO FORÇA	1	NÃO UNIR AS EXTREMIDADES DOS EIXOS	A		TRAVEMENTO DO REDUTOR	4	PARADA DA AGITAÇÃO DO TANQUE	1	1	1	1	1	3	3	NÃO HÁ	VISUAL	2	24	ELEVADO
		ACOPLAMENTO	ELEMENTO ELÁSTICO		UNIR DUAS EXTREMIDADES (EIXOS) DE EQUIPAMENTOS DISTINTOS TRANSMITINDO FORÇA		NÃO UNIR AS EXTREMIDADES DOS EIXOS			RUPTURA DO ELEMENTO ELÁSTICO	3		1	1	2	1	1	4	4	CONTROLE DE PROCESSO	VISUAL	2	24	ELEVADO
		ACOPLAMENTO	ELEMENTO ELÁSTICO		UNIR DUAS EXTREMIDADES (EIXOS) DE EQUIPAMENTOS DISTINTOS TRANSMITINDO FORÇA		NÃO UNIR AS EXTREMIDADES DOS EIXOS			RUPTURA DO ELEMENTO ELÁSTICO	4		1	1	1	1	1	2	2	NÃO HÁ	VISUAL	1	8	BAIXO
		ACOPLAMENTO	CUBO DO ACOPLAMENTO		UNIR DUAS EXTREMIDADES (EIXOS) DE EQUIPAMENTOS DISTINTOS TRANSMITINDO FORÇA		NÃO UNIR AS EXTREMIDADES DOS EIXOS		B	FOLGA DOS PARAFUSOS	3		1	1	1	1	1	2	2	GARANTIR TORQUIAMENTO DE PARAFUSOS DURANTE AS PREVENTIVAS	VISUAL E PREVENTIVA DE TORQUIAMENTO DOS PARAFUSOS	3	18	MODERADO
		ACOPLAMENTO	CUBO DO ACOPLANETARIO		UNIR DUAS EXTREMIDADES (EIXOS) DE EQUIPAMENTOS DISTINTOS TRANSMITINDO FORÇA		NÃO UNIR AS EXTREMIDADES DOS EIXOS			FOLGA DOS PARAFUSOS	3		1	1	2	1	1	1	2	3		18	MODERADO	
	B	REDUTOR	ENGRENAGENS	B1	RECEBER A ROTAÇÃO E POTENCIA DO MOTOR E TRANSMITIR PARA O EIXO DE SAIDA CONVERTENDO-OS EM TORQUE PARA GIRAR A HÉLICE	2	TRANSMITE MENOS QUE "X" DE POTÊNCIA	A	FADIGA DE ALTO CICLO DAS ENGRENAGENS	FIM DE VIDA ÚTIL	3	QUEBRA DE DENTES DE ENGRENAGENS	1	1	1	1	1	3	3	OVEHAUL NO FIM DE RESIDUAL LIFE DOS PC'S	FIM DE RESIDUAL LIFE VISUAL NA OFICINA	2	18	MODERADO

Continuação quadro 4-9 FMEA agitadores dos precipitadores (Autor, 2018)

SISTEMA	E	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	F	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODOS DE FALHAS (O QUE ESTA ERRADO?)	CAUSA DA FALHA (PORQUE ESTÁ ERRADO?)	O	EFEITO	EFEITO DA FALHA						S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR	Grau de risco
													A	B	C	D	E	F						
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	B	REDUTOR	ENGRENAGENS	B1	RECEBER A ROTAÇÃO E POTENCIA DO MOTOR E TRANSMITIR PARA O EIXO DE SAIDA CONVERTENDO-OS EM TORQUE PARA GIRAR A HÉLICE	2	TRANSMITE MENOS QUE "X" DE POTÊNCIA			FORMAÇÃO E PROPAGAÇÃO DE TRINCAS NA SUPERFICIE CAUSADO PELO ATRITO ENTRE OS DENTES DAS ENGRENAGENS	4	QUEBRA DE DENTES DE ENGRENAGENS	1	1	1	1	2	4	4	NÃO HÁ	PREDITIVA E AUDITIVO RUIDO ELEVADO	3	48	ELEVADO
	B	REDUTOR	ENGRENAGENS	B1	RECEBER A ROTAÇÃO E POTENCIA DO MOTOR E TRANSMITIR PARA O EIXO DE SAIDA CONVERTENDO-OS EM TORQUE PARA GIRAR A HÉLICE	2	TRANSMITE MENOS QUE "X" DE POTÊNCIA	B	FADIGA SUPERFICIAL DAS ENGRENAGENS	FOLGA DOS EIXOS	3	VIBRAÇÃO EXCESSIVA DO CONJUNTO	1	1	2	1	1	1	2	CONTROLE DE MONTAGEM	PREDITIVA	4	24	ELEVADO
	B	REDUTOR	ENGRENAGENS	B1	RECEBER A ROTAÇÃO E POTENCIA DO MOTOR E TRANSMITIR PARA O EIXO DE SAIDA CONVERTENDO-OS EM TORQUE PARA GIRAR A HÉLICE	2	TRANSMITE MENOS QUE "X" DE POTÊNCIA	C	DESGASTE POR CONTATO DAS ENGRENAGENS ;	DEFICIENCIA NA LUBRIFICAÇÃO DO REDUTOR	5	QUEBRA DE DENTES DE ENGRENAGENS	1	1	2	1	1	1	2	ROTA DE LUBRIFICAÇÃO	PREDITIVA E SENSITIVO	4	40	ELEVADO
	B	REDUTOR	ENGRENAGENS	B1	RECEBER A ROTAÇÃO E POTENCIA DO MOTOR E TRANSMITIR PARA O EIXO DE SAIDA CONVERTENDO-OS EM TORQUE PARA GIRAR A HÉLICE	2	TRANSMITE MENOS QUE "X" DE POTÊNCIA	D	FRATURA FRÁGIL DAS ENGRENAGENS;	SOBRECARGA EXTERNA IMPREVISIVEL	3	QUEBRA DE DENTES DE ENGRENAGENS	1	1	2	1	1	2	2	NÃO HÁ	PREDITIVA	4	24	ELEVADO

Continuação quadro 4-9 FMEA agitadores dos precipitadores (Autor, 2018)

SISTEMA	E	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	F	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODOS DE FALHAS (O QUE ESTA ERRADO?)	CAUSA DA FALHA (PORQUE ESTÁ ERRADO?)	O	EFEITO	EFEITO DA FALHA						S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR	Grau de risco
													A	B	C	D	E	F						
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	B	REDUTOR	ENGRENAGENS	B1	RECEBER A ROTAÇÃO E POTENCIA DO MOTOR E TRANSMITIR PARA O EIXO DE SAIDA CONVERTENDO-OS EM TORQUE PARA GIRAR A HÉLICE	2	TRANSMITE MENOS QUE "X" DE POTÊNCIA	E	ENCAIXE INCORRETO DAS ENGRENAGENS	ERRO DE MONTAGEM	3	QUEBRA DE DENTES DE ENGRENAGENS FALHA PREMATURA	1	1	2	1	1	1	2	MEDIÇÕES PREVISTAS EM ANEXO DE ATIVIDADE	PREDITIVA VIBRAÇÃO, TEMPERATURA	3	18	MODERADO
	B	REDUTOR	ROLAMENTOS	B2	MINIMIZAR A FRICÇÃO ENTRE AS PEÇAS MÓVEIS DA MÁQUINA E SUPORTAR CARGA		NÃO MINIMIZAR A FRICÇÃO ENTRE OS EIXOS	A	FADIGA SUPERFICIAL DOS ROLAMENTOS	DESALOJAMENTO DE PARTICULAS DOS ELEMENTOS ROLANTES CAUSA A FORMAÇÃO DE PITES NA PISTA DE ROLAMENTOS	3	VIBRAÇÃO AUMENTO DA TEMPERATURA	1	1	1	1	1	1	NÃO HÁ	PREDITIVA	3	9	BAIXO	
	B	REDUTOR	ROLAMENTOS	B2	MINIMIZAR A FRICÇÃO ENTRE AS PEÇAS MÓVEIS DA MÁQUINA E SUPORTAR CARGA	2	NÃO MINIMIZAR A FRICÇÃO ENTRE OS EIXOS	B	FRATURA DA GAIOLA DO ROLAMENTO	PRESENÇA DE CORPOS ESTRANHOS	3	RUÍDO; VIBRAÇÃO; AUMENTO DA TEMPERATURA	1	1	1	1	1	1	NÃO HÁ	SENSITIVO E PREDITIVO	3	9	BAIXO	
	B	REDUTOR	ROLAMENTOS	B2	MINIMIZAR A FRICÇÃO ENTRE AS PEÇAS MÓVEIS DA MÁQUINA E SUPORTAR CARGA		NÃO MINIMIZAR A FRICÇÃO ENTRE OS EIXOS	C	DESGATE PREMATURO DOS ROLAMENTOS	ROLAMENTOS INCORRETOS OU ENCAIXADOS INCORRETAMENTE	2	TEMPERATURA DO REDUTOR ULTRAPASSA OS PARAMETROS DE PROJETO	1	1	2	1	1	1	2	NÃO HÁ	PREDITIVA	3	12	MODERADO
	B	REDUTOR	CARCAÇA	B3	ARMAZENAR O ÓLEO LUBRIFICANTE DOS COMPONENTES INTERNOS E PROTEGE-LOS	2	NÃO ARMAZENAMENTO DO ÓLEO LUBRIFICANTE	A	RACHADURA NA CARCAÇA DO REDUTOR	INTEMPERES AMBIENTAIS E EXCESSO DE INTERVENÇÕES	2	VAZAMENTO DE ÓLEO LUBRIFICANTE, FOLGAS NOS EIXOS	1	1	1	1	1	1	NÃO HÁ	VISUAL	1	2	BAIXO	
	B	REDUTOR	CARCAÇA	B3	ARMAZENAR O ÓLEO LUBRIFICANTE DOS COMPONENTES INTERNOS E PROTEGE-LOS		NÃO ARMAZENAMENTO DO ÓLEO LUBRIFICANTE	B	DESGATE DA JUNTA DE VEDAÇÃO	DESGATE OU DETERIORAÇÃO OU ENCAIXE INCORRETO DOS REPAROS	2	VAZAMENTO DE ÓLEO LUBRIFICANTE	1	1	1	1	1	1	NÃO HÁ	VISUAL	1	2	BAIXO	
	B	REDUTOR	CALÇOS	B4	AJUDAR NO ALINHAMENTO E GARANTIR ESTABILIDADE	2	NÃO GARANTIR A ESTABILIDADE	A	CALÇOS INADEQUADOS	DEFORMAÇÕES DA VIGA E AJUSTES DE CAMPO INADEQUADOS	3	DESALINHAMENTO VIBRAÇÃO	1	1	2	1	1	2	2	NÃO HÁ	VISUAL	1	6	BAIXO

Continuação quadro 4-9 FMEA agitadores dos precipitadores (Autor, 2018)

SISTEMA	E	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	F	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODOS DE FALHAS (O QUE ESTA ERRADO?)	CAUSA DA FALHA (PORQUE ESTÁ ERRADO?)	O	EFEITO	EFEITO DA FALHA						S	CONTOLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECCÃO	D	NPR	Grau de risco
													A	B	C	D	E	F						
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	B	REDUTOR	RETENTORES	B5	RETER O ÓLEO DENTRO DA CAIXA EVITANDO VAZAMENTOS	2	NÃO RETER O ÓLEO	A	FALHA NA VEDAÇÃO DO ÓLEO	FIM DE VIDA ÚTIL	5	VAZAMENTO DE ÓLEO LUBRIFICANTE	1	1	1	1	1	1	1	NÃO HÁ	VISUAL	2	10	BAIXO
	B	REDUTOR	PARAFUSOS DE FIXAÇÃO NA BASE	B6	FIXAÇÃO DO REDUTOR NA BASE	2	NÃO GARANTIR A FIXAÇÃO	A	PARAFUSOS FOLGADOS	FALTA DE TORQUE NOS PARAFUSOS	4	VIBRAÇÃO EXCESSIVA DO CONJUNTO	1	1	2	1	1	1	2	NÃO HÁ	VISUAL	2	16	MODERADO
	C	EIXO	EIXOS DE SAIDA PARA A HÉLICE	C1	TRANSMITIR ENERGIA PARA A HÉLICE	3	NÃO TRANSMITIR O TORQUE	A	DESALINHAMENTO DO EIXO	ERROS DE MONTAGEM	2	CHOQUE DA HÉLICE NO DRAFTUBE, VIBRAÇÃO EXCESSIVA DO CONJUNTO	1	1	2	1	1	1	2	MEDIÇÕES DURANTE A MONTAGEM	PREDITIVA	4	16	MODERADO
								B	FRATURA NA SOLDA DO EIXO	PROCEDIMENTOS DE SOLDAGENS INCORRETOS	4	PARADA DA AGITAÇÃO	1	1	2	1	1	1	3	PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM E ENSAIOS NAS SOLDAS	PREDITIVA	2	24	ELEVADO
	D	HÉLICE	HÉLICE	D1	GARANTIR A PROPULSÃO DO SISTEMA	4	NÃO AGITAR O MATERIAL	A	CHOQUE DA HÉLICE NO DRAFTUBE	DESBALANCEAMENTO DA HÉLICE PELO DE VIDA ÚTIL	3	DEFORMAÇÃO DA HÉLICE, EXFORÇO EXCESSIVO NO REDUTOR	1	1	1	1	2	3	3	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	3	27	ELEVADO
	E	MOTOR	MOTOR	E1	CONVERTER ENERGIA ELÉTRICA EM ENERGIA MECÂNICA	5	NÃO CONVERTER ENERGIA ELÉTRICA EM MECÂNICA	A	AUSÊNCIA DE ISOLAÇÃO ELÉTRICA DO MOTOR (SEM RESISTÊNCIA DE ISOLAÇÃO)	DESGASTE E/OU DERRITIMENTO DO MATERIAL ISOLANTE DO BOBINADO POR PASSAGEM DE CORRENTE ELÉTRICA ACIMA DA NOMINAL EM REGIME PERMANENTE	3	QUEIMA DO MOTOR	1	1	1	1	1	2	2	MANUTENÇÃO PREVENTIVA INCLUI ENSAIOS COM MEGGER DAS BOBINAS	USO DE INSTRUMENTAÇÃO ESPECÍFICA (MEGÔMETRO)	1	6	BAIXO
	E	MOTOR	MOTOR	E1	CONVERTER ENERGIA ELÉTRICA EM ENERGIA MECÂNICA	5	NÃO CONVERTER ENERGIA ELÉTRICA EM MECÂNICA	B	BAIXA ISOLAÇÃO ELÉTRICA DO MOTOR (ABAIXO DE 1MΩ)	DESGASTE DO MATERIAL ISOLANTE DO BOBINADO POR PASSAGEM DE CORRENTE ELÉTRICA ACIMA DA NOMINAL EM REGIME PERMANENTE	4	MOTOR NÃO IRÁ FUNCIONAR	1	1	1	1	1	2	2	MANUTENÇÃO PREVENTIVA INCLUI ENSAIOS COM MEGGER DAS BOBINAS	USO DE INSTRUMENTAÇÃO ESPECÍFICA (MEGÔMETRO)	1	8	BAIXO

Continuação quadro 4-9 FMEA agitadores dos precipitadores (Autor, 2018)

SISTEMA	E	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	F	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODOS DE FALHAS (O QUE ESTA ERRADO?)	CAUSA DA FALHA (PORQUE ESTÁ ERRADO?)	O	EFEITO	EFEITO DA FALHA						S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR	Grau de risco
													A	B	C	D	E	F						
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	E	MOTOR	MOTOR	E1	CONVERTER ENERGIA ELÉTRICA EM ENERGIA MECÂNICA	5	NÃO CONVERTER ENERGIA ELETTRICA EM MECÂNICA	C	AQUECIMENTO DO BOBINADO DO MOTOR	FALHA OU QUEBRADA VENTONINHA DE ARREFECIMENTO DO MOTOR OU FALHA NO PROCESSO DE REBOBINAMENTO DO MOTOR CAUSANDO CORRENTES PARASITAS	4	MOTOR NÃO IRÁ FUNCIONAR EM REGIME PERMANENTE	1	1	1	1	1	1	1	MANUTENÇÃO PREVENTIVA INCLUI ROTINA DE LUBRIFICAÇÃO DOS ROLAMENTOS DA VENTONINHA/CHECK-UP DO ATERRAMENTO	USO DE INSTRUMENTAÇÃO ESPECÍFICA (MEGÔMETRO E SENSORES DE TEMPERATURA)	1	4	BAIXO
	E	MOTOR	MOTOR	E1	CONVERTER ENERGIA ELÉTRICA EM ENERGIA MECÂNICA	5	NÃO CONVERTER ENERGIA ELETTRICA EM MECÂNICA	D	AQUECIMENTO DOS MANCAIS DO MOTOR	SOBRECARGA DA CARGA ACIONADA OU DEFICIÊNCIA NA LUBRIFICAÇÃO DOS MANCAIS	4	QUEIMA DO MOTOR; TRAVAMENTO DO EIXO DO MOTOR	1	1	1	1	1	2	2	MANUTENÇÃO PREVENTIVA INCLUI ROTINA DE LUBRIFICAÇÃO DOS ROLAMENTOS DO MOTOR	USO DE INSTRUMENTAÇÃO ESPECÍFICA (SENSORES DE TEMPERATURA)	1	8	BAIXO
	E	MOTOR	MOTOR	E1	CONVERTER ENERGIA ELÉTRICA EM ENERGIA MECÂNICA	5	NÃO CONVERTER ENERGIA ELETTRICA EM MECÂNICA	E	TRAVAMENTO DOS MANCAIS DO MOTOR	SOBRECARGA DA CARGA ACIONADA OU DEFICIÊNCIA NA LUBRIFICAÇÃO DOS MANCAIS	4	QUEIMA DO MOTOR; TRAVAMENTO DO EIXO DO MOTOR	1	1	1	1	1	2	2	MANUTENÇÃO PREVENTIVA INCLUI ROTINA DE LUBRIFICAÇÃO DOS ROLAMENTOS DO MOTOR	VARIÁVEL DE CORRENTE ELÉTRICA HISTORIZADA NO SUPERVISÓRIO/ALARMES DE CORRENTE ELEVADA NO SUPERVISÓRIO	1	8	BAIXO
	E	MOTOR	MOTOR	E1	CONVERTER ENERGIA ELÉTRICA EM ENERGIA MECÂNICA	5	NÃO CONVERTER ENERGIA ELETTRICA EM MECÂNICA	F	AUSÊNCIA DE TORQUE NO EIXO DO MOTOR	EIXO FADIGADO/TRINCA DO	4	CARGA NÃO SERÁ ACIONADA	1	1	1	1	1	2	2	MANUTENÇÃO PREDITIVA INCLUI ROTINA DE MONITORAMENTO DE VIBRAÇÃO NO EIXO DO MOTOR	USO DE INSTRUMENTAÇÃO ESPECÍFICA (SENSORES DE VIBRAÇÃO)	1	8	BAIXO

Continuação quadro 4-9 FMEA agitadores dos precipitadores (Autor, 2018)

SISTEMA	E	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	F	FUNÇÃO	FF	FALHA FUNCIONAL	MF	MODOS DE FALHAS (O QUE ESTA ERRADO?)	CAUSA DA FALHA (PORQUE ESTÁ ERRADO?)	O	EFEITO	EFEITO DA FALHA						S	CONTOLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR	Grau de risco
													A	B	C	D	E	F						
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	F	GAVETA DE ALIMENTAÇÃO	GAVETA DE ALIMENTAÇÃO	L	GARANTIR A ALIMENTAÇÃO E PROTEÇÕES ELÉTRICAS PARA O MOTOR	6	NÃO GARANTIR A ALIMENTAÇÃO NEM PROTEÇÕES ELÉTRICAS PARA O MOTOR	A	ABERTURA DOS FUSÍVEIS	SOBRECARGA DO SISTEMA	4	MOTOR ELÉTRICO NÃO PARTIRÁ	1	1	1	1	1	2	2	OPERAÇÃO MONITORA PELO SISTEMA SUPERVISÓRIO A CORRENTE ELÉTRICA DOS MOTORES OBSERVANDO O VALORES LIMITES/MANUTENÇÃO PREVENTIVA INCLUI ROTINA DE LIMPEZA E MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DOS FUSÍVEIS	VARIÁVEL DE CORRENTE ELÉTRICA HISTORIZADA NO SUPERVISÓRIO/ALARMS DE CORRENTE ELEVADA NO SUPERVISÓRIO	1	8	BAIXO
								B	FALHA NA BOBINA DO CONTATOR	SOBRECARGA DO SISTEMA	4	MOTOR ELÉTRICO NÃO PARTIRÁ	1	1	1	1	1	2	2	MANUTENÇÃO PREVENTIVA INCLUI ROTINA DE CHECK-UP, LIMPEZA DOS CONTATOS FIXOS E MÓVEIS DO CONTATOR E LIMPEZA E TESTE DA BOBINA	USO DE INSTRUMENTAÇÃO ESPECÍFICA (MULTITESTE)	1	8	BAIXO
								C	BAIXA ISOLAÇÃO /CURTO CIRCUITO NOS CABOS DE FORÇA DO MOTOR	ROMPIMENTO DO REVESTIMENTO DE PVC DOS CABOS ELÉTRICOS OU CORTA DA SECÇÃO DO CONDUTOR METÁLICO DOS CABOS	1	MOTOR ELÉTRICO NÃO PARTIRÁ	1	1	1	1	2	2	2	MANUTENÇÃO PREVENTIVA INCLUI ROTINA DE MEGGER DOS CABOS (É ACEITA ISOLAÇÃO ACIMA DE 3MΩ).	USO DE INSTRUMENTAÇÃO ESPECÍFICA (MEGÓMETRO)	1	2	BAIXO

Legenda					
SEGURANÇA E SAÚDE	A	REGULAMENTAÇÃO	C	IMPACTOS FINANCEIROS	E
MEIO AMBIENTE	B	REPUTAÇÃO E IMAGEM	D	INTEGRIDADE DA PLANTA	F

5 RESULTADOS E DISCURSÕES

Após a análise dos modos de falhas e seus efeitos ao sistema de agitação obteve-se os resultados a seguir.

Na análise feita do FMEA na quadro 4-9 chegou-se à conclusão que de 31 riscos evidenciados dos quais 8 são moderados 7 são elevados e 16 são baixos como visto na quadro 5-1:

Quadro 5-1 Quantificação da classificação de riscos (Autor, 2018).

Descrição do risco	Total
Risco Elevado	8
Risco Moderado	7
Risco Baixo	16
Total de riscos	31

Com base na figura 5-1 que apresenta um gráfico com as porcentagens de incidência segundo o grau de risco, apresentando o grau de risco baixo em 52%, o grau de risco moderado em 22% e o grau de risco elevado em 26% da totalidade dos riscos.

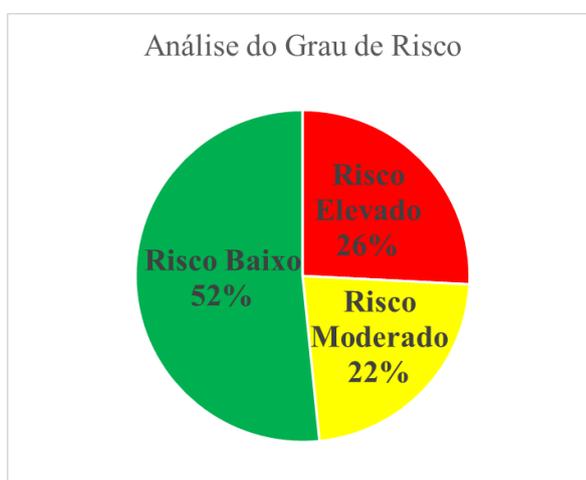


Figura 5-1 Análise de grau de risco (Autor, 2018)

Após a análise da quadro 5-1 e da figura 5-1 pode-se concluir que 26% da totalidade dos riscos requerem ações imediatas para diminuir seu grau de risco. Os 74% restante tem grau de

urgência menor que não obrigam a uma intervenção imediata no agitador para implementar as ações de melhoria.

Os efeitos das falhas foram dividido em diversas análises dentre elas tem-se: segurança e saúde, meio ambiente, regulamentação, reputação e imagem, impactos financeiros, integridade da planta, neste estudo obteve-se uma maior atenção e maiores pontuações para os impactos financeiros como pode-se evidenciar na figura 17.

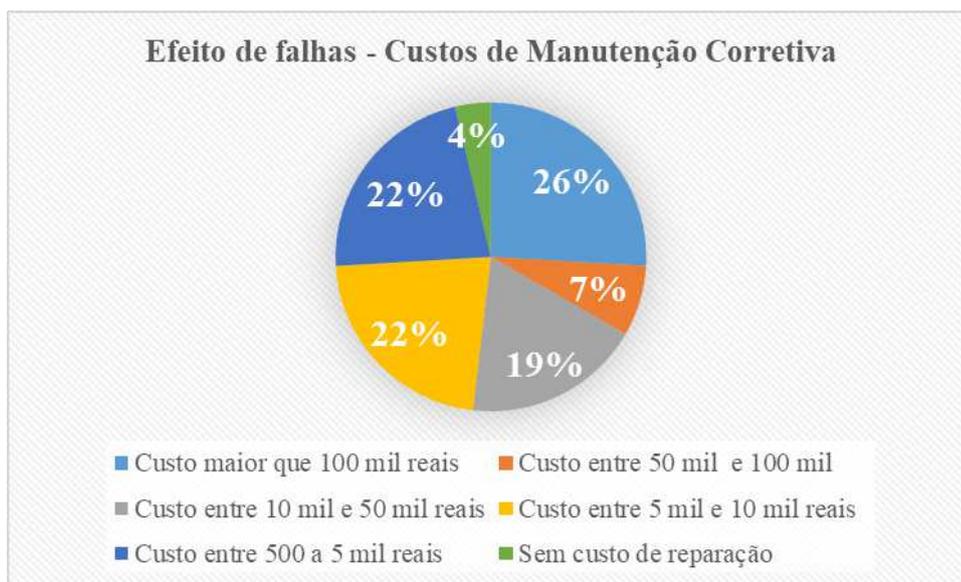


Figura 5-2 Custo de Manutenção Corretiva de componentes do sistema de agitação (Autor, 2018).

A figura 5-2 apresenta um gráfico que é possível observar os efeitos das falhas classificados pelos seus custos de manutenção Corretiva, ao analisar-se observa-se que 26% das falhas apresentam custos que ultrapassam 100 mil reais em apenas uma manutenção. Logo abaixo deste tem-se os efeitos das falhas que custam entre 500 reais e 5.000 reais e os custos entre 5000 e 10.000 reais que representam 22% dos efeitos das falhas cada, já os custos entre 10.000 e 50.000 representam 19% do total e os custos entre 50 e 100 mil representam 7% e por fim o que apresenta 4% dos efeitos das falhas são os que não geram custos de reparo.

5.1 Análise e decisão

A quadro 5-2 é a análise decisional em que se têm representado a lógica de decisão para a seleção das atividades é baseada na quadro 2.6 que é o modelo de formulário decisional, para que fosse preenchida as informações neste formulário utilizou-se como referências do FMEA (F) para a função (FF) para a falha funcional e (FM) para o modo de falha. Na avaliação das consequências temos (H) para falha oculta e para a avaliação de qual natureza do seu impacto segundo critérios de (S) segurança, (E) Meio ambiente, (O) Operacionais (N) Econômicos.

Nas colunas referente ao diagrama decisional e a atividades default podem ser classificadas assim: (H1, S1, O1, N1) receberão inspeção preditiva, para as atividades (H2, S2, O2, N2) tarefas de restauração programada, para (H3, S3, O3, N3) tarefas de substituição programadas, (H4, S4, H5) são atividades default e a quadro se completa com as informações das tarefas propostas, da frequência inicial e do responsável pela execução.

5.2 Aplicabilidade e efetividade

Classificações da aplicabilidade da manutenção foram apresentadas na quadro 5-2 nos itens do diagrama decisional e das atividades default, pois a aplicabilidade definirá os processos lógicos que são utilizados para determinar as ações que podem ser tomadas para prevenir ou corrigir os modos de falhas.

Quanto as efetividades das atividades são influenciadas pelos fatores de segurança, operacional e econômicos que variam pelo tipo de atividade desenvolvida tendo como base as atividades descritas na quadro 2-7.

Para este estudo de caso nas aplicações das atividades temos a quadro 5-3 para representar a aplicabilidade e efetividade das atividades propostas.

5.3 Seleção das atividades de manutenção

Para cada tarefa analisada foi utilizado o diagrama decisional apresentado na figura 3-7 e os critérios de aplicabilidade e efetividade quadro 3-6. A primeira etapa foi a elaboração e preenchimento do formulário de esquema decisional ilustrado na quadro 4-10, onde os modos de falhas dos componentes foram classificados quanto a viabilidade e natureza do seu impacto.

Após as análises da etapa do FMEA que consiste em classificar o NPR dos modos de falhas foram selecionadas ações de correção para que possa assim garantir uma maior confiabilidade do sistema. Após a conclusão do processo de seleção de atividades a periodicidade das tarefas foi estabelecida com base na experiência dos analistas e mantenedores, histórico dos equipamentos e documentação técnica e informações dos fabricantes.

A análise completa resultou na identificação de nove ações de mitigação que variam entre manutenções Corretivas, elaborações de procedimentos, avaliações de mudanças de projeto, entre outras.

5.3.1 Plano de manutenção

Após a seleção das tarefas, foram atualizados os planos de manutenção programada (plano Preventivo, plano de Inspeção Preditiva) com as tarefas e frequências estabelecidas.

É esperado que após atualização dos planos de manutenção, as atividades se incorporarem a rotina sistêmica da equipe de manutenção da fábrica, sendo realizado conforme o planejamento da manutenção e periodicidade estabelecida.

Como pode-se observar na quadro 4-11 foi estabelecida uma rotina para a manutenção geral destes tanques onde todo o conjunto deve ser parado de forma programada, em que todos os componentes devem ser inspecionados e feito as suas devidas manutenções, além das manutenções preventivas e inspeções em periodicidades menores.

Quadro 5-2 Quadro análises de decisões do FMEA (Autor, 2018)

Referência Informação			Avaliação de consequências				Diagrama decisional			Ação Default			Tarefa Proposta	Frequencia inicial	Responsável
F	FF	FM	H	S	E	O	H1 S1 O1 N1	H2 S2 O2 N2	H3 S3 O3 N3	H4	H5	S4			
A1	1	A	S	N	N	S	N	N	N	S	N	N	REPARO FUNCIONAL OU A CADA 5 ANO COM BASE NA DATA DE FABRICAÇÃO DO ACOPLAMENTO	18 MESES/ OCASIONAL	MANUTENÇÃO MECANICA
A1	1	A	S	N	N	N	S	N	N	N	N	N	GARA NTIR O CONTROLE DE DENSIDADE DO MATERIAL COM TREINAMENTO DE RECICLAGEM PARA OS OPERADORES	OCASIONAL	ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO
B1	2	B	S	N	N	S	S	N	N	N	N	N	INSPEÇÃO PREDITIVA EM ROTA DOS AGITADORES	QUINZENAL	MANUTENÇÃO PREDITIVA
B2	2	B	S	N	N	N	S	N	N	N	N	N	REVISÃO PROCEDIMENTO DE LUBRIFICAÇÃO	QUINZENAL	MANUTENÇÃO PREDITIVA
B3	2	C	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	INSPEÇÃO PREDITIVA COM RETIRADA DE ÓLEO PARA AMOSTRAGEM E ENSAIOS EM LABORATÓRIO	SEMESTRAL	MANUTENÇÃO PREDITIVA
B4	2	D	S	N	N	S	N	N	N	N	S	N	REPROJETO DE UM CONJUNTO DE ENGENAGAM QUE ALTERE O FATOR DE REDUÇÃO	OCASIONAL	ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO
C2	3	B	S	N	N	S	N	N	N	S	N	N	ELABORAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDA PARA OS EIXOS	OCASIONAL	ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO
D1	4	A	S	N	N	S	N	N	S	N	N	N	SUBSTITUIÇÃO PREVENTIVA	24 MESES	MANUTENÇÃO MECANICA

Quadro 5-3 Critérios de aplicabilidade e efetividade da manutenção (Autor,2018)

SISTEMA	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	MODOS DE FALHAS (O QUE ESTA ERRADO?)	O	S	D	NPR	Grau de risco	AÇÕES RECOMENDADAS	ATIVIDADE	Tarefa	Aplicabilidade	Efetividade		
													Segurança	Operacional	Econômico
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	ACOPLAMENTO	ELEMENTO ELÁSTICO	RUPTURA DO ELEMENTO ELÁSTICO	4	3	2	24	ELEVADO	REVISAR DO PLANO DE PREVENTIVA PARA PRIORIZAR DE ACORDO COM AS CONDIÇÕES DOS TANQUES E RESIDUAL LIFE.	REPARO FUNCIONAL OU A CADA 5 ANO COM BASE NA DATA DE FABRICAÇÃO DO ACOPLAMENTO	Deteção de Falhas	Possibilidade de identificar falhas e defeitos ocultos em operação	Detectar falhas ocultas reduzindo risco de falhas múltiplas	Geralmente não recomendado. Tarefa deve detectar falhas ocultas e possuir custo reduzido	Detectar falhas ocultas evitando efeitos econômicos e possuir custo reduzido
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	ACOPLAMENTO	ELEMENTO ELÁSTICO	RUPTURA DO ELEMENTO ELÁSTICO	3	4	2	24	ELEVADO	RECYCLAR TIME OPERACIONAL QUANTO ÀS VARIÁVEIS DE PROCESSOS E SEUS IMPACTOS DO CONTROLE DE SÓLIDOS	GARANTIR O CONTROLE DE DENSIDADE DO MATERIAL COM TREINAMENTO DE RECICLAGEM PARA OS OPERADORES	Serviço Operacional	Deve reduzir a taxa de deterioração funcional	Reduzir o risco de falha	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Possuir custo reduzido
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	REDUTOR	ENGRENAGENS	FADIGA SUPERFICIAL DAS ENGRENAGENS	4	4	3	48	ELEVADO	VERIFICAÇÃO DOS PARAMETROS DAS ENGRENAGENS	INSPEÇÃO PREDITIVA EM ROTA DOS AGITADORES	Inspeção Preditiva	Possibilidade de identificar falhas e defeitos ocultos em operação por teste ou inspeção. Intervalo PF adequado.	Reduzir probabilidade ou risco de falha garantindo uma operação segura	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Tarefa deve possuir custo menor que o da falha evitada.
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	REDUTOR	ENGRENAGENS	FADIGA SUPERFICIAL DAS ENGRENAGENS	3	2	4	24	ELEVADO	GARANTIR TREINAMENTO DA EQUIPE DA OFICINA PARA MONTAGEM CORRETA DOS REDUTORES	REVISÃO PROCEDIMENTO DE LUBRIFICAÇÃO	Serviço Operacional	Deve reduzir a taxa de deterioração funcional	Reduzir o risco de falha	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Possuir custo reduzido

SISTEMA	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	MODOS DE FALHAS (O QUE ESTA ERRADO?)	O	S	D	NPR	Grau de risco	AÇÕES RECOMENDADAS	ATIVIDADE	Tarefa	Aplicabilidade	Efetividade		
													Segurança	Operacional	Econômico
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	REDUTOR	ENGRENAGENS	FRATURA FRÁGIL DAS ENGRENAGENS;	3	2	4	24	ELEVADO	SOLICITAR PARA O FABRICANTE ALTERAÇÃO DO ENGRENAMENTO INTERNO PARA AUMENTO DE VELOCIDADE RECICLAR TIME OPERACIONAL QUANTO ÀS VARIÁVEIS DE PROCESSOS E SEUS IMPACTOS DO CONTROLE DE SÓLIDOS	REPROJETO DE UM CONJUNTO DE ENGRENAGENS QUE ALTERE O FATOR DE REDUÇÃO	Reprojeto	Nenhuma atividade anterior consegue identificar ou corrigir a falha de maneira isolada.	Reduzir probabilidade ou risco de falha garantindo uma operação segura.	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Combinação de tarefas possui custo superior ao da falha
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	EIXO	EIXOS DE SAÍDA PARA A HÉLICE	FRATURA NA SOLDA DO EIXO	4	3	2	24	ELEVADO	ELABORAR UMA ESTRATÉGIA DE SUBSTITUIÇÃO DOS EIXOS FORA DE ESPECIFICAÇÃO PARA AMBAS UNIDADES PONTOS DE FALHAS DIFERENTES).	ELABORAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDA PARA OS EIXOS	Serviço Operacional	Deve reduzir a taxa de deterioração funcional	Reduzir o risco de falha	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Possuir custo reduzido
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	REDUTOR	ENGRENAGENS	DESGASTE POR CONTATO DAS ENGRENAGENS ;	5	2	4	40	ELEVADO	ESTUDAR PROJETO PARA INSTALAÇÃO DE TROCADOR DE CALOR PARA O LUBRIFICANTE. ESTABELEÇER PADRÕES DE NÍVEIS DE ÓLEO NOS VISORES. REVISAR PROCEDIMENTOS DE LUBRIFICAÇÃO TESTAR LUBRIFICANTE MAIS EFICIENTE	INSPEÇÃO PREDITIVA COM RETIRADA DE ÓLEO PARA AMOSTRAGEM E ENSAIOS EM LABORATÓRIO	TRIMESTRAL	MANUTENÇÃO PREDITIVA	Inspeção Preditiva	Possibilidade de identificar falhas e defeitos ocultos em operação por teste ou inspeção. Intervalo PF adequado.	Reduzir probabilidade ou risco de falha garantindo uma operação segura
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	HÉLICE	HÉLICE	CHOQUE DA HÉLICE NO DRAFTUBE	3	3	3	27	ELEVADO	ELABORAR UM PROCEDIMENTO PARA VERIFICAÇÃO DE VIDA ÚTIL DA HÉLICE	SUBSTITUIÇÃO PREVENTIVA	Substituição Preventiva	O item apresenta uma idade definida (de preferência um visível) no qual há um aumento da probabilidade condicional do modo de falha em consideração e o reparo preventivo não é viável (razões de segurança, técnicas, econômicas)	Reduzir probabilidade ou risco de falha garantindo uma operação segura	Reduzir risco de falha a nível aceitável	Tarefa deve possuir custo menor que o da falha evitada.

Quadro 5-4 Procedimento de manutenção dos precipitadores (Autor, 2018)

PLANILHA DE MCC	PROCEDIMENTO DE MANUTENÇÃO DOS TANQUES PRECIPITADORES			
	TAREFA PROPOSTA	EXECUTOR	FREQUENCIA	OBSERVAÇÕES
1	LAVAGEM CAUSTICA DO TANQUE PARA LIMPEZA	MANUT. PROCESSO	18 MESES	
2	MEDIÇÕES TOPOGRAFICAS PARA ALINHAMENTO DO DRAFTUBE	MANUT. PROCESSO	18 MESES	
3	VERIFICAÇÃO DAS CONDIÇÕES DOS CABOS DE SUSTENTAÇÃO DO DRAFTUBE AJUSTAR SE NECESSÁRIO	MANUT. PROCESSO	18 MESES	
4	VERIFICAÇÃO DA CONDIÇÃO DOS TIRANTES LATERAIS AJUSTAR SE NECESSÁRIO	MANUT. PROCESSO	18 MESES	
5	FAZER ANALISE DE TOPOGRAFIA PARA AVALIAR A CENTRALIZAÇÃO E ALINHAMENTO DO DRAFTUBE	CONTRATADA	18 MESES	
6	FAZER ALINHAMENTO DO DRAFTUBE CASO NECESSÁRIO	MANUT. PROCESSO	18 MESES	
7	INSPEÇÃO E TROCA SE NECESSARIO DAS VÁLVULAS DE FUNDO DOS TANQUES	MANUT. PROCESSO	18 MESES	
8	VERIFICAR CONDIÇÕES DA HÉLICE QUANTO AO DESGASTE SUBSTITUIR SE NECESSÁRIO	MANUT. PROCESSO	18 MESES	
9	VERIFICAR AS CONDIÇÕES DAS BUCHAS DE FUNDO DAS HÉLICES	MANUT. PROCESSO	18 MESES	
10	INSPECIONAR EIXO TRIPARTIDO QUANTO A TRINCAS	MANUT. PROCESSO	18 MESES	
11	SUBSTITUIR O REDUTOR, SE NECESSÁRIO	MANUT. PROCESSO	APÓS LAUDO DE PREDITIVA	
12	SUBSTITUIR O MOTOR, SE NECESSÁRIO	MANUT. ELETRICA	APÓS LAUDO DE PREDITIVA	
13	ALINHAR O REDUTOR E A HÉLICE NA CARVA DO DRAFTUBE	MANUT. PROCESSO	18 MESES	
14	FIXAR O REDUTOR NA BASE COM PARAFUSOS	MANUT. PROCESSO	18 MESES	

	TAREFA PROPOSTA	EXECUTOR	FREQUENCIA	OBSERVAÇÕES
15	SUBSTITUIR O ÓLEO	MANUT. MECANICA	APÓS LAUDO DE PREDITIVA	
16	ALINHAR REDUTOR E MOTOR COM ACOPLAMENTO	MANUT. MECANICA	18 MESES	
17	SUBSTITUIR ACOPLAMENTO	MANUT. MECANICA	5 ANOS / OCASIONAL	5 ANOS A PARTIR DA DATA DE FABRICAÇÃO DO ACOPLAMENTO OU OCASIONAL EM CASO DE QUEBRA
18	ROTINA DE INSPEÇÃO PREDITIVA NOS REDUTORES QUANTO A VIBRAÇÃO	MANUT. PREDITIVA	QUINZENAL	
19	ROTINA DE INSPEÇÃO PREDITIVA NOS REDUTORES QUANTO AO ÓLEO	MANUT. PREDITIVA	SEMESTRAL	
20	ROTINA DE INSPEÇÃO PREDITIVA NOS MOTORES E GAVETA TERMOGRAFIA	MANUT. PREDITIVA	MENSAL	
21	ROTA DE LUBRIFICAÇÃO	MANUT. MECANICA	QUINZENAL	

Quadro 5-5 Resumo do FMEA (Autor, 2018)

SISTEMA	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHAS (O QUE ESTÁ ERRADO)	CAUSA DA FALHA (PORQUE ESTÁ ERRADO?)	O	EFEITO	S	CONTOLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR	Grau de risco	AÇÕES RECOMENDADAS	ATIVIDADE	FREQUENCIA	RESPONSÁVEL
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	ACOPLAMENTO	ELEMENTO ELÁSTICO	UNIR DUAS EXTREMIDADES (EIXOS) DE EQUIPAMENTOS DISTINTOS TRANSMITINDO FORÇA	NÃO UNIR AS EXTREMIDADES DOS EIXOS	RUPTURA DO ELEMENTO ELÁSTICO	TRAVEMENTO DO REDUTOR	4	PARADA DA AGITAÇÃO DO TANQUE	3	NÃO HÁ	VISUAL	2	24	ELEVADO	REVISAR DO PLANO DE PREVENTIVA PARA PRIORIZAR DE ACORDO COM AS CONDIÇÕES DOS TANQUES E RESIDUAL LIFE.	REPARO FUNCIONAL OU A CADA 5 ANO COM BASE NA DATA DE FABRICAÇÃO DO ACOPLAMENTO	DURANTE OVERHAUL DO TANQUE OU OCASIONAL	MANUTENÇÃO MECÂNICA
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	ACOPLAMENTO	ELEMENTO ELÁSTICO	UNIR DUAS EXTREMIDADES (EIXOS) DE EQUIPAMENTOS DISTINTOS TRANSMITINDO FORÇA	NÃO UNIR AS EXTREMIDADES DOS EIXOS	RUPTURA DO ELEMENTO ELÁSTICO	SOBRECARGA (DENSIDADE DO MATERIAL ELEVADA)	3		4	CONTROLE DE PROCESSO	VISUAL	2	24	ELEVADO	RECICLAR TIME OPERACIONAL QUANTO ÀS VARIÁVEIS DE PROCESSOS E SEUS IMPACTOS DO CONTROLE DE SÓLIDOS	GARANTIR O CONTROLE DE DENSIDADE DO MATERIAL COM TREINAMENTO DE RECICLAGEM PARA OS OPERADORES	OCASIONAL	ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	REDUTOR	ENGRENAGENS	RECEBER A ROTAÇÃO E POTENCIA DO MOTOR E TRANSMITIR PARA O EIXO DE SAÍDA CONVERTENDO-OS EM TORQUE PARA GIRAR A HÉLICE	TRANSMITIR MENOS QUE "X" DE POTÊNCIA	FADIGA SUPERFICIAL DAS ENGRENAGENS	FORMAÇÃO E PROPAGAÇÃO DE TRINCAS NA SUPERFÍCIE CAUSADO PELO ATRITO ENTRE OS DENTES DAS ENGRENAGENS	4	QUEBRA DE DENTES DE ENGRENAGENS	4	NÃO HÁ	PREDITIVA E AUDITIVO ELEVADO	3	48	ELEVADO	VERIFICAÇÃO DOS PARÂMETROS DAS ENGRENAGENS	INSPEÇÃO PREDITIVA EM ROTA DOS AGITADORES	QUINZENAL	MANUTENÇÃO PREDITIVA
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	REDUTOR	ENGRENAGENS	RECEBER A ROTAÇÃO E POTENCIA DO MOTOR E TRANSMITIR PARA O EIXO DE SAÍDA CONVERTENDO-OS EM TORQUE PARA GIRAR A HÉLICE	TRANSMITIR MENOS QUE "X" DE POTÊNCIA	FADIGA SUPERFICIAL DAS ENGRENAGENS	FOLGA DOS EIXOS	3	VIBRAÇÃO EXCESSIVA DO CONJUNTO	2	CONTROLE DE MONTAGEM	PREDITIVA	4	24	ELEVADO	GARANTIR TREINAMENTO DA EQUIPE DA OFICINA PARA MONTAGEM CORRETA DOS REDUTORES	REVISÃO PROCEDIMENTO DE LUBRIFICAÇÃO	QUINZENAL	MANUTENÇÃO PREDITIVA

SISTEMA	EQUIPAMENTO	COMPONENTE	FUNÇÃO	FALHA FUNCIONAL	MODOS DE FALHAS (O QUE ESTÁ ERRADO)	CAUSA DA FALHA (PORQUE ESTÁ ERRADO?)	O	EFEITOS	S	CONTROLE PREVENTIVO	CONTROLE DE DETECÇÃO	D	NPR	Grau de risco	AÇÕES RECOMENDADAS	ATIVIDADE	FREQUÊNCIA	RESPONSÁVEL
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	REDUTOR	ENGRENAGENS	RECEBER A ROTAÇÃO E POTENCIA DO MOTOR E TRANSMITIR PARA O EIXO DE SAÍDA CONVERTENDO-OS EM TORQUE PARA GIRAR A HÉLICE	TRANSMITE MENOS QUE "X" DE POTÊNCIA	DESGASTE POR CONTATO DAS ENGRENAGENS;	DEFICIÊNCIA NA LUBRIFICAÇÃO DO REDUTOR	5	QUEBRAS DE DENTES DE ENGRENAGENS	2	ROTA DE LUBRIFICAÇÃO	PREDITIVA E SENSITIVO	4	40	ELEVADO	ESTUDAR PROJETO PARA INSTALAÇÃO DE TROCADOR DE CALOR PARA O LUBRIFICANTE. ESTABELEÇER PADRÕES DE NÍVEIS DE ÓLEO NOS VISORES. REVISAR PROCEDIMENTOS DE LUBRIFICAÇÃO TESTAR LUBRIFICANTE MAIS EFICIENTE	INSPEÇÃO PREDITIVA COM RETIRADA DE ÓLEO PARA AMOSTRAGEM E ENSAIOS EM LABORATÓRIO	TRIMESTRAL	MANUTENÇÃO PREDITIVA
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	REDUTOR	ENGRENAGENS	RECEBER A ROTAÇÃO E POTENCIA DO MOTOR E TRANSMITIR PARA O EIXO DE SAÍDA CONVERTENDO-OS EM TORQUE PARA GIRAR A HÉLICE	TRANSMITE MENOS QUE "X" DE POTÊNCIA	FRATURA FRÁGIL DAS ENGRENAGENS;	SOBRECARGA EXTERNA IMPREVISÍVEL	3	QUEBRAS DE DENTES DE ENGRENAGENS	2	NÃO HÁ	PREDITIVA	4	24	ELEVADO	SOLICITAR PARA O FABRICANTE ALTERAÇÃO DO ENGRENAMENTO INTERNO PARA AUMENTO DE VELOCIDADE RECYCLAR TIME OPERACIONAL QUANTO ÀS VARIÁVEIS DE PROCESSOS E SEUS IMPACTOS DO CONTROLE DE SÓLIDOS	REPROJETO DE UM CONJUNTO DE ENGENHARIA QUE ALTERE O FATOR DE REDUÇÃO	OCASIONAL	ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	EIXO	EIXOS DE SAÍDA PARA A HÉLICE		NÃO TRANSMITIR O TORQUE	FRATURA NA SOLDA DO EIXO	PROCEDIMENTOS DE SOLDAGENS INCORRETOS	4	PARADA DA AGITAÇÃO	3	PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM E ENSAIOS NAS SOLDAS	PREDITIVA	2	24	ELEVADO	ELABORAR UMA ESTRATÉGIA DE SUBSTITUIÇÃO DOS EIXOS FORA DE ESPECIFICAÇÃO PARA AMBAS UNIDADES (PONTOS DE FALHAS DIFERENTES).	ELABORAÇÃO DE PROCEDIMENTO DE SOLDA PARA OS EIXOS	OCASIONAL	ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO
SISTEMA DE AGITAÇÃO DOS PRECIPITADORES	HÉLICE	HÉLICE	GARANTIR A PROPULSÃO DO SISTEMA	NÃO AGITAR O MATERIAL	CHOQUE DA HÉLICE NO DRAFTUBO	DESBALANCEAMENTO DA HÉLICE PELO DE VIDA ÚTIL	3	DEFORMAÇÃO DA HÉLICE, EXCESSIVO NO REDUTOR	3	INSPEÇÃO VISUAL	VISUAL	3	27	ELEVADO	ELABORAR UM PROCEDIMENTO PARA VERIFICAÇÃO DE VIDA ÚTIL DA HÉLICE	SUBSTITUIÇÃO PREVENTIVA	BIANUAL	MANUTENÇÃO MECÂNICA

CONCLUSÃO

O trabalho apresenta a metodologia de implantação do MCC com foco na redução e eliminação das falhas no sistema de agitação de precipitadores foram observados no período da excursão contribuições de natureza teórica e prática.

Com a aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade, foi feito o estudo das diversas formas de como os componentes do sistema de agitação dos precipitadores podem vir a falhar, sendo assim proposto as ações de mitigação pertinentes a serem tomadas como pode-se observar na quadro 5-5..

Para que fosse desenvolvida a metodologia foi necessário realizar a cauterização das funções do sistema, realizar a identificação dos modos de falhas que foi realizado com a aplicação do FTA e do FMEA, classificando os riscos com a pontuação do NPR para que os críticos fossem determinados ações de mitigação dos riscos.

Como contribuição deste trabalho pode-se citar:

- Consolidação da MCC como processo de documentação na análise das funções, falhas e identificação das ações de manutenção;
- todas as etapas da análise exigem um alto grau de conhecimento do sistema em questão, sendo necessária a participação de profissionais de todas as áreas para um resultado otimizado;
- a inclusão de parâmetros de criticidade específicos para o sistema em análise, avaliando-os sob o contexto operacional, já tradicionalmente aplicado na MCC, mas também enfatizando o caráter econômico do processo;

Durante a análise algumas dificuldades foram observadas:

- A periodicidade de manutenção poderia ser mais efetiva com aplicação de métodos estatísticos e uma análise de dados mais profunda.
- A falta de histórico de falhas necessitando assim de busca de dados de memórias e baseados em ordens de serviços;

Para trabalhos futuro, sugere-se:

- a) Utilização de software de análise MCC, facilitando assim o processo de desenvolvimento e aumentando a confiança na documentação.
- b) Criação de bancos de dados dos equipamentos para que se possa obter um histórico mais preciso, para que se possa fazer uma análise quantitativa baseada em dados estatísticos e matemáticos, para determinar a periodicidade de manutenção de forma mais eficaz.
- c) Análise das melhorias obtidas com a aplicação das ações propostas neste trabalho.

Pode ser considerado que este trabalho obteve seus objetivos alcançados que consistia na apresentação da metodologia MCC e em propor ações que visam na redução das falhas que foram caracterizadas com críticas ao sistema.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AIAG. **Manual de referência FMEA 4ª edição. AIAG - Automotive Industry Action Group - AIAG Reference guide - Potential Failure Mode and Effect Analysis (FMEA)**. [S.l.]: STANDARD, 2008.

ARABIAN-HOSEYNABADI, H.; ORAEE, H.; TAVNER,. **Failure modes and effects analysis (FMEA) for wind turbines**. [S.l.]: International Journal of Electrical Power & Energy Systems, v. 32, 2010. 817-824 p.

BACKLUND, F. **Managing the Introduction of Reliability-Centred - Thesys (Doctoral)**. Lulea: Division of Quality and Environmental Management, Lulea University of Technology, 2003. 217 p.

BARAN, L. R. **MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE APLICADA Monografia de especialização**. Ponta Grossa: [s.n.], 2011.

BARROS, P. A. M. **Métodos para análises de falhas apostila**. São Luís: Faene, 2017.

BLOOM, N. **Reliability Centered Maintenance (RCM): implementation made simple**. 1ª. ed. ed. New York: McGraw-Hill Professional, 2006.

CAMPOS, V. F. **Gerenciamento da rotina do trabalho do dia-a-dia**. Minas Gerais : INDG Tecnologia e serviços Ltda., 1999.

COMMISSION'S., I. E. **IEC 60812: Analysis techniques for system reliability – procedure for failure mode and effects analysis FMEA**). Switzerland: [s.n.], 2006.

DARIDO, S. C.; SOUZA JÚNIOR, O. M. D. **Para Ensinar Educação Física: possibilidades de intervenção na escola**. Campinas: Papirus, 2007.

DEDIDNI. **Metodologia e sistemas de projeto**. Campinas: [s.n.], 2015.

DIAS, G. A. F. **Notas de Aulas Manutenção Industrial**. São Luís : [s.n.], 2016.

FERNANDES, J. M. R. **PROPOSIÇÃO DE ABORDAGEM INTEGRADA DE MÉTODOS DA QUALIDADE BASEADA NO FMEA**. Curitiba : [s.n.], 2005.

FERREIRA, A. B. D. H. **Dicionário da língua portuguesa**. 5. ed. ed. Curitiba : Positivo , 2010.

FLORENCE, G.; CALIL , S. J. Uma nova perspectiva no controle dos riscos da utilização e tecnologia médico hospitalar. **TECNOLOGIA PARA A SAUDE** , 2005.

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

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6 ed. ed. São Paulo: Atlas , 2008.

GISSONI, R. T. **Apostila "Manutenção Centrada em Confiabilidade"**. São Luís: FAENE, 2017.

HOLANDA, M. D. A. UTILIZAÇÃO DO DIAGRAMA DE ISHIKAWA E BRAINSTORMING PARA SOLUÇÃO DO PROBLEMA DE ASSERTIVIDADE DE ESTOQUE EM UMA INDÚSTRIA DA REGIÃO METROPOLITANA DE RECIFE. **XXIX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**, SÃO PAULO , 06 - 09 OUTUBRO 2009. 4.

JAQUES, M. P. et al. Aplicação do FMECA no gerenciamento de risco em um empresa de transporte rodoviário de cargas. **Revista de contabilidade e controladoria**, ISSN 1984-6266, p. 1-22, 2010.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção: função estratégica**. 3ª. ed. Rio de Janeiro : Qualitymark , 2009.

KOBBACY, A. H.; MURTHY, P. **Complex System Maintenance Handbook**. 1ª ed. ed. Springer : Manchester , 2008.

LEMMIS, L. **Reliability: probabilistic models and statistical methods.** New York: Prentice Hall 384p., 1995.

LEVERETTE, J. C. **An Introduction to the US Naval Air System Command RCM.** [S.l.]: In: RCM 2006 - The Reliability Centred Maintenance Managers' Forum. 2006 Anais.: p. 22-29., 2006.

MOHH, R. R. **Failure Mode and Effects Analysis.** [S.l.]: Sverdup, 1994.

MOUBRAY, J. **Reliability centered Maintenance.** 2 ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

MOURA, C. **Análise de modos e efeitos de falha potencial (FMEA): manual de referência.** São Paulo: IQA, 2000.

NAVAIR. **Management Manual: guidelines for the naval aviation Reliability-Centered Maintenance Process.** USA: NAVAIR 00-25-403. Naval Air Systems Command., 2005.

NORD, L. O. et al. **A qualitative reliability and operability analysis of an integrated reforming combined cycle plant with CO2 capture.** [S.l.]: International Journal of Greenhouse Gas Control, v. 3, 2009. 411-421 p. ISBN 4.

NORMA BRASILEIRA NBR 5462. **ABNT - Associação Brasileira de Normas e técnicas, Confiabilidade e Mantabilidade.** Rio de Janeiro : [s.n.], 1994.

NOWLAN , F. S.; HEAP, H. F. **Reliability Centered Maintenance.** NTIS AD/ A066-579: December, 1978.

PAPIC, L.; ARONOV, J. & P. M. **Safety Based Maintenance Concept. International Journal of Realibity, Quality and Safety Engineering.** New Jersey : [s.n.], v. 16, 2009. 533-549 p. ISBN 6.

PEDROSA, B. M. M. **Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) aplicada a um Secador Industrial**. Lisboa : [s.n.], 2014.

RAUSAN, M.; HOYLAND, A. **System Reability Theory: Models, Statistical Methods and applications**. 2 ed. ed. New York : Jon Wiley, 2003.

ROCHA, L. **Descritivo do processo Bayer da refinaria Alumar**. [S.l.]: [s.n.], 2013.

RODRIGUES, E. **RAF- Registro de análise de falhas**. São Luís: Vale, 2008.

SALGADO, M. D. F. P. **Aplicação de Técnicas de Otimização a Engenharia de confiabilidade**. Belo Horizonte: [s.n.], 2008.

SIQUEIRA, I. P. D. **Manutenção centrada em confiabilidade - Manual de implementação**. Rio de Janeiro: Quaitymark, 2014.

SMITH, A. M. **Reliability-Centered Maintenance**. Boston: McGraw-Hill, 1993.

SMITH, A. M.; HINCHCLIFFE, G. R. **RCM: gateway to world class maintenance**. 2^a ed. ed. Heinemann: Burlington: Elsevier Butterworth, v. 1, 2004.

VIANA, H. R. G. **Planejamento e controle da Manutenção**. Rio de Janeiro : Qualitymark, 2002.

ZAIONS, D. R. **Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma Planta de Celulose e Papel**. Porto Alegre,: [s.n.], 2003.

ZAIONS, D. R. **Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma Planta de Celulose e Papel. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. 219 p.