



Renan Vinicyus Perinazzo

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO
CENTRADA NA CONFIABILIDADE EM UMA BANCADA DE
TESTES DINÂMICOS**

Horizontina

2014

Renan Vinicyus Perinazzo

**PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO
CENTRADA NA CONFIABILIDADE EM UMA BANCADA DE
TESTES DINÂMICOS**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Produção, pelo Curso de Engenharia de Produção da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Leonardo Teixeira Rodrigues, Especialista.

Horizontina

2014

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

“Proposta de implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade em uma bancada de testes dinâmicos”

Elaborada por:

Renan Vinicyus Perinazzo

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em
Engenharia de Produção

**Aprovado em: 12/11/2014
Pela Comissão Examinadora**

**Especialista. Leonardo Teixeira Rodrigues
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

**Especialista. Ivete Linn Ruppenthal
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Engenheiro. Paulo Augusto Gubert
John Deere Brasil**

**Horizontalina
2014**

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a família e amigos, que estiveram presentes nesta jornada acreditando no meu potencial e apoiando as minhas decisões.

AGRADECIMENTO

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, por me proporcionar saúde e força para a conclusão deste curso de graduação.

Agradeço de forma muito especial aos meus pais, meu irmão e minha companheira, pelas palavras de apoio e incentivo, pela força e pela confiança depositada a cada momento e a cada novo desafio.

Aos professores, pelo compartilhamento de conhecimentos e experiências, contribuindo de forma direta para a formação de meu caráter e profissionalismo.

Agradeço também a empresa que proporcionou estudo, e a todas as pessoas que direta ou indiretamente me auxiliaram no desenvolvimento do trabalho.

“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará coisas admiráveis.”

(José de Alencar)

RESUMO

O cenário atual retrata cada vez mais a competitividade entre as empresas, acompanhada de uma maior demanda e exigência por melhores produtos e serviços. Busca-se constantemente a melhoria da qualidade, juntamente com o aprimoramento de processos internos. Diante deste cenário, fazer certo na primeira vez é imprescindível, pois garante a qualidade do produto, atinge os níveis de produtividade e evita custos e desperdícios com retrabalhos. O objetivo deste trabalho é propor a utilização de uma nova estratégia de manutenção como redução do índice de produtos não testados em uma bancada de testes de uma empresa do ramo agrícola. Para tanto, definiu-se como metodologia a pesquisa-ação, uma vez que o pesquisador oferece as diretrizes de pesquisa durante o estudo na empresa pesquisada. Como principais resultados deste estudo, destacam-se a descrição e análise do sistema atual de manutenção do equipamento de testes e o desenvolvimento de uma proposta para a implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade, baseada nos dados de falhas disponível. Os resultados deste trabalho possibilitarão uma maior eficiência na ação das equipes de manutenção, atuando de forma proativa nos componentes com maior criticidade e probabilidade de falha.

Palavras-chave: Manutenção Centrada na Confiabilidade, bancada de testes dinâmicos, FMEA.

ABSTRACT

The current scenario depicts increasingly competitiveness among companies, followed by increased demand and also demand for better products and services. Companies are constantly looking for improve quality along with internal improvement processes. Face of this scenario, do it right in the first time is essential because it ensures the product quality, reaches the productivity levels and avoid waste and rework costs. The objective of this study is to propose a new maintenance strategy application to reduce the rate of products not tested on a bench test in an agricultural sector company. In this way, it was defined as action research methodology, once the researcher offers the search directives during the study in the company researched. As the main results of this study, can be highlight the description and analysis of the current maintenance testing equipment and the development of a reliability Centered Maintenance proposal based on failure data available. The results of this study will enable greater efficiency in the maintenance team action, acting proactively in components with higher criticality and probability of failure.

Keywords: Reliability Centered Maintenance, dynamic bench tests, FMEA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Curva característica da vida de equipamentos (curva da banheira).....	24
Figura 2 – Principais etapas da elaboração da pesquisa.	34
Figura 3 – Equipamento estudado.	38
Figura 4 - Representação da equipe MCC.....	38
Figura 5 - Intervenções de manutenção realizadas no equipamento	40
Figura 6 - Intervenções de origem corretiva realizadas no equipamento.....	41
Figura 7 - Gráfico de Pareto: Intervenções realizadas por origem de problema	42
Figura 8 - Índices de manutenção do equipamento.....	43
Figura 9 - Disponibilidade do equipamento no período de análise.	44
Figura 10 - Taxa de falhas do equipamento no período de análise.	44
Figura 11 - Equipamento estudado em vista explodida.....	46
Figura 12 - Diagrama de Blocos Funcional (DBF).....	47
Figura 13 – Diagrama de definição das categorias dos efeitos de falha.....	51
Figura 14 - Diagrama verificação da atividade recomendada.....	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Perguntas para definição de objetivos dos tipos de FMEA.	28
Quadro 2 – Fases do processo de pesquisa-ação.	32
Quadro 3 – Integrantes da equipe e MCC e suas responsabilidades.	39
Quadro 4 – Resumo da planilha FMEA.	49
Quadro 5 – Classificação dos subsistemas quanto a criticidade.	50
Quadro 6 - Categorização dos efeitos de falha	51
Quadro 7 – Atividades e tarefas de manutenção por subsistema.	54
Quadro 8 - Resultados esperados a curto e longo prazo.	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Sugestão de determinação do NPR.....	29
---	----

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	JUSTIFICATIVA	13
1.2	OBJETIVOS	13
2	REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1	INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO	14
2.2	EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO	15
2.3	TIPOS DE MANUTENÇÃO	17
2.3.1	Manutenção Corretiva	17
2.3.2	Manutenção Preventiva	18
2.3.3	Manutenção Preditiva	19
2.3.4	Manutenção Detectiva	19
2.3.5	Engenharia de Manutenção	20
2.4	MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)	20
2.4.1	Confiabilidade	21
2.4.2	Conceitos associados à confiabilidade	24
2.4.3	Índices de Manutenção	25
2.4.4	Análise dos Modos de Falha e Efeitos (FMEA)	27
2.4.3.1.	Tipos de FMEAs	27
2.4.3.2.	Desenvolvimento da FMEA	28
2.4.5	Implantação da MCC	29
3	METODOLOGIA	32
3.1	MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS	32
3.2	DESCRIÇÃO DA AMOSTRA E DETALHAMENTO DO ESTUDO	33
4	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	36
4.1	CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA ESTUDADA	36
4.2	ELABORAÇÃO DA PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DA MCC EM UMA BANCADA DE TESTES DINÂMICOS	37
4.2.1	Seleção do equipamento	37
4.2.2	Montagem da equipe multifuncional	38
4.2.3	Preparação das documentações para análise	39
4.2.3.1.	Dados gerais de falhas do equipamento	40
4.2.3.2.	Dados dos indicadores de manutenção	42
4.2.4	Definição do contexto operacional e fronteiras do sistema	45

4.2.5 Hierarquização do equipamento e elaboração do Diagrama de Blocos Funcional (DBF)	46
4.2.6 Definição de função, falha funcional, modo de falha, efeito e consequência..	47
4.2.7 Categorização dos efeitos de falha (<i>FEC – Failures Effect Categorization</i>).....	50
4.2.8 Seleção e descrição das tarefas de manutenção / determinação de intervalos e recursos.....	52
4.2.9 Análise da documentação, relatórios, gráficos e carga para CMM'S.....	56
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	58
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	60
APÊNDICE A – HIERARQUIZAÇÃO DO EQUIPAMENTO ESTUDADO	62
APÊNDICE B – PLANILHA FMEA.....	63

1 INTRODUÇÃO

A notável evolução da indústria metal mecânica faz com que as empresas deste ramo busquem cada vez mais soluções com alta tecnologia e padrão de qualidade diferenciado para oferecer aos seus clientes. Para que isto aconteça, além da introdução de novos produtos e soluções no mercado constantemente, também se busca o aumento da qualidade e produtividade, além da redução dos custos de processos internos.

Diante de um cenário tão ascendente, qualquer tipo de defeito originado na manufatura representa altos custos com retrabalhos, perda de produtividade e redução do padrão de qualidade. No processo de montagem de conjuntos de máquinas agrícolas não é diferente, utilizam-se máquinas e equipamentos de alta complexidade visando garantir que os componentes sejam montados e testados de forma correta na primeira vez.

A empresa estudada possui uma grande quantidade de equipamentos de testes no setor de montagem, os quais possuem um plano periódico de manutenção preventiva. Porém, a bancada de testes dinâmicos da linha de montagem de plataformas vem apresentando um número elevado de falhas, não permitindo a avaliação das funcionalidades de todos os produtos produzidos dentro do tempo desejado. Este fator representa atrasos na produção, e por vezes gera a necessidade da realização de testes alternativos.

A manutenção tem uma função importante no desempenho dos equipamentos e, de acordo com Tavares (1999), isso se deve ao aumento das exigências em níveis de qualidade de produtos e serviços pelos consumidores. A evolução da manutenção vem se caracterizando pela redução de custos e garantia da qualidade, através da confiabilidade e produtividade dos equipamentos, e também pelo atendimento dos prazos, resultado da disponibilidade destes equipamentos.

Desta forma, com a realização deste trabalho pretende-se responder a seguinte questão: É possível reduzir o índice de falhas na bancada de testes dinâmicos utilizando a Manutenção Centrada na Confiabilidade?

1.1 JUSTIFICATIVA

A necessidade da redução da probabilidade de falhas em produtos chega de forma concomitante ao advento da economia globalizada, da mesma forma que se observa um aumento da demanda por produtos e sistemas de melhor desempenho a custos competitivos (FOGLIATTO E RIBEIRO, 2009).

Para Viana (2002), o correto gerenciamento dos planos de manutenção tende a dar uma maior eficiência às ações de detecção de falhas e defeitos, antecipações de intervenções mantenedoras antes da quebra, e ainda garantir a alocação de todos os recursos necessários para a execução dos serviços, de forma a aumentar a produtividade da manutenção.

O desenvolvimento desta pesquisa se justifica pelo elevado índice de falhas funcionais em uma bancada de testes dinâmicos, ocasionando em produtos acabados com testes prejudicados ao final da linha de montagem.

Para o engenheiro de produção, o desenvolvimento deste trabalho oportuniza a aplicação dos conhecimentos adquiridos durante a graduação, refletindo em uma grande oportunidade de aprimorar a experiência prática na área de manutenção industrial.

1.2 OBJETIVOS

O principal objetivo deste estudo é a elaboração de uma proposta para utilização da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) como redução do índice de falhas funcionais na bancada de testes dinâmicos da linha de montagem de plataformas. Os objetivos específicos são:

- I. Conceituar os diversos tipos de manutenção;
- II. Obter e analisar dados atuais de manutenção do equipamento;
- III. Propor uma nova estratégia de manutenção utilizando a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão abordados conceitos e definições pertinentes à elaboração do trabalho, partindo de considerações básicas de manutenção, definindo os tipos e características e detalhando a Manutenção Centrada na Confiabilidade.

2.1 INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO

De acordo com Pinto e Xavier (2001), nos últimos vinte anos a atividade de manutenção tem passado por mais mudanças do que qualquer outra atividade. Estas alterações são consequências de: (a) aumento bastante rápido, do número e diversidade dos itens físicos (instalações, equipamentos e edificações) que devem ser mantidos; (b) projetos muito mais complexos; (c) novas técnicas de manutenção; (d) novos enfoques sobre a organização da manutenção e suas responsabilidades.

Ainda conforme os autores, nas empresas vencedoras o homem de manutenção tem reagido rápido a estas mudanças. Esta nova postura inclui uma crescente conscientização do impacto de uma falha de equipamento na segurança e no meio ambiente, maior conscientização da relação entre manutenção e qualidade do produto, maior pressão para se conseguir alta disponibilidade e confiabilidade da instalação, ao mesmo tempo em que se busca a redução de custos. Estas alterações exigem novas atitudes e habilidades das pessoas da manutenção, desde gerentes, passando por engenheiros, supervisores, até chegar aos executantes.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) conceitua manutenção como:

Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida (ABNT NBR 5462, 1994, p. 6).

Para Pinto e Xavier (2001), a manutenção tem a missão de garantir a disponibilidade da função de equipamentos e instalações de modo a atender um processo de produção ou de serviço, com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custos adequados.

2.2 EVOLUÇÃO DA MANUTENÇÃO

A manutenção industrial, acompanhando o desenvolvimento técnico-industrial da humanidade, se difundiu no final do século XIX com o surgimento das indústrias mecanizadas e a necessidade dos primeiros reparos. Até o ano de 1914, a manutenção tinha pouca importância, sendo executada pelo próprio pessoal de produção (TAVARES, 1999).

Com o advento da Primeira Guerra mundial, somada com a implantação da produção em série, as empresas começaram a estabelecer programas mínimos de produção, e conseqüentemente sentiram a necessidade de criar equipes capazes de realizar reparos em máquinas operatrizes no menor tempo possível. Desta forma, surgiram os primeiros departamentos de manutenção, cujo enfoque era basicamente corretivo (TAVARES, 1999).

Segundo Pinto e Xavier (2001), o período anterior à Primeira Guerra Mundial compreende a Primeira Geração da Manutenção, onde a indústria era pouco mecanizada, os equipamentos eram básicos e, na sua maioria, superdimensionados. Além disto, a produtividade não era prioridade, ou seja, não havia necessidade de manutenção sistematizada, apenas serviços de limpeza, lubrificação e reparo após a quebra.

A partir da década de 30, motivados pela Segunda Guerra Mundial e pelo aumento da rapidez de produção, a preocupação não se delimitou apenas em corrigir falhas, mas em evitar que elas pudessem ocorrer, surgia então a Manutenção Preventiva (TAVARES, 1999).

Para Pinto e Xavier (2001), este período caracterizou-se como a Segunda Geração da Manutenção. As pressões da guerra aumentaram a demanda de produtos, ao mesmo tempo em que o contingente de mão de obra foi reduzido. Então, houve um grande aumento da mecanização, bem como da complexidade das instalações industriais, desencadeando uma maior necessidade de disponibilidade e confiabilidade, buscando o aumento da produtividade. Estes fatos levaram a ideia que as falhas poderiam e deveriam ser evitadas.

Na década de 50, com o desenvolvimento da indústria para atender as necessidades pós-guerra, além da evolução da aviação comercial e da indústria eletrônica, surge a Engenharia de manutenção, a qual recebeu os encargos de

planejar e controlar a manutenção preventiva, e ainda analisar causas e efeitos das falhas (TAVARES, 1999).

Segundo este mesmo autor, na década de 60 difundiram-se os computadores, fortaleceram-se as Associações Nacionais de Manutenção e houve uma modernização considerável dos instrumentos de proteção e medição. Então a Engenharia de Manutenção passou a adotar critérios de predição ou previsão de falhas, com objetivo de otimizar a atuação das equipes de execução da manutenção. De acordo com Pinto e Xavier (2001), o custo de manutenção começou a se elevar muito comparado com outros custos de operação, o que fez aumentar os sistemas de planejamento e controle de manutenção, que hoje, são parte integrante da manutenção moderna. Nesta época, surgiu também a Manutenção Centrada na Confiabilidade.

A Terceira Geração da Manutenção, descrita por Pinto e Xavier (2001), iniciou-se na década de 70 com o processo acelerado de mudança das indústrias. A evolução da automação e mecanização indicavam que confiabilidade e disponibilidade eram pontos-chave. Uma maior automação também significa que falhas cada vez mais frequentes afetam a sustentação dos padrões de qualidade estabelecidos. Na Terceira Geração reforçou-se o conceito da manutenção preditiva. NAKAJIMA (1989) cita que nesta década começaram a ser incorporadas filosofias orientais, como a Manutenção Produtiva Total (TPM).

A partir de 1980, surgem os primeiros microcomputadores, e os órgãos de manutenção passam a desenvolver e processar seus próprios programas, e as informações passam a ser armazenadas em bancos de dados (ZAIIONS, 2003).

Ainda segundo Zaions (2003), com a disseminação dos microcomputadores nos anos 90, iniciou-se o desenvolvimento dos Sistemas Computadorizados de Gerenciamento da Manutenção. Planejamento da manutenção preventiva através da geração de ordens de serviço, controle de inventário, informações históricas, entre outros, passaram a ser atividades comuns em diversas empresas no mundo. Mais recentemente, os Sistemas Computadorizados de Gerenciamento da Manutenção passaram a integrar os sistemas de manutenção preditiva.

De acordo com Sherwin (2000) apud Klein (2007), pode-se destacar a importância estratégica da manutenção, tanto para o processo produtivo quanto para o bom desempenho da organização como um todo. Aspectos referentes a confiabilidade das instalações, qualidade dos produtos, custo/lucro para o ciclo de

vida dos ativos, etc..., tem sido considerados relevantes na análise de desempenho da manutenção.

2.3 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Para Pinto e Xavier (2001), a maneira pela qual é realizada a intervenção nos equipamentos, sistemas ou instalações caracteriza os vários tipos de manutenção existentes. Há uma grande variedade de denominações para classificar a atuação da manutenção, e essa variedade causa certa confusão na caracterização dos tipos. As práticas básicas que definem os tipos de manutenção são:

- Manutenção Corretiva;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Detectiva;
- Engenharia de Manutenção.

2.3.1 Manutenção Corretiva

Segundo a ABNT (1994), efetua-se após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

Pinto e Xavier (2001) relatam que este tipo de manutenção atua na correção da falha ou do desempenho menor que o esperado. Desta forma, a atuação principal da manutenção corretiva é corrigir ou restaurar as condições de funcionamento do equipamento ou sistema.

Ainda segundo estes autores, existem duas condições específicas que levam a manutenção corretiva:

1. Desempenho deficiente apontado pelo acompanhamento de variáveis operacionais;
2. Ocorrência da falha.

Viana (2002) relata que a manutenção corretiva é uma intervenção necessária imediata para evitar graves consequências às máquinas e equipamentos de produção, além da segurança do trabalhador ou ao meio ambiente. Ela se configura em intervenções aleatórias, sem predefinições, e é mais conhecida nas fábricas como “apagar incêndios”.

Pinto e Xavier (2001) afirmam que a manutenção corretiva implica em altos custos, já que a quebra inesperada pode provocar perdas de produção, de qualidade do produto e elevados custos indiretos de manutenção.

Estes autores relatam ainda que a manutenção corretiva pode ser dividida em duas classes:

- *Manutenção Corretiva Não Planejada*: correção da falha de maneira aleatória, realizada em fato já ocorrido, onde não há tempo para preparação do serviço;
- *Manutenção Corretiva Planejada*: correção do desempenho menor que o esperado ou da falha, por uma decisão gerencial, atuando em função de acompanhamento preditivo ou pela decisão de operar até a quebra.

2.3.2 Manutenção Preventiva

É definida pela ABNT (1994) como o tipo de manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

Para Viana (2002), manutenção preventiva conceitua-se como todo serviço de manutenção realizado em máquinas que não estejam em falha, portanto, estando em condições operacionais ou em estado de zero defeito.

A manutenção preventiva é a atuação realizada de forma a reduzir ou evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo (PINTO; XAVIER, 2001, p. 39).

Para Pinto e Xavier (2001), devem ser levados em consideração os seguintes fatores para adoção de uma política de manutenção preventiva:

- Quando não é possível efetuar a manutenção preditiva;
- Aspectos relacionados com a segurança pessoal ou da instalação que tornam mandatória a intervenção, normalmente para troca de componentes;
- Por oportunidade em equipamentos críticos de difícil liberação operacional;
- Riscos de danos ao meio ambiente;
- Em sistemas complexos e/ou de operação contínua.

2.3.3 Manutenção Preditiva

Também definida pela ABNT (1994) como manutenção controlada, permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

Viana (2002) relata que este tipo de manutenção tem o objetivo de determinar o tempo correto da necessidade da intervenção mantenedora, evitando assim desmontagens para inspeção, utilizando o componente até o máximo da sua vida útil.

Para Pinto e Xavier (2001), a manutenção preditiva é realizada com base em modificação de parâmetro de condição ou desempenho, onde o acompanhamento segue uma sistemática.

A manutenção preditiva é a primeira grande quebra de paradigma na manutenção e tanto mais se intensifica quanto mais o conhecimento tecnológico desenvolve equipamentos que permitam avaliação confiável das instalações e sistemas operacionais em funcionamento (PINTO; XAVIER, 2001, p. 42).

2.3.4 Manutenção Detectiva

Segundo Pinto e Xavier (2001), este conceito começou a ser mencionado na literatura a partir da década de 90, e é definido como a atuação efetuada em sistemas de proteção buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. Desta forma, as tarefas executadas para verificar se um sistema de proteção ainda está funcionando representam a manutenção detectiva.

São sistemas de aquisição de dados, controladores lógicos programáveis Sistemas Digitais de Controle Distribuído – SDCD, multi loops com computador supervisor e outra infinidade de arquiteturas de controle somente possíveis com o advento de computadores de processo. Sistemas de shut-down ou sistemas de trip garantem a segurança de um processo quando esse sai de sua faixa de operação segura. Esses sistemas de segurança são independentes dos sistemas de controle utilizados para otimização da produção. Equipamentos eletrônicos programáveis estão sendo utilizados para essas aplicações (PINTO; XAVIER, 2001, p. 44).

De acordo com os mesmos autores é importante que estejam bastante claras algumas particularidades:

- Os sistemas de *trip* ou *shut-down* são a última barreira entre a integridade e a falha. Graças a eles as máquinas, equipamentos, instalações e até

mesmo plantas inteiras estão protegidos contra falhas e suas correspondências menores, maiores ou catastróficas.

- Esses sistemas são projetados para atuar automaticamente na iminência de desvios que possam comprometer as máquinas, a produção, a segurança no seu aspecto global ou o meio ambiente.

- Os componentes dos sistemas de *trip* ou *shut-down*, como qualquer componente, também apresentam falhas.

- As falhas desses componentes e, em última análise, do sistema de proteção, podem acarretar em dois problemas, a não-atuação ou a atuação indevida.

2.3.5 Engenharia de Manutenção

É considerada por Pinto e Xavier (2001) a segunda quebra de paradigma na manutenção, significando uma mudança cultural. É deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, dar feedback ao Projeto, interferir tecnicamente nas compras.

A Engenharia de Manutenção consiste em uma mudança cultural necessária em qualquer manutenção que tenha por objetivo a melhoria dos resultados. Para que se pratique Engenharia de Manutenção, é necessário que a estrutura organizacional da manutenção contemple essa função. Isso significa ter pessoal com qualificação adequada disponível para esses tipos de atividades. Quando o pessoal designado para as atividades de Engenharia de Manutenção é totalmente absorvido pelas necessidades ou emergências do dia-a-dia não se consegue desenvolver os trabalhos e produzir os resultados desejados (NASCIF; DORIGO, 2014).

2.4 MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (MCC)

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), a Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) pode ser definida como um programa que reúne várias técnicas de engenharia com o intuito de assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuarão a realizar suas funções específicas.

A MCC consiste em um processo usado para determinar os requisitos de manutenção de qualquer item físico no seu contexto operacional. Esta

técnica visa estudar as diversas formas de como um componente pode vir a falhar, visualizando através disto as ações de bloqueios pertinentes a serem tomadas (VIANA, 2002, p.101).

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), a eficácia da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) está baseada em alguns pilares próprios desse programa, dos quais destacam-se:

- i. Amplo envolvimento de engenheiros, operadores e técnicos de manutenção, caracterizando um ambiente de engenharia simultânea;
- ii. Ênfase no estudo das consequências das falhas, que direcionam todas as tarefas de manutenção;
- iii. Abrangência das análises, que consideram questões associadas a segurança, meio ambiente, operação e custos;
- iv. Ênfase nas atividades proativas, envolvendo tarefas preditivas e preventivas;
- v. Combate as falhas escondidas, que reduzem a confiabilidade do sistema.

2.4.1 Confiabilidade

Segundo Pinto e Xavier (2001), o termo confiabilidade na manutenção teve origem nas análises de falha em equipamentos eletrônicos para o uso militar, durante a década de 50 nos Estados Unidos.

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), a confiabilidade está associada à operação bem sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebra ou falhas. Porém, em análises de engenharia é necessária uma definição quantitativa de confiabilidade, em termos de probabilidade.

A confiabilidade de um item corresponde a sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período de tempo e sob condições ambientais predeterminadas (LEEMIS, 1995 *apud* FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009, p. 1).

Fogliatto e Ribeiro (2009) ainda relatam que pelo fato da confiabilidade ser definida como uma probabilidade, todas as confiabilidades devem apresentar valores entre 0 e 1, e que os axiomas clássicos da probabilidade podem ser aplicados em cálculos de confiabilidade. A confiabilidade é definida como uma função de um período de tempo, implicando em cinco consequências.

1. O analista deve definir uma unidade de tempo para a realização das análises;
2. Os modelos que descrevem os tempos até a falha utilizam uma variável aleatória T para descrever o tempo de falha de um item;
3. O termo tempo não deve ser interpretado literalmente, pois o número de milhas ou ciclos pode representar o tempo até a falha de um item;
4. O conceito de confiabilidade deve ser associado a um período de tempo ou duração de missão;
5. A determinação do que deveria ser usado para medir a vida de um item nem sempre é óbvia.

Para Pinto e Xavier (2001), a confiabilidade de um equipamento ou produto pode ser expressa pela seguinte expressão, de acordo com a distribuição exponencial. (1)

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1)$$

Onde:

$R(t)$ = confiabilidade em qualquer tempo t

e = base de logaritmos neperianos ($e=2,303$)

λ = taxa de falhas (numero total de falhas por período de operação)

t = tempo previsto de operação

- *Probabilidade:* de acordo com Pinto e Xavier (2001), é um conceito de estatística, podendo ser definida como a relação entre o número de casos favoráveis e o número de casos possíveis. Em outras palavras, é o número de casos favoráveis dividido pelo número de casos possíveis, resultando em um valor menor ou igual a 1.

- *Função Requerida:* para Pinto e Xavier (2001), é o limite de admissibilidade abaixo do qual a função não é mais satisfatória.

Já de acordo com a ABNT (1994), é a função ou combinação de funções de determinado item que são consideradas necessárias para prover um determinado serviço.

- *Condições definidas de uso*

Segundo Pinto e Xavier (2001), são as condições operacionais que o equipamento está submetido. Se um mesmo equipamento estiver submetido a duas condições diferentes, apresentará confiabilidade diferente.

- *Intervalo de tempo:* Para a ABNT (1994), é parte de uma escala de tempo limitada por dois instantes estabelecidos. Já Pinto e Xavier (2001) relatam que o período de tempo definido e medido é fundamental desde que a confiabilidade varia com o tempo.

- *Desempenho e falha:* Para Pinto e Xavier (2001) todo equipamento é projetado segundo uma especificação. Ou seja, todo equipamento é projetado segundo a função básica que irá desempenhar. Conforme estes autores, o desempenho de um equipamento pode ser classificado como:

- *Desempenho Inerente:* aquele que o equipamento é capaz de fornecer;
- *Desempenho requerido:* é o desempenho que queremos obter do equipamento.

Pinto e Xavier (2001) citam também que quando um equipamento não apresenta o desempenho previsto, usamos o termo falha para identificar essa situação. Estas falhas podem representar interrupção da produção, operação em regime instável, queda na quantidade produzida, deterioração ou perda da qualidade do produto e ainda perda da função de comando ou proteção.

A ABNT (1994) define falha como o término da capacidade de um item desempenhar sua função requerida.

Falha pode ser definida como a cessação da função de um item ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho previsto (PINTO; XAVIER, 2001).

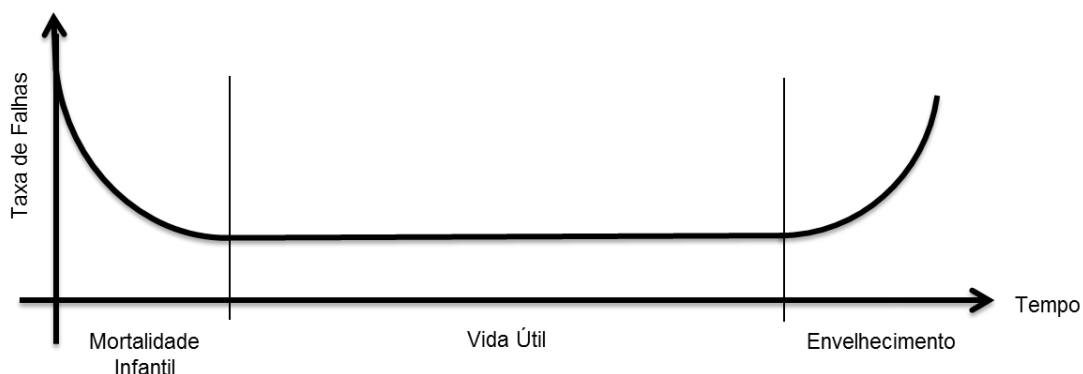
- *Taxa de falhas:* pinto e Xavier (2001) apresentam uma curva típica de vida de um produto, equipamento ou sistema. Para estes autores, a curva, também conhecida como “curva da banheira”, expressa a taxa de falhas em função do tempo e possui três períodos distintos:

- *Mortalidade Infantil:* Grande incidência de falhas causadas por componentes com defeitos na fabricação ou deficiências de projeto;

- *Vida Útil:* Taxa de falhas sensivelmente menor e relativamente constante ao longo do tempo;

- *Envelhecimento:* Período caracterizado pelo aumento da taxa de falhas decorrente do desgaste natural, o qual será maior quanto mais passar o tempo.

Figura 1 – Curva característica da vida de equipamentos (curva da banheira).



Fonte: PINTO; XAVIER, 2001, p. 101.

Fogliatto e Ribeiro (2009) relatam que as deficiências no processo de manufatura de um produto levam a falhas precoces, as quais se concentram no início de sua vida. As falhas que incidem na fase da vida útil devem-se tipicamente a condições extremas no ambiente e operação do produto e podem ocorrer, uniformemente, a qualquer momento. A deterioração do produto leva a falhas frequentes por desgaste, concentradas no final da vida útil do produto, na chamada fase de envelhecimento.

Para Pinto e Xavier (2001), a taxa de falhas (λ) é definida como: (2)

$$\lambda = \frac{\text{Número de Falhas}}{\text{Número Total de Horas de Operação da Unidade}} \quad (2)$$

2.4.2 Conceitos associados à confiabilidade

Os principais conceitos ligados à confiabilidade são: qualidade, disponibilidade, manutenibilidade, segurança e confiança. (Fogliatto e Ribeiro, 2009)

- *Qualidade*: é a totalidade de características e aspectos de um produto que tornam possível a satisfação de necessidades implícitas e explícitas associadas a um produto ou serviço. Pode ser definida ainda como o cumprimento a especificações de projeto e manufatura com menor variabilidade possível.

- *Disponibilidade*: é definida pela ABNT (1994) como a capacidade de um item estar em condições de realizar uma certa função em um dado momento ou durante um intervalo de tempo determinado, levando em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos necessários estejam assegurados.

- *Mantenabilidade*: a ABNT (1994) define manutenibilidade como a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de realizar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e procedimentos e meios padronizados. A manutenibilidade é essencial no estabelecimento da disponibilidade de uma unidade.
- *Segurança*: é definida por Fogliatto e Ribeiro (2009) como a ausência de condições que possam causar fatalidade, dano ou doenças ocupacionais a pessoas, bem como dano ou perda de equipamentos ou de propriedade.
- *Confiança*: também conhecida como depenabilidade, designa um coletivo que inclui a disponibilidade e seus fatores determinantes: o desempenho da confiabilidade, da manutenibilidade e do suporte técnico. O termo confiança está associado a uma definição mais ampla, não estritamente probabilística de confiabilidade (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

2.4.3 Índices de Manutenção

Segundo Viana (2002), os índices de Manutenção devem retratar os aspectos importantes no processo da planta. Deve ser avaliada a melhor forma de monitoramento do processo, acompanhando aquilo que realmente agrega valor, sem desperdiçar recursos. Existem seis indicadores, os quais são chamados de Indicadores de Classe Mundial.

- I. Tempo médio Entre Falhas (MTBF);
- II. Tempo Médio de Reparo (MTTR);
- III. Tempo Médio Para a Falha (TMPF);
- IV. Disponibilidade Física de Maquinaria;
- V. Custo de Manutenção por Faturamento;
- VI. Custo de manutenção por Valor de Reposição

São relatados nos itens 2.4.3.1 a 2.4.3.4 apenas os indicadores relevantes para este trabalho.

- *Tempo Médio entre as Falhas (MTBF ou TMEF)*: é definido por Viana (2002) como a divisão da soma das horas disponíveis do equipamento para a operação, pelo número de intervenções corretivas neste equipamento em determinado período.

Pinto e Xavier (2001) citam que o tempo médio de bom funcionamento é conhecido mundialmente como tempo médio entre falhas, e é dado pela seguinte equação: (3)

$$MTBF = \frac{t1 + t2 + t3 + t4 + \dots TN}{N} \quad (3)$$

- *Tempo Médio de Reparo (TMPR ou MTTR):* é dado por Viana (2002) como sendo a divisão entre a soma das horas de indisponibilidade para a operação devido à manutenção pelo número de intervenções corretivas em determinado período.

Para Pinto e Xavier (2001), o tempo médio sem produção está associado à falha, sendo conhecido como tempo médio para reparo. Este tempo inclui o que foi gasto no reparo e todas as esperas que retardam a colocação do equipamento novamente em operação. (4)

$$MTTR = \frac{t1 + t2 + t3 + t4 + \dots tN}{N} \quad (4)$$

- *Tempo Médio Para a Falha (MTTF ou TMPF):* Viana (2002) afirma que o TMPF tem enfoque nos tipos de componentes que não sofrem reparos, ou seja, são substituídos por novos. Neste contexto, o MTTF ou TMPF relaciona o total de horas disponíveis do equipamento para a operação, dividido pelo número de falhas detectadas em componentes não reparáveis.

Fogliatto e Ribeiro (2009) relatam que o tempo médio até falha de uma unidade, designado por MTTF, pode ser definido como: (5)

$$MTTF = \int_0^{\infty} R(t) dt \quad (5)$$

- *Disponibilidade Física:* para Viana (2002), a disponibilidade física representa o percentual de dedicação para a operação de um equipamento ou de uma planta, relacionado com as horas totais do período.

Para Pinto e Xavier (2001), a disponibilidade é a relação entre o tempo em que o equipamento ou instalação esteve disponível para a produção em relação ao tempo total, e é dada pela seguinte fórmula (6):

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR} \quad (6)$$

2.4.4 Análise dos Modos de Falha e Efeitos (FMEA)

A metodologia de Análise dos Modos de Falha e Efeitos (FMEA) é, de acordo com Toledo e Amaral (2014), uma ferramenta que busca evitar, através da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que ocorram falhas no projeto do produto ou processo.

Para Palady (1997), a FMEA é uma técnica que oferece três funções distintas:

- I. FMEA é uma ferramenta para prognóstico de problemas.
- II. FMEA é um procedimento para desenvolvimento e execução de projetos, processos ou serviços, novos ou revisados.
- III. FMEA é o diário do projeto, processo ou serviço.

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), o FMEA é uma técnica de confiabilidade que tem como objetivos:

- a) Reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo;
- b) Identificar ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência de falhas;
- c) Documentar o estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolver futuros do projeto ou processo.

Como ferramenta, a FMEA é uma das técnicas de baixo risco com maior eficiência para a prevenção de problemas e identificação das soluções mais eficazes em termos de custos, a fim de precaver estes problemas (PALADY, 1997).

2.4.3.1. Tipos de FMEAs

Segundo Palady (1997), existem dois tipos distintos de FMEA: a FMEA de projeto (DFMEA – Design Failure Modes and Effects Analysis) e a FMEA de processo (PFMEA – Process Failure Modes and Effect Analysis).

A FMEA de projeto é uma técnica analítica utilizada pela equipe ou engenheiro de projeto como um meio para assegurar que os modos potenciais de falha e seus respectivos efeitos e causas serão considerados e suficientemente discutidos. Neste tipo de FMEA, o produto final, seus subsistemas e componentes

são analisados de forma detalhada. O estudo do FMEA se resume pelos pensamentos da equipe de projeto, incluindo a análise dos itens que podem dar errado, baseado na experiência dos engenheiros. (Fogliatto e Ribeiro, 2009)

Já a FMEA de processo é utilizada pela equipe de desenvolvimento do processo como um meio para assegurar que os modos potenciais de falha no processo e seus respectivos efeitos serão considerados e suficientemente discutidos. Todas as etapas, procedimentos e operações de processos são analisados em busca dos modos potenciais de falha. Uma falha no processo pode ser definida como toda a ocorrência que pode comprometer a qualidade do produto, e neste sentido o estudo de FMEA atua na análise dos itens que podem dar errado, baseando-se na experiência acumulada pela equipe.

Para Palady (1997), a diferença entre eles está nos objetivos, os quais podem ser observados através de duas perguntas:

Quadro 1 – Perguntas para definição de objetivos dos tipos de FMEA.

FMEA de Projeto	FMEA de Processo
Como esse projeto pode deixar de fazer o que deve fazer?	Como esse processo pode deixar de fazer o que deve fazer?
O que devemos fazer para prevenir essas falhas potenciais de projeto?	O que devemos fazer para prevenir essas falhas potenciais de processo?

Fonte: Adaptado de Palady, 1997, p. 7.

São dois objetivos muito diferentes que devem ser buscados e FMEAs independentes, a fim de impedir o comprometimento dos objetivos do processo e vice-versa (PALADY, 1997).

2.4.3.2. Desenvolvimento da FMEA

De acordo com Pinto e Xavier (2001), alguns dos principais conceitos necessários para a análise são:

- *Causa*: meio pelo qual o elemento particular do projeto ou processo resulta em um Modo de Falha;
- *Efeito*: consequência adversa para o consumidor ou usuário;
- *Modos de Falha*: categorias de falha normalmente descritas;
- *Frequência*: probabilidade de ocorrência da falha;
- *Gravidade da falha*: indica como a falha afeta o usuário ou cliente;

- *Detectabilidade*: indica o grau de facilidade de detecção da falha;
- *Índice de risco ou Número de Prioridade de Risco (NPR)*: resultado do produto da Frequência pela Gravidade pela Detectabilidade. Este índice dá prioridade de risco da falha.

Pinto e Xavier (2001) também relatam que, para a determinação dos pesos das parcelas que compõe o NPR existem algumas ações recomendadas, as quais normalmente são baseadas em experiências de empresas.

Tabela 1 - Sugestão de determinação do NPR

COMPONENTE DO NPR	CLASSIFICAÇÃO	PESO
FREQUÊNCIA DA OCORRÊNCIA (F)	Improvável	1
	Muito pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Alta	9 a 10
GRAVIDADE DA FALHA (G)	Apenas perceptível	1
	Pouca importância	2 a 3
	Moderadamente grave	4 a 6
	Grave	7 a 8
	Extremamente grave	9 a 10
DETECTABILIDADE (D)	Alta	1
	Moderada	2 a 5
	Pequena	6 a 8
	Muito pequena	9
	Improvável	10
ÍNDICE DE RISCO	Baixo	1 a 50
	Médio	50 a 100
	Alto	100 a 200
	Muito alto	200 a 1000

Fonte: PINTO; XAVIER, 2001, p. 116.

2.4.5 Implantação da MCC

Segundo a Reliasoft (2014), a análise da MCC consiste em nove etapas:

1. *Selecionar equipamento*: Os métodos de seleção podem ser variados, incluindo a análise de partes do equipamento, perguntas de identificação de risco, análises de Pareto, entre outros
2. *Montar equipe multifuncional*: Esta equipe deve conter representantes das áreas de confiabilidade, manutenção, operação/produção, engenharia, processo e suprimentos. Os objetivos desta equipe são garantir a implementação dos

conceitos da MCC, estabelecendo e mantendo as fronteiras das análises, registrando e documentando o trabalho, além de manter um programa de auditoria.

3. *Preparar as documentações para análise:* Nesta etapa devem ser coletadas informações como manuais do fabricante, esquemas elétricos, descrições/especificações do sistema, histórico do equipamento e dados de garantia

4. *Definir contexto operacional e fronteiras do sistema:* Contexto operacional é uma descrição breve relativa as condições específicas do ambiente físico, processo e características operacionais que podem influenciar nas funções desejadas para o equipamento. As fronteiras do sistema devem ser definidas para limitar as análises, e devem evitar análises sobrepostas com sistemas adjacentes, além de que as regras da análise devem ser documentadas

5. *Hierarquizar equipamento e elaborar DBF (Diagrama de Blocos Funcional):* A hierarquização do equipamento visa subdividir uma planta industrial em níveis intermediários e menores, de modo a classificar os ativos, estabelecer funções e relações entre esses níveis. Já a elaboração do DBF tem o objetivo de descrever todos os itens de uma hierarquia de um sistema, suas relações e interfaces com outros sistemas.

6. *Definir: função, falha funcional, modo de falha, efeito e consequência:* Um equipamento contém diversas funções, e a manutenção deve assegurar a identificação das mesmas com os seus respectivos padrões de desempenho de forma que o ativo continue a cumprir tais funções. As funções podem ser principais (razão da existência do equipamento) ou secundárias (complementos para a função principal). O conceito de falha funcional na MCC objetiva responder a pergunta: De que forma ele falha ao realizar suas funções? Já o conceito de modo de falha visa responder outra questão: O que causa cada falha funcional? Os efeitos podem ser definidos em três diferentes níveis: Efeito local (o que é observado no item individualmente?), efeito de nível superior (o que será observado a nível de subsistema?) e efeito final (o que será observado a nível de sistema?). A determinação das consequências da falha é importante para que possamos determinar a tarefa adequada de manutenção.

7. *Categorizar os modos de falha (FEC – Failure Effect Categorization):* Se realiza a categorização através de um diagrama lógico, o qual os orienta para os tipos de manutenção a serem realizados com base em um fluxo de perguntas.

8. *Selecionar e descrever as tarefas de manutenção, determinar intervalos e recursos:* São definidas as estratégias de gerenciamento da falha (tarefas de inspeção ou manutenção preditiva, tarefas de manutenção preventiva, manutenção detectiva, reprojeto e manutenção corretiva). A definição para qual estratégia empregar para cada falha potencial pode ser com base na experiência e julgamento, em um diagrama lógico pré-definido, nas comparações de custo / disponibilidade ou ainda em uma combinação destes fatores.

9. *Análise da documentação, relatórios, gráficos e carga para CMMS:* Fogliatto e Ribeiro (2009) relatam que metas e indicadores formam a base para o gerenciamento do programa de MCC. Devem ser definidos os indicadores pertinentes envolvendo geralmente métricas de tempo de parada, disponibilidade de equipamentos e qualidade do processo.

Estes autores ainda relatam que algumas mudanças realizadas na operação podem melhorar a condição dos equipamentos, permitindo ampliar a periodicidade das visitas. Também podem ser descobertos novos modos de falha, levando a definição de atividades antes não estabelecidas.

3 METODOLOGIA

3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

O método de pesquisa utilizado neste trabalho é o da pesquisa-ação, por ser um tipo de pesquisa social com base empírica, sendo concebida e realizada em estreita associação com uma ação ou com a resolução de um problema coletivo. Neste método os pesquisadores e os participantes representativos da situação ou do problema estão envolvidos de modo cooperativo ou participativo (MIGUEL et al., 2010).

Neste sentido, procura-se através do método escolhido, formular informações, conhecimentos e propostas para trabalhos futuros, além da execução da pesquisa documental por meio da coleta de dados, atividades de observação, reuniões e, com base nas nestas, formular conceitos entre pesquisador e equipe (THIOLLENT, 2005).

Com base nestes dados, foram definidas as etapas do processo de pesquisa-ação, empregadas para atender aos objetivos do trabalho. As etapas são definidas no quadro 2.

Quadro 2 – Fases do processo de pesquisa-ação.

Coughlan e Coughlan (2002) <i>apud</i> Miguel et al. (2010)				
	Fases da pesquisa-ação	Etapas e atividades	Procedimentos utilizados na pesquisa	Formas de controle e execução
Planejar pesquisa-ação	Definir contexto e propósito	<ul style="list-style-type: none"> - Diagnosticar situação; - Definir tema e interessados; - Delimitar o problema; - Definir critérios de avaliação para pesquisa-ação; 	Realizado diagnóstico da situação, definido o tema da pesquisa;	<ul style="list-style-type: none"> - Definição do problema de pesquisa; - Delimitação do problema;
	Definir estrutura conceitual-teórica	<ul style="list-style-type: none"> - Mapear literatura; - Delinear ideias e proposições; - Determinar questão e definir objetivos da pesquisa; 	Pesquisas bibliográficas para conceituar e fundamentar os problemas identificados;	<ul style="list-style-type: none"> - Revisão da literatura; (item 2) - Definição da justificativa e dos objetivos do trabalho; (sub itens 1.1 e 1.2)
	Selecionar unidade de análise e técnicas de coleta de dados	<ul style="list-style-type: none"> - Selecionar unidade de análise; - Definir técnicas de coleta de dados; - Elaborar protocolo da pesquisa-ação; 	Observação do pesquisador no ambiente da pesquisa, interação do pesquisador com o grupo, análise de documentos;	<ul style="list-style-type: none"> - Seleção do equipamento (sub item 4.2.1) - Montagem da equipe multifuncional (sub item 4.2.2) - Preparação das documentações para análise; (sub item 4.2.3) - Reuniões com o grupo de trabalho

Coletar dados	- Registrar dados; - Realimentar dados;	Dados coletados através de estatística operacional, observações, discussões.	- Preparação das documentações para análise; (sub item 4.2.3) - Reuniões com o grupo de trabalho
Analisar dados e planejar ações	- Tabular dados; - Comparar dados empíricos com a teoria; - Elaborar plano de ações;	Comparação dos dados tabulados com a teoria pesquisada; Recomendações para a solução do problema;	- Preparação das documentações para análise; (sub item 4.2.3) - Propostas de ações para o trabalho; (sub item 4.2.8)
Implementar ações	- Implementar plano de ações;	Não se aplica	Não se aplica
Avaliar resultados e gerar relatório	- Avaliar resultados; - Prover estrutura para a replicação; - Desenhar implicações teóricas e práticas; - Redigir relatório.	Descrição dos resultados esperados com a implantação da proposta elaborada	- Resultados esperados (sub item 4.2.9) - Considerações finais

Fonte: Elaborado pelo autor.

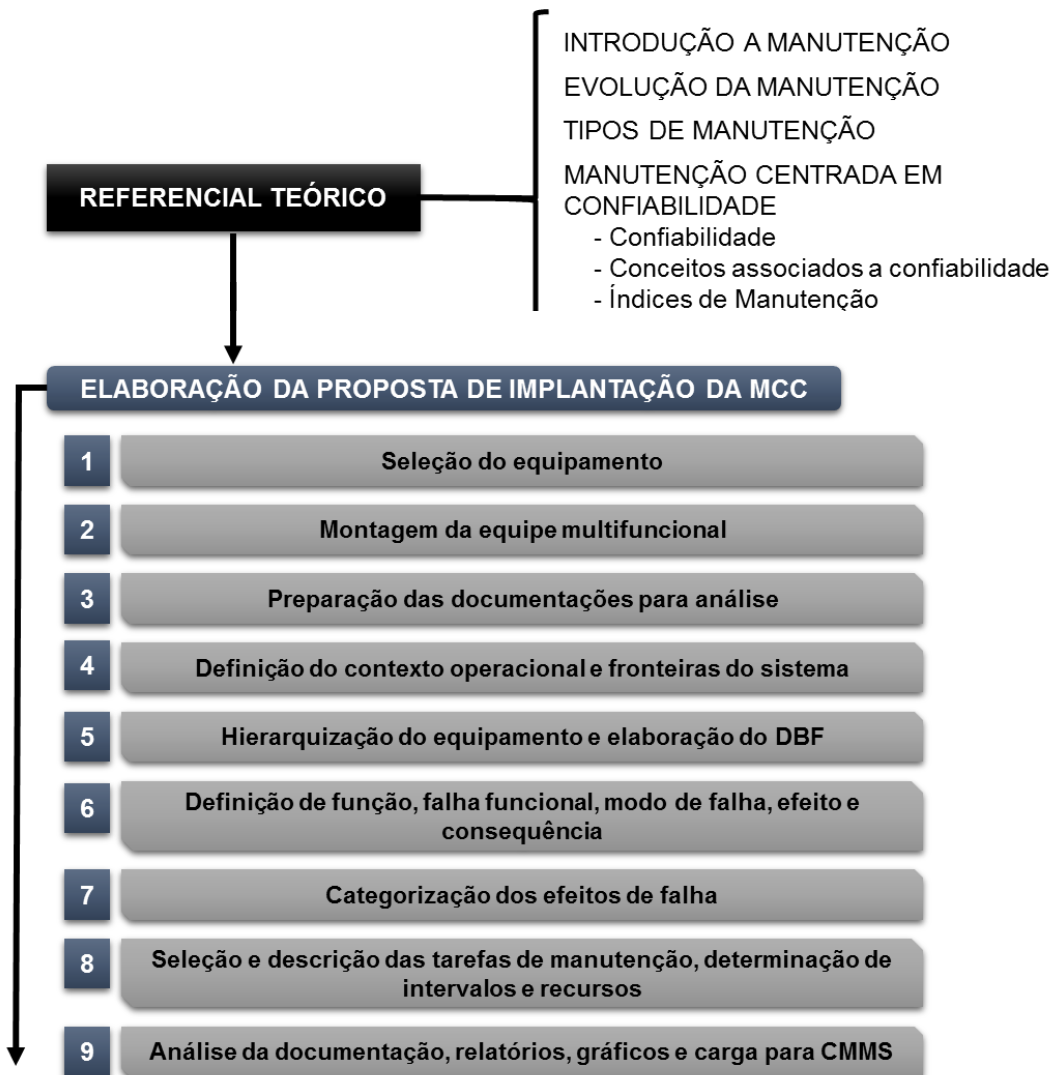
É importante destacar que nas etapas de implementação das ações e avaliação dos resultados e geração do relatório são utilizados dados esperados após a implantação da proposta, que poderá ser aceita pela empresa ou não.

3.2 DESCRIÇÃO DA AMOSTRA E DETALHAMENTO DO ESTUDO

A obtenção de dados e informações para o desenvolvimento da pesquisa ocorreu de formas distintas. Os dados históricos foram retirados do sistema operacional da empresa, onde são mantidos os registros de todas as atividades de manutenção realizadas. Já as informações técnicas referentes ao equipamento, suas características e funcionalidades foram coletadas nos manuais do fabricante e através de diálogos com os colaboradores envolvidos com o equipamento, os quais detêm experiência suficiente para colaborar de forma positiva na construção de um bom resultado. Foram ouvidos colaboradores das áreas de manutenção, montagem e engenharia de processo.

Os pontos chave para a elaboração do trabalho são destacados na figura 2. São destacados os conceitos utilizados para o entendimento geral do assunto, diretrizes focadas a MCC e as etapas para elaboração da proposta de trabalho.

Figura 2 – Principais etapas da elaboração da pesquisa.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A seguir são demonstradas as formas de aplicação de cada uma das nove etapas da implantação da MCC.

1. *Seleção do equipamento*: Esta etapa caracteriza-se pela justificativa de escolha do equipamento estudado e apresentação inicial de suas características;

2. *Montagem da equipe multifuncional*: Nesta fase é detalhada a estruturação da equipe de trabalho e são definidas as funções e responsabilidades de cada membro;

3. *Preparação das documentações para análise*: Etapa caracterizada pela análise dos dados de manutenção existentes, análise de Pareto dos principais componentes falhos e interpretação dos índices de manutenção do equipamento ao longo do seu período de operação;

4. *Definição do contexto operacional e fronteiras do sistema:* É detalhada a importância do equipamento para a empresa, contando com informações como demanda média de testes e turnos de trabalho do equipamento. A definição das fronteiras do sistema é realizada de maneira sucinta devido à restrição da empresa quanto a divulgação de informações confidenciais;

5. *Hierarquização do equipamento e elaboração do DBF:* Nesta fase o sistema foi decomposto em subsistemas e ainda foram identificados os principais itens que compõe cada subsistema. O DBF foi elaborado priorizando a interligação dos subsistemas, revelando suas proximidades e dependências.

6. *Definição de função, falha funcional, modo de falha, efeito e consequência:* Etapa caracterizada pela elaboração da FMEA, onde foram analisados os principais subsistemas do equipamento. Como resultados mais expressivos da FMEA se teve o NPR e a classificação dos subsistemas quanto sua criticidade.

7. *Categorização dos efeitos de falha (FEC):* A categorização foi elaborada a partir do confronto de cada efeito de falha com um diagrama lógico de decisão, resultando em falhas evidentes ou ocultas, e ainda se afetam operação, custos ou segurança.

8. *Seleção e descrição das tarefas de manutenção, determinação dos intervalos e recursos:* Nesta fase foram definidas as tarefas e atividades de manutenção para cada subsistema do equipamento. Para tal definição, baseou-se numa combinação de fatores, como histórico de falhas, índices de manutenção, diagramas lógicos aplicados, classificação de componentes, entre outros. É importante destacar a participação da equipe multifuncional nesta etapa, contribuindo de forma direta nas definições, principalmente baseadas na experiência e julgamento.

9. *Análise da documentação, relatórios, gráficos e carga para CMMS:* Na última etapa são descritos os resultados esperados da possível implantação da proposta, que ficará por opção da empresa.

4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são aplicados os conceitos e métodos compreendidos na revisão da literatura. A proposta de implantação segue as nove etapas sugeridas, adaptando-se as características da empresa estudada.

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA ESTUDADA

A empresa foi fundada nos Estados Unidos no ano de 1837 por um ferreiro, o qual fabricou um arado de aço polido em sua ferraria. Esta invenção permitiu aos agricultores pioneiros das pradarias da região Centro-Oeste dos Estados Unidos abrirem sulcos precisos no solo e mudarem a forma como a agricultura era feita naquele país e no mundo.

Com o passar dos anos, a empresa teve grande crescimento até se tornar líder mundial na fabricação de máquinas agrícolas. Mais tarde, consolidou-se no mercado de equipamentos para construção, como também fornece serviços financeiros para comercialização de seus produtos e serviços. Outras divisões como a de jardinagem comercial e doméstica, divisão mundial de peças e divisão de motores, também fazem parte do negócio da empresa.

No Brasil, as atividades começaram em 1979, quando a companhia assumiu participação de 20% no capital de uma indústria brasileira, a qual fabricava máquinas agrícolas em Horizontina (RS). Em 1983 a unidade começou a produzir sua colheitadeira com a cor e tecnologia características, e, no ano seguinte, iniciou-se a fabricação de plantadeiras.

Atualmente, a companhia tem mais de 60 mil funcionários ao redor do mundo e 64 fábricas localizadas em 17 países. Contando-se os escritórios de vendas, marketing, crédito, centros de pesquisa e desenvolvimento e de distribuição de peças, as atividades da empresa estão em cerca de 90 países. É líder em diversos segmentos em que atua, como equipamentos agrícolas e florestais e uma das maiores fornecedoras de produtos e serviços para construção, jardinagem e irrigação.

4.2 ELABORAÇÃO DA PROPOSTA DE IMPLANTAÇÃO DA MCC EM UMA BANCADA DE TESTES DINÂMICOS

A formulação da proposta da implantação da Manutenção Centrada na Confiabilidade em uma bancada de testes dinâmicos é aqui efetuada. Por orientação da empresa estudada, não são utilizados valores numéricos absolutos referentes a falhas e indicadores, somente dados percentuais representando comparações entre períodos de tempo e também tendências futuras.

Utilizando-se da metodologia de implantação sugerido pela Reliasoft, agregada aos diversos autores citados na revisão bibliográfica, o desenvolvimento da proposta é idealizado pelas 9 etapas a seguir.

4.2.1 Seleção do equipamento

A escolha do equipamento para o estudo teve como base importância do mesmo em realizar suas funções corretamente, pois atualmente 100% das plataformas produzidas devem ter suas principais funcionalidades testadas na bancada.

O número de registros e o tempo de parada para intervenções de manutenção de natureza corretiva são considerados altos, analisando seu pouco tempo de operação. O bom funcionamento deste equipamento caracteriza-se como indispensável para realização das tarefas em tempo hábil e de maneira eficaz.

A seleção desta bancada de testes para a análise também reúne a necessidade da empresa em buscar melhorias constantes nas práticas de manutenção, aliada à disposição do acadêmico em aprofundar-se nesta área, a qual tem importância fundamental para o sucesso das grandes companhias. A figura 3 mostra o equipamento analisado.

Verifica-se que o equipamento é alocado em uma área estratégica da empresa, visando realizar os testes antes da retirada do produto da linha de montagem. O não funcionamento do equipamento quando requerido representa atrasos por vezes significativos na produção, impactando em custos com retrabalhos, além da necessidade do envolvimento de grande número de pessoas para a resolução/correção das falhas no menor tempo possível.

Figura 3 – Equipamento estudado.

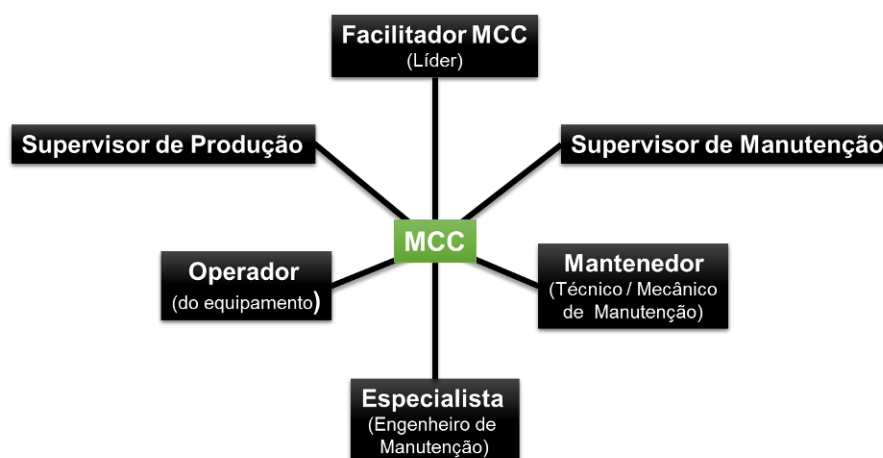


Fonte: Empresa estudada.

4.2.2 Montagem da equipe multifuncional

A equipe multifuncional foi disposta com representantes de diferentes áreas de atuação, as quais tem ligações diversas ao equipamento estudado e podem contribuir com a determinação dos principais pontos e problemas, identificando e propondo ideias, e recomendando as análises e técnicas apropriadas.

Figura 4 - Representação da equipe MCC.



Fonte: Elaborado pelo autor.

Destaca-se a função do líder da equipe, o qual é incumbido de tomar a frente das análises, disseminando a metodologia e motivando a equipe de trabalho.

Moubray (2000) relata que os integrantes das equipes devem ser os profissionais que possuem o maior conhecimento e experiência do item e do processo do qual fazem parte.

Foram também designadas as responsabilidades de cada integrante da equipe de trabalho. Acredita-se que com suas responsabilidades definidas, cada integrante é oportunizado e desafiado a buscar novas informações referentes ao tema, contribuindo de forma objetiva e eficaz nas atividades do grupo.

Quadro 3 – Integrantes da equipe e MCC e suas responsabilidades.

INTEGRANTE	RESPONSABILIDADE
Facilitador	<ul style="list-style-type: none"> - Acreditar nos princípios da MCC; - Preparar requisitos para emprego da metodologia; - Possuir disposição para promover as mudanças necessárias; - Coordenar as reuniões e motivar a equipe.
Supervisor de Produção	<ul style="list-style-type: none"> - Participar das reuniões da equipe; - Oferecer recursos para as atividades do operador; - Prover informações referentes ao equipamento;
Supervisor de Manutenção	<ul style="list-style-type: none"> - Participar das reuniões da equipe; - Acompanhar a execução dos programas de manutenção; - Oferecer recursos para as atividades do mantenedor; - Contatar serviços terceiros de manutenção;
Operador	<ul style="list-style-type: none"> - Participar das reuniões da equipe; - Auxiliar na identificação das tarefas de manutenção; - Identificar oportunidades de melhoria no processo de manutenção.
Mantenedor	<ul style="list-style-type: none"> - Participar das reuniões da equipe; - Auxiliar na identificação das tarefas de manutenção; - Executar as tarefas de manutenção; - Identificar oportunidades de melhoria no processo de manutenção.
Especialista	<ul style="list-style-type: none"> - Participar das reuniões da equipe; - Elaborar instruções e procedimentos, programar as tarefas de manutenção; - Realizar solicitação de compras e planejamento de manutenção; - Manter e atualizar o controle dos registros de manutenção.

Fonte: Elaborado pelo autor.

4.2.3 Preparação das documentações para análise

Para Fogliatto e Ribeiro (2009), o estabelecimento de um banco de dados permite que sejam realizados estudos formais de confiabilidade, que conduzem a estimativas de taxas de falha e priorização dos componentes, conjuntos, subsistemas e sistemas, em função da intensidade de ocorrência de falhas. A

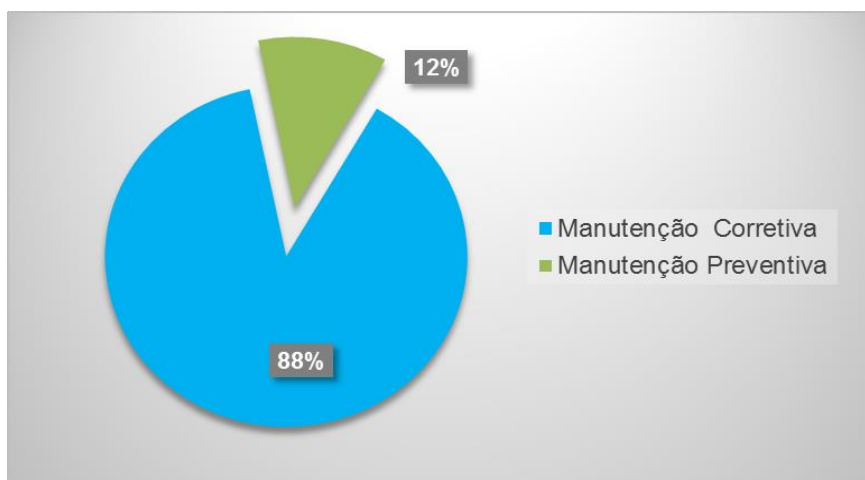
elaboração destes estudos firma uma base para o dimensionamento das atividades de manutenção.

No presente trabalho, esta etapa foi subdividida em duas partes. A primeira traz dados gerais de falhas do equipamento ao longo de seu período de operação, e na segunda parte é realizada uma análise comparativa dos índices de manutenção em períodos de tempo reduzidos, visando compreender também as tendências para o restante do ciclo de vida do equipamento.

4.2.3.1. *Dados gerais de falhas do equipamento*

Foram observados os registros de ordens de serviço de manutenção no equipamento estudado no período compreendido entre outubro de 2012 e junho de 2014. Destas ordens, identificou-se que houveram intervenções de origem corretiva e preventiva.

Figura 5 - Intervenções de manutenção realizadas no equipamento



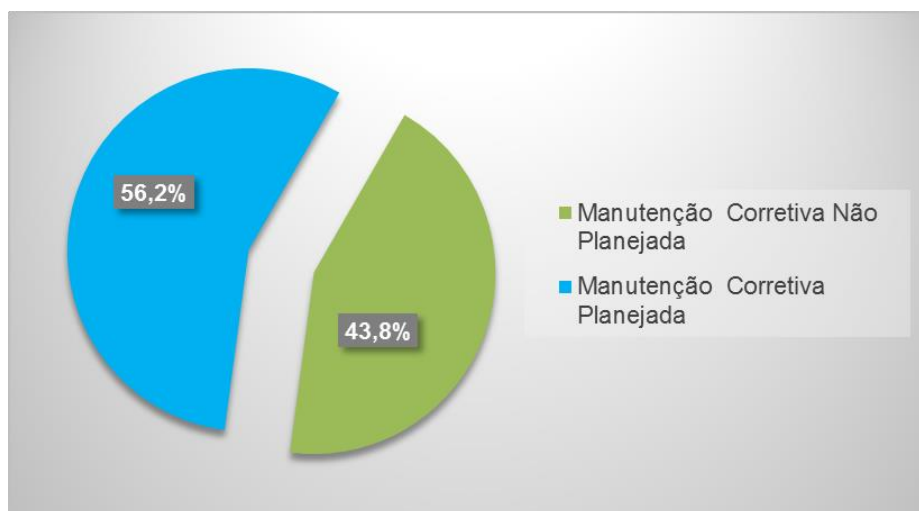
Fonte: Empresa estudada.

Com os dados apresentados neste gráfico, é possível perceber que grande parte dos serviços de manutenção realizados no equipamento são de origem corretiva, o que indica um grande número de paradas funcionais.

Dentre as manutenções corretivas observadas, existem as planejadas e as não planejadas. Um trabalho planejado será sempre mais barato, mais rápido e com maior segurança do que um trabalho não planejado, além de ter uma qualidade superior.

O gráfico apresentado na figura 6 mostra a relação de intervenções corretivas planejadas e não planejadas para o equipamento estudado.

Figura 6 - Intervenções de origem corretiva realizadas no equipamento.



Fonte: Empresa estudada.

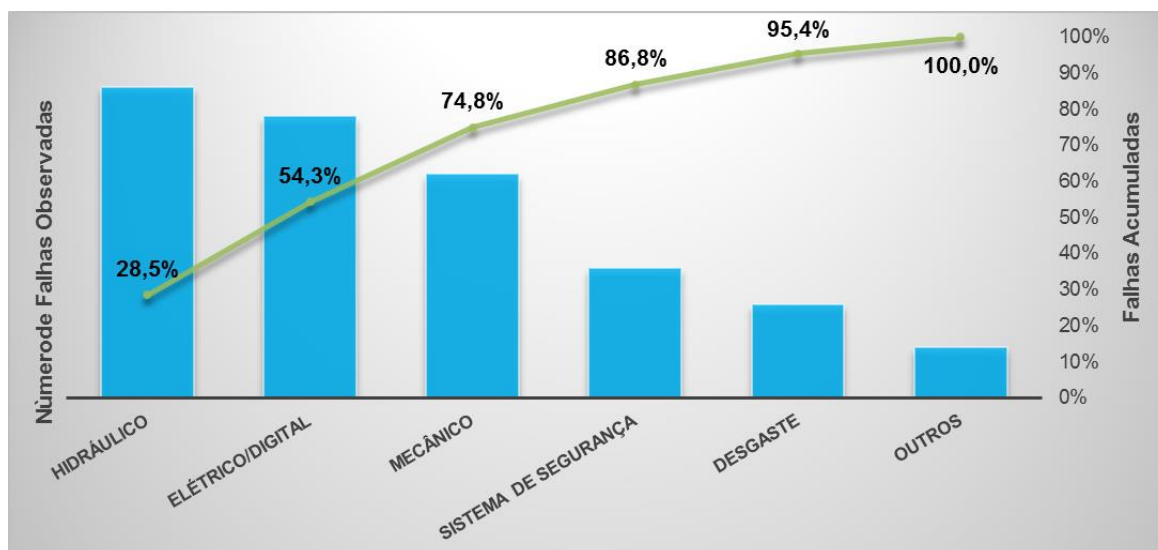
O gráfico mostra que 43,8% das manutenções corretivas realizadas não são planejadas, ou seja, nestes casos a manutenção é realizada em fato já ocorrido, o que geralmente implica em altos custos e paradas de produção.

Destaca-se o percentual de 56,2% de manutenções corretivas planejadas, onde não foi necessária a parada do equipamento para a realização do reparo. Nestes casos sabe-se que há uma falha, porém ela não é grave e a manutenção pode ser efetuada em um momento onde o equipamento está inoperante.

Com relação as origens das falhas encontradas, o gráfico de Pareto representado na figura 7 mostra as principais detectadas. Para a elaboração do gráfico, cada uma das falhas observadas foi classificada de acordo com sua origem, resultando em um ranking do maior até o menor percentual de origem de problemas.

Para Palady (1997), este gráfico é utilizado para mostrar as causas que levam a um modo de falha. A mensagem subjacente sustentada pelo princípio de Pareto é de que poucas das causas identificadas contribuirão para a maioria do modo de falha em potencial.

Figura 7 - Gráfico de Pareto: Intervenções realizadas por origem de problema.



Fonte: Empresa estudada.

O gráfico mostra que aproximadamente 75% das falhas são causadas por problemas nos sistemas hidráulico, elétrico/digital, e mecânico. Estas são consideradas as principais fontes de alimentação do equipamento, contando com um número elevado de componentes, o que justifica o alto índice de falhas. Destacam-se também as falhas no sistema de segurança e os problemas relacionados a desgaste dos componentes.

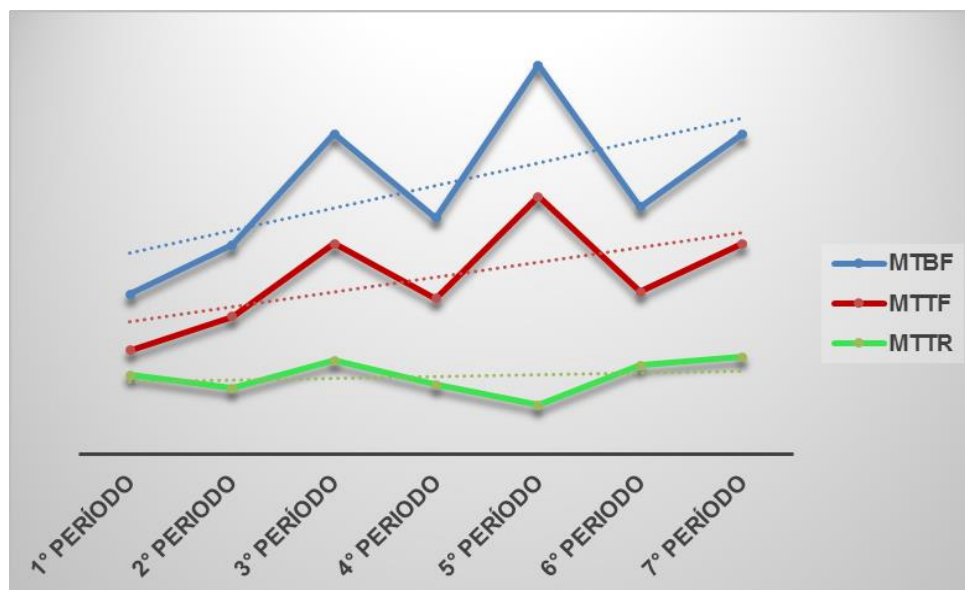
Os problemas tratados como “outros” são considerados pontuais, entre eles podem ser destacados problemas como ruído anormal, componentes com dificuldade para retirada, acompanhamento de testes, entre outros.

4.2.3.2. Dados dos indicadores de manutenção

O cálculo dos indicadores de manutenção foi realizado conforme as metodologias de Viana (2002) e Pinto e Xavier (2001). O período compreendido pela análise foi dividido em 7 trimestres, portanto os dados apresentados representam análises comparativas entre estes trimestres e também são interpretadas tendências futuras para indicadores.

Na figura 8 estão representados graficamente os indicadores MTBF, MTTF e MTTR.

Figura 8 - Índices de manutenção do equipamento.



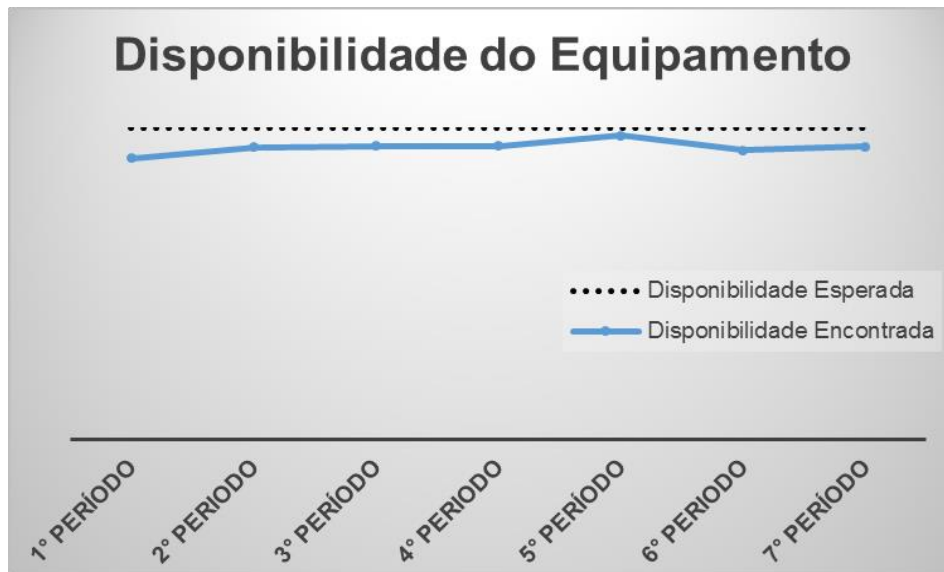
Fonte: Empresa estudada.

Os indicadores de Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) e Tempo Médio Para a Falha (MTTF) apresentam resultados absolutos e tendências muito similares. Observa-se que as tendências destes dois indicadores são crescentes, o que representa o aumento do tempo de operação do equipamento entre uma falha e outra.

O indicador de Tempo Médio de Reparo (MTTR) não apresentou resultados satisfatórios nos últimos períodos de operação. Observa-se que o MTTR destes períodos é maior que no início de operação do equipamento. De acordo com Viana (2002), quanto menor o MTTR no passar do tempo melhor o andamento da manutenção, uma vez que os reparos corretivos demonstram ser cada vez menos impactantes na produção.

A apresentação dos dados de disponibilidade do equipamento é feita na figura 9. A análise foi realizada comparando a disponibilidade esperada para o equipamento, com a disponibilidade encontrada no período de análise.

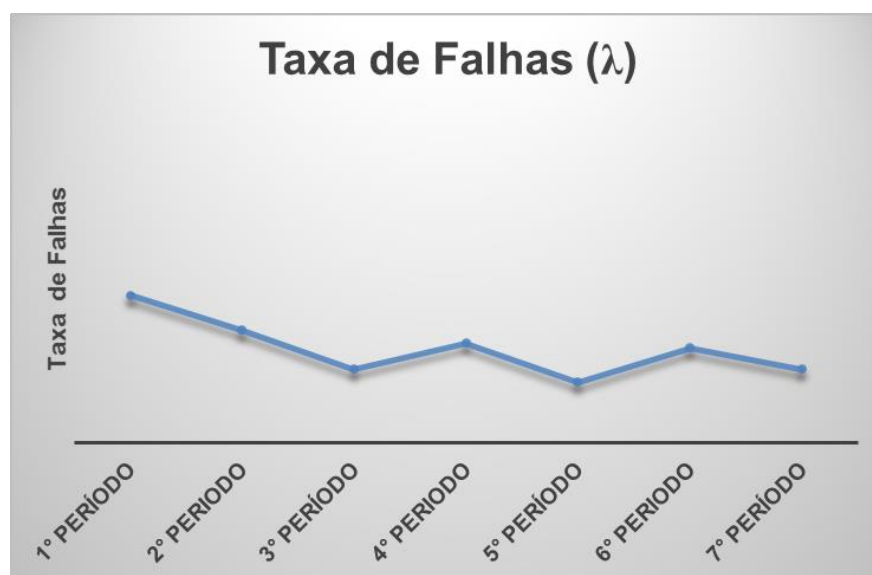
Figura 9 - Disponibilidade do equipamento no período de análise.



Fonte: Empresa estudada.

Observa-se que a disponibilidade do equipamento teve um aumento relevante entre o primeiro e o segundo período de operação, mantendo-se constante até o quarto período. O quinto período apresentou a maior taxa de disponibilidade desde o início de operação, chegando muito próximo ao esperado

Figura 10 - Taxa de falhas do equipamento no período de análise.



Fonte: Empresa estudada.

A curva característica da vida do equipamento, também conhecida como “curva da banheira”, fica evidente a medida que a taxa de falhas inicia alta no

primeiro período de operação, e diminui bruscamente até o terceiro período. Entende-se então estes 3 primeiros períodos como a fase de mortalidade infantil.

Apesar de algumas oscilações a partir do quarto período de operação, o equipamento encontra-se atualmente na fase da vida útil. Nesta fase, segundo Fogliatto e Ribeiro (2009), as falhas se devem tipicamente a condições extremas no ambiente de operação do produto e podem ocorrer, uniformemente, a qualquer momento do tempo.

4.2.4 Definição do contexto operacional e fronteiras do sistema

A bancada de testes dinâmicos é utilizada para a verificação funcional de todas as plataformas fabricadas pela empresa na unidade de Horizontina – RS. O equipamento possibilita testar o sistema hidráulico, elétrico e mecânico dos seguintes modelos:

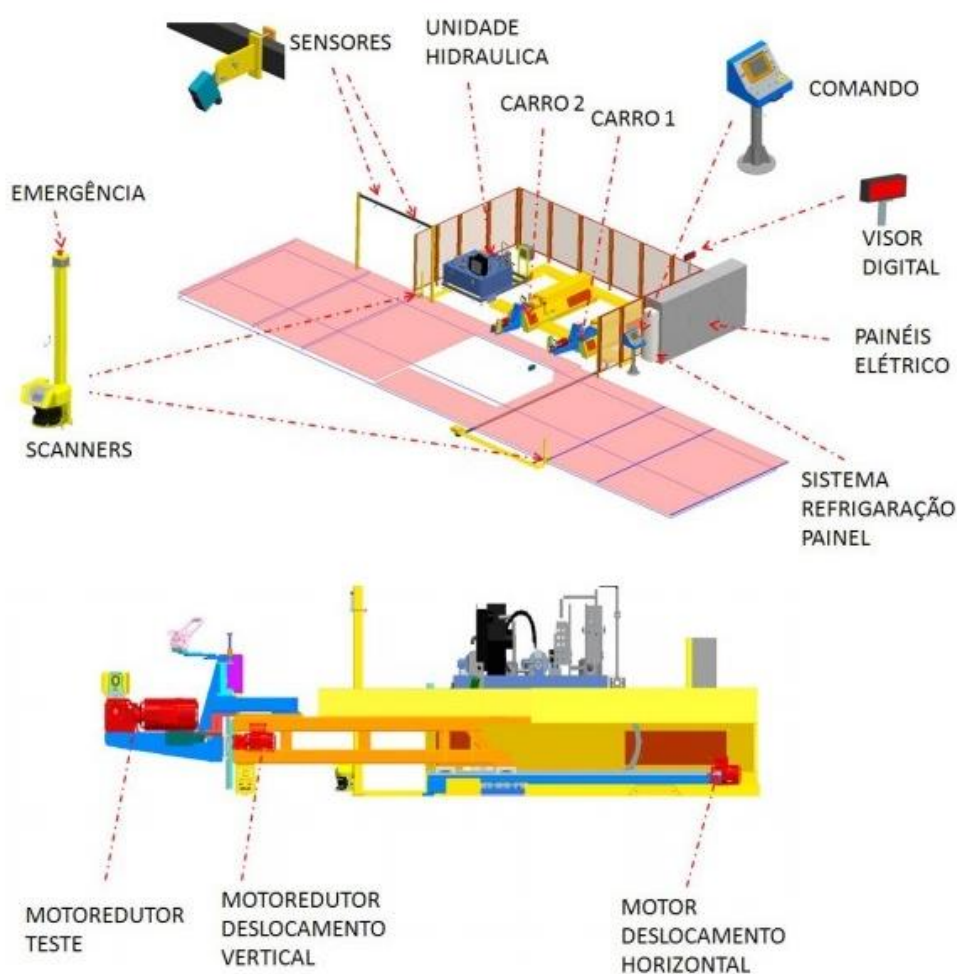
- Plataforma de Corte;
- Plataforma Flex Draper;
- Plataforma de Milho.

A simulação do funcionamento dos sistemas ocorre com baixa velocidade de rotação para poder verificar e identificar possíveis defeitos ou interferências ocasionadas durante o processo de manufatura. Todas as plataformas produzidas devem ser testadas por este equipamento, o qual opera na grande parte do ano em dois turnos de trabalho.

A definição das fronteiras do sistema é limitada à medida que a empresa estudada restringe a divulgação de dados confidenciais de seus equipamentos.

Na figura 11 o equipamento é mostrado em vista explodida, sendo possível identificar os subsistemas definidos pelo fabricante, além de suas proximidades e ligações.

Figura 11 - Equipamento estudado em vista explodida.



Fonte: Empresa estudada.

4.2.5 Hierarquização do equipamento e elaboração do Diagrama de Blocos Funcional (DBF)

A hierarquização do equipamento foi realizada em conjunto com a equipe de trabalho MCC, utilizando como base as informações dos fabricantes dos componentes e a experiência dos membros da equipe.

A falha de um equipamento em um sistema de hierarquia resultará na paralisação de todos os componentes vinculados a ele, e isto poderia resultar em um número elevado de equipamentos fora de operação em uma única falha (RELIASOFT, 2014).

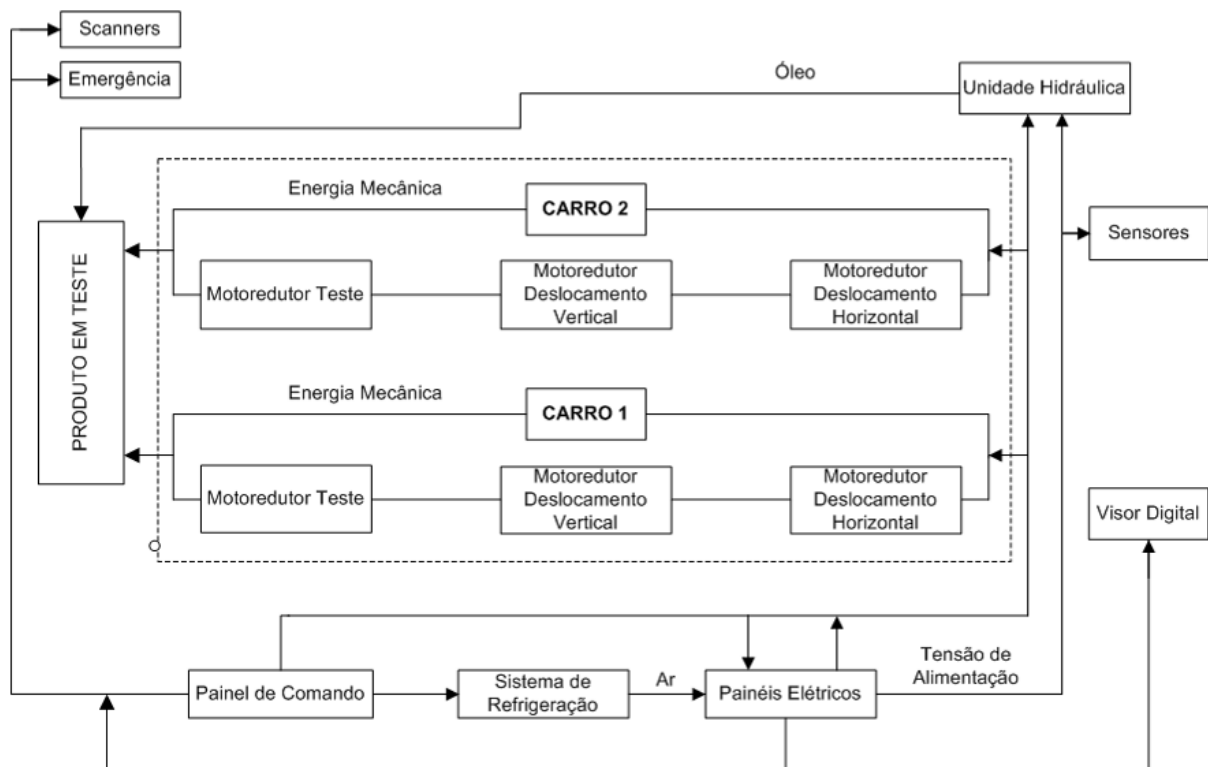
A hierarquização realizada abrange 3 níveis: sistema, subsistema e item. A análise contemplou todos os subsistemas identificados no equipamento analisado. A nível de item, foram listados os principais itens de cada subsistema, baseado no

histórico de falhas disponível e na experiência dos mantenedores do equipamento. O Apêndice A mostra a hierarquização realizada.

A figura 12 contempla o diagrama de blocos funcional da bancada de testes estudada. O diagrama foi elaborado pela equipe MCC, foram utilizadas como referências os manuais do fabricante e as informações adquiridas pelos colaboradores durante o período de operação do equipamento.

O diagrama de blocos pode ser definido como uma representação gráfica dos componentes de um projeto. Esses diagramas são utilizados para mostrar o fluxo de energia nos componentes de determinado projeto ou simplesmente uma visão geral dos componentes ou sistema individuais (PALADY, 1997).

Figura 12 - Diagrama de Blocos Funcional (DBF).



Fonte: Empresa estudada.

4.2.6 Definição de função, falha funcional, modo de falha, efeito e consequência

Para o melhor desenvolvimento e entendimento desta etapa foi aplicada a ferramenta FMEA. A análise contemplou os principais subsistemas identificados no equipamento analisado.

A aplicação da FMEA teve início com a identificação das funções dos subsistemas da bancada de testes, o que pode ser considerado como a razão da existência destes componentes. Foram definidos também os modos, efeitos e causas de cada possível falha, levando em consideração o histórico de ocorrências do equipamento.

A análise teve segmento com a quantificação da probabilidade de frequência, gravidade e detectabilidade de cada falha. Os dados de frequência foram baseados no histórico de falhas, já a priorização de gravidade e detectabilidade foi realizada em conjunto com os mantenedores e engenheiro responsável pelo equipamento. O quadro 4 apresenta um resumo da planilha FMEA. A análise completa encontra-se no Apêndice B.

Destaca-se que os três motoredutores possuem funções diferentes no sistema, porém os modos, efeitos e causas das falhas são os mesmos devido à similaridade de seus componentes.

Quadro 4 – Resumo da planilha FMEA.

#	SUBSISTEMA	FUNÇÃO	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO(S) DA FALHA POTENCIAL	CAUSA(S) POTENCIAL DA FALHA	CONTROLE DE PREVENÇÃO / DETECÇÃO	FREQUENCIA	GRAVIDADE	DETECTABILIDADE	INDICE DE RISCO
8	Unidade hidráulica	Armazenar óleo e alimentar os sistemas hidráulicos	Não aciona componentes hidráulicos	Sistema hidráulico não é testado	- Comando de válvulas não funciona - Falta de óleo - Passagens de óleo obstruídas	- Limpeza do sistema: - Inspeção visual - Reaperto geral	8	9	7	504
			Vazamento de óleo	Não atinge a pressão ideal do sistema	- Mangueiras furadas - Conexões fissuradas - Anéis e retentores danificados/faltantes	- Inspeção visual - Backup.	8	2	2	32
			Contaminação do óleo	Redução da eficiência do sistema e da vida útil dos componentes	- Filtros sujos/saturados - Sujeira da tubulação - Anéis e retentores danificados/faltantes	- Identificação de filtros Saturados	6	5	6	180

Fonte: Elaborado pelo autor.

Ainda como parte da FMEA, foi realizada a classificação dos componentes, os quais foram definidos como crítico, potencialmente crítico ou não crítico. Para Fogliatto e Ribeiro (2009), os componentes críticos e potencialmente críticos devem ser incluídos no programa de manutenção. Já para os não-críticos, onde a falha não possui consequências graves, estes autores recomendam a adoção de estratégia reativa, definindo por rodar até a falha. O risco resultante da multiplicação dos valores definidos para Gravidade, Frequência e Detectabilidade também foram levados em consideração para a classificação dos componentes.

Quadro 5 – Classificação dos subsistemas quanto a criticidade.

SUBSISTEMA	CLASSIFICAÇÃO
Motoredutor teste	POTENCIALMENTE CRÍTICO
Motoredutor deslocamento vertical	POTENCIALMENTE CRÍTICO
Motoredutor deslocamento horizontal	POTENCIALMENTE CRÍTICO
Sistema de refrigeração	POTENCIALMENTE CRÍTICO
Painéis elétricos	CRÍTICO
Visor digital	NÃO-CRÍTICO
Painel de comando	POTENCIALMENTE CRÍTICO
Unidade hidráulica	CRÍTICO
Sensores	NÃO-CRÍTICO
Emergência	CRÍTICO
Scanners	CRÍTICO

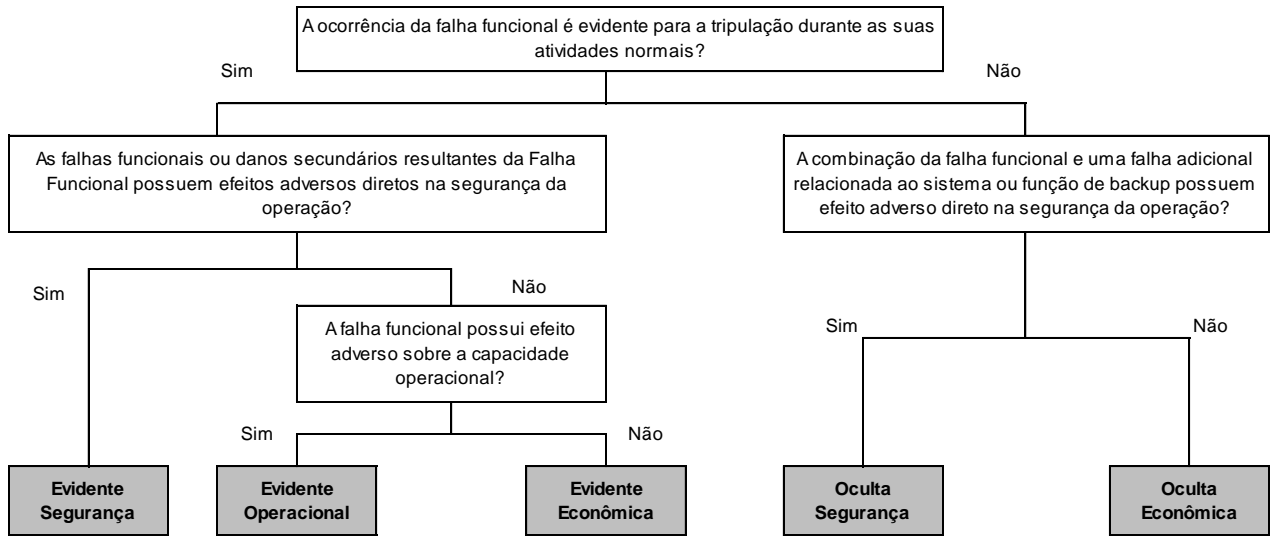
Fonte: Elaborado pelo autor.

A classificação mostra que grande parte dos subsistemas devem ser incluídos nos programas de manutenção. Os itens não-críticos foram classificados desta forma pela função que executam, não sendo a única forma de acionamento dos comandos. Destaca-se também a facilidade em identificar as falhas destes componentes e seu baixo custo de reparo.

4.2.7 Categorização dos efeitos de falha (FEC – Failures Effect Categorization)

A categorização dos efeitos de falha foi realizada seguindo o diagrama lógico de 5 categorias, proposto pela Reliasoft (2014). Cada um dos efeitos de falha evidenciados anteriormente foi submetido as questões do diagrama, que levaram a definição das categorias para estes efeitos.

Figura 13 – Diagrama de definição das categorias dos efeitos de falha.



Fonte: RELIASOFT, 2014.

O resultado da categorização dos efeitos de falha pode ser visualizado no quadro 6. Destaca-se que os subsistemas classificados anteriormente como críticos tiveram categorização dos efeitos com falhas oculta econômica e evidente segurança. Estes resultados se devem ao custo dos componentes destes subsistemas e também de sua importância em relação a segurança dos operadores do equipamento.

Quadro 6 - Categorização dos efeitos de falha

ITEM	DESCRIÇÃO	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO(S) DA FALHA POTENCIAL	CATEGORIZAÇÃO DOS EFEITOS DE FALHA
1	Motoredutor teste	Engrenagem quebrada/desgastada	Sobrecarga no sistema	EVIDENTE OPERACIONAL
2	Motoredutor deslocamento vertical	Desgaste ou ruptura dos eixos	Sobrecarga no sistema	EVIDENTE OPERACIONAL
		Falha nos rolamentos	Sobrecarga no sistema Aquecimento excessivo	EVIDENTE SEGURANÇA
3	Motoredutor deslocamento horizontal	Falha no motor elétrico	Parada de equipamento	OCULTA SEGURANÇA
4	Sistema de refrigeração	Não refrigera painéis elétricos	Superaquecimento dos painéis elétricos	OCULTA ECONÔMICA
		Não indica temperatura do sistema	Superaquecimento dos painéis elétricos	OCULTA ECONÔMICA

5	Painéis elétricos	Inversores de frequência não funcionam	Não acionamento dos motores	OCULTA ECONÔMICA
		CLP não funciona	Todo o sistema fica inoperante	OCULTA ECONÔMICA
		Transformadores/fontes não funcionam	Parte do sistema inoperante	OCULTA ECONÔMICA
6	Visor digital	Não indica a leitura	Impede o controle do nivelamento para a realização do teste	EVIDENTE ECONÔMICA
7	Painel de comando	Botões não respondem ao acionamento	Não aciona / interrompe teste desejado	EVIDENTE OPERACIONAL
		Display touch screen não funciona	Não aciona / interrompe teste desejado	EVIDENTE OPERACIONAL
8	Unidade hidráulica	Não aciona componentes hidráulicos	Sistema hidráulico não é testado	EVIDENTE OPERACIONAL
		Vazamento de óleo	Não atinge a pressão ideal do sistema	EVIDENTE OPERACIONAL
		Contaminação do óleo	Redução da eficiência do sistema e da vida útil dos componentes.	OCULTA ECONÔMICA
9	Sensores	Não reconhecer modelo de plataforma a ser testado	Software irá chamar modelo de máquina incorreto	EVIDENTE OPERACIONAL
10	Emergência	Não aciona ao pressionar botão	Não interrompe o teste em caso de algum sinistro	EVIDENTE SEGURANÇA
11	Scanners	Não reconhece área de teste	Todo o sistema fica inoperante	EVIDENTE OPERACIONAL
		Não interromper teste em caso de invasão	Invasão da área pode causar acidente de trabalho	EVIDENTE SEGURANÇA

Fonte: Elaborado pelo autor.

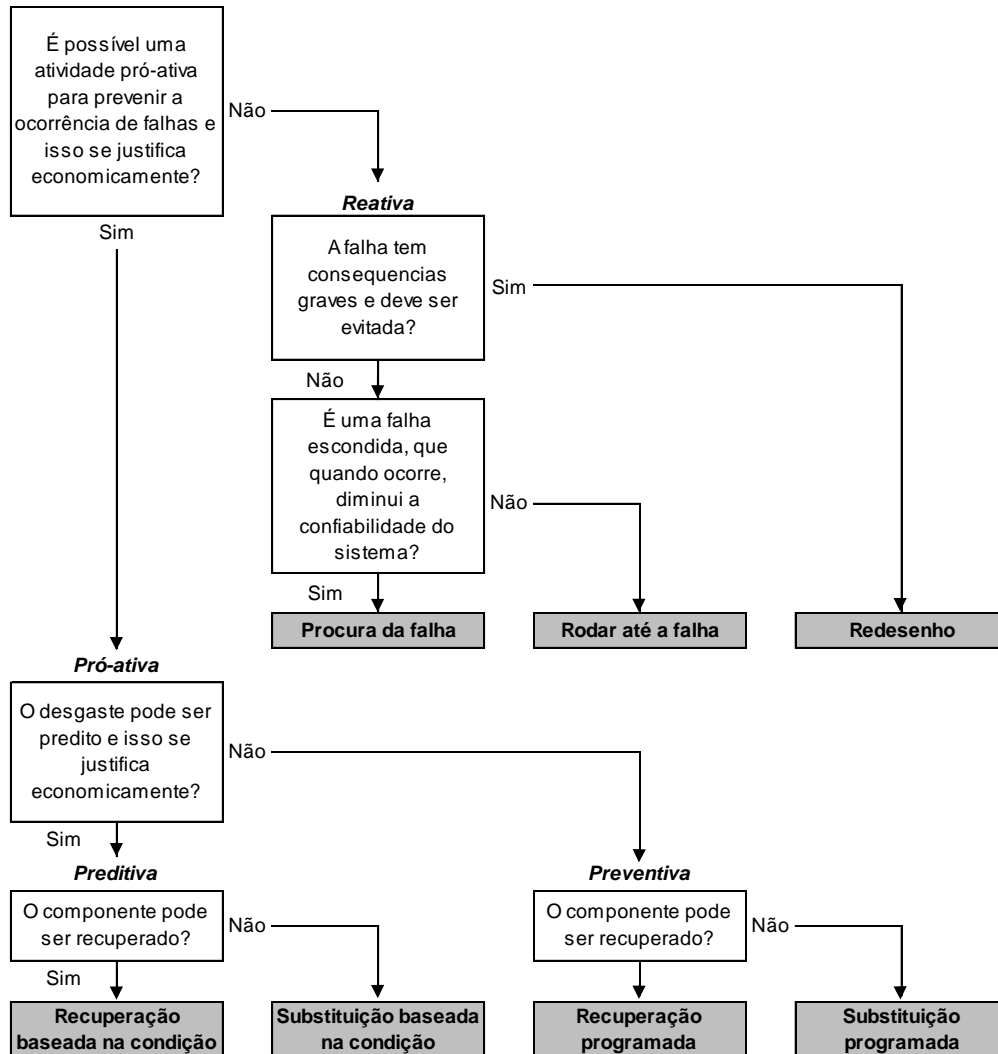
4.2.8 Seleção e descrição das tarefas de manutenção / determinação de intervalos e recursos

A definição das atividades de manutenção adequadas para cada item e sua falha foi realizada a partir do diagrama de verificação da atividade recomendada, sugerido por Fogliatto e Ribeiro (2009).

O diagrama foi aplicado para os modos de falha observados nos principais subsistemas do equipamento. As questões foram respondidas pela equipe de trabalho MCC, baseadas no conhecimento dos membros, no histórico de falhas do equipamento e nas informações técnicas disponíveis.

Este resultado determina as atividades de manutenção a serem realizadas, podendo ser de natureza reativa (corretiva), preventiva ou preditiva. Pode-se chegar ainda em detalhes como procura da falha, rodar até a falha, redesenho, etc.

Figura 14 - Diagrama verificação da atividade recomendada.



Fonte: FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009, p. 230.

Após a definição das atividades de manutenção, foram definidas as tarefas pertinentes para evitar cada um dos modos de falha identificados. Esta definição ocorreu com base na experiência dos membros da equipe MCC e também com informações do manual do fabricante.

O quadro 7 mostra o resultado da definição das atividades e tarefas de manutenção para cada subsistema e seus respectivos modos de falha. É possível observar também a periodicidade da execução das atividades de manutenção para cada subsistema.

Quadro 7 – Atividades e tarefas de manutenção por subsistema.

#	SUBSISTEMA	MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO(S) DA FALHA POTENCIAL	ATIVIDADE DE MANUTENÇÃO RECOMENDADA	TAREFAS DE MANUTENÇÃO RECOMENDADAS	PERIODICIDADE
1	Motoredutor teste	Engrenagem quebrada/desgastada	Sobrecarga	Preventiva - Substituição programada	- Verificar nível de óleo - Realizar inspeção de ruídos - Análise de vibração - Realizar análise do estado das superfícies	3 meses 6 meses 6 meses 6 meses
		Desgaste/ruptura dos eixos	Sobrecarga	Preventiva - Substituição programada	- Verificar nível de óleo - Realizar inspeção de ruídos - Análise de vibração - Realizar análise do estado das superfícies	3 meses 6 meses 6 meses
2	Motoredutor deslocamento vertical	Falha nos rolamentos	Sobrecarga Aquecimento	Preditiva - Substituição baseada na condição	- Verificar nível de óleo - Realizar inspeção de ruídos - Análise de vibração - Realizar análise do estado das superfícies	3 meses 6 meses 6 meses
		Falha no motor elétrico	Parada de equipamento	Preditiva - Substituição baseada na condição	- Realizar inspeção visual - Realizar análise de vibração - Medir de tensão e corrente - Realizar inspeção termográfica	3 meses 6 meses 3 meses 6 meses
3	Motoredutor deslocamento horizontal	Falha nos rolamentos	Sobrecarga Aquecimento	Preditiva - Substituição baseada na condição	- Verificar nível de óleo - Realizar inspeção de ruídos - Análise de vibração - Realizar análise do estado das superfícies	3 meses 6 meses 6 meses
		Falha no motor elétrico	Parada de equipamento	Preditiva - Substituição baseada na condição	- Realizar inspeção visual - Realizar análise de vibração - Medir de tensão e corrente - Realizar inspeção termográfica	3 meses 6 meses 3 meses 6 meses
4	Sistema de refrigeração	Não refrigera painéis elétricos	Superaquecimento	Preventiva - Substituição programada	- Realizar inspeção visual - Limpar filtros - Medir de tensão e corrente	3 meses 3 meses 3 meses
		Não indica temperatura	Superaquecimento	Preventiva - Substituição programada	- Verificar condições do sensor de temperatura - Verificar condições do controlador de temperatura	6 meses 6 meses
5	Painéis elétricos	Inversor de frequência não funciona	Não aciona os motores	Preditiva - Recuperação baseada na condição	- Realizar inspeção visual - Medir tensão e corrente - Verificar condições do inversor	3 meses 3 meses 6 meses
		CLP não funciona	Todo o sistema fica inoperante	Preditiva - Recuperação baseada na condição	- Realizar inspeção visual - Medir tensão - Verificar condições dos cabos de comunicação	3 meses 3 meses 6 meses

		Transformadores/fontes não funcionam	Impede o controle do nivelamento para a realização do teste	Preditiva - Recuperação baseada na condição	- Realizar inspeção visual - Verificar de disjuntores desarmados - Medir tensão	3 meses 3 meses 3 meses
6	Visor digital	Não indica a leitura	Impede o controle do nivelamento para a realização do teste	Reativa - Rodar até a falha	- Substituir display	Quando falhar
7	Painel de comando	Botões não respondem ao acionamento	Não aciona / interrompe teste desejado	Preditiva - substituição baseada na condição	- Inspeção visual dos contatos elétricos - Verificar necessidade de substituir contatos elétricos	3 meses 6 meses
		Display <i>touch screen</i> não funciona	Não aciona / interrompe teste desejado	Reativa - Procura de falha	- Substituir display <i>touch screen</i> - Verificar condições do software	Quando falhar 12 meses
8	Unidade hidráulica	Não aciona componentes hidráulicos	Sistema hidráulico não é testado	Preventiva - Recuperação programada	- Realizar inspeção visual - Verificar condições gerais dos componentes hidráulicos - Medir de tensão e corrente	3 meses 6 meses 3 meses
		Vazamento de óleo	Não atinge a pressão ideal do sistema	Preventiva - Substituição programada	- Realizar inspeção visual - Lubrificar sistema - Verificar condições das vedações - Verificar pressões de trabalho	3 meses 3 meses 6 meses 3 meses
		Contaminação do óleo	Redução da eficiência do sistema e da vida útil dos componentes	Preventiva - Substituição programada	- Verificar filtros de óleo - Analisar estado do óleo	3 meses 6 meses
9	Sensores	Não reconhecer modelo de plataforma a ser testado	Software irá chamar modelo de máquina incorreto	Reativa - Rodar até a falha	- Verificar software de controle - Substituir sensores	12 meses Quando falhar
10	Emergência	Não aciona	Não interrompe o teste em caso de algum sinistro	Preventiva - Substituição programada	- Inspeção visual dos contatos elétricos - Verificar necessidade de substituir contatos elétricos	3 meses 6 meses
11	Scanners	Não reconhece área de teste	Todo o sistema fica inoperante	Preventiva - Substituição programada	- Verificar interrupções na área - Verificar o software de controle - Verificar condições do scanner	6 meses 12 meses 6 meses
		Não interromper teste em caso de invasão	Invasão da área pode causar acidente de trabalho	Preventiva - Substituição programada	- Verificar condições do scanner	6 meses

Fonte: Elaborado pelo autor

Destaca-se que em alguns casos onde foram evidenciadas atividades preditivas pelo diagrama lógico, são aplicadas tarefas preventivas. Isto também ocorre para atividades preventivas que receberam sugestões de tarefas preditivas. Este fato ocorre pela presença de alguns itens e componentes críticos em subsistemas de média ou baixa criticidade, ou ainda pela potencialidade de falhas ocultas nestes locais.

4.2.9 Análise da documentação, relatórios, gráficos e carga para CMM'S

Como o trabalho realizado é uma proposta de implantação, onde a empresa optará ou não pela execução, não foi possível realizar a análise dos efeitos gerados pela metodologia sugerida. Portanto, neste item são abordados os resultados esperados com a utilização da MCC na bancada de testes dinâmicos.

Para as equipes de manutenção, a implantação da proposta representa um maior e mais conciso controle de execução das tarefas, além de um complemento de conhecimento teórico e prático da metodologia aplicada. É importante ressaltar que a carga de trabalho dos colaboradores envolvidos na equipe sofrerá impacto, pois a metodologia aborda uma análise contínua de dados.

Para o ativo, destaca-se a preservação do equipamento devido principalmente as manutenções preditivas sugeridas, tendendo assim a aumentar consideravelmente sua vida útil. A redução das falhas, sobretudo as ocultas, também é esperada e impacta diretamente na disponibilidade do equipamento.

No que se diz respeito aos indicadores de manutenção, se almejam melhorias a curto e longo prazo, considerando que o equipamento já possui um tempo relevante de operação.

Quadro 8 - Resultados esperados a curto e longo prazo.

CURTO PRAZO	LONGO PRAZO
<ul style="list-style-type: none"> - Redução da variabilidade do Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) e do Tempo Médio Para a Falha (MTTF) - Redução da variabilidade do Tempo Médio Para Reparo (MTTR) - Aumento leve da disponibilidade do ativo - Estabilização da taxa de falhas 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumento do Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) e do Tempo Médio Para a Falha (MTTF); - Redução do Tempo Médio Para Reparo (MTTR) - Aumento considerável da disponibilidade do ativo; - Redução da taxa de falhas

Fonte: Elaborado pelo autor.

É importante destacar a redução da variabilidade dos indicadores a curto prazo, pois foram identificadas oscilações indesejadas nos períodos compreendidos pela análise.

Para a empresa a utilização deste programa de manutenção tenderá a representar altos custos iniciais, gerados pela rigorosidade da análise e monitoramento de dados. Porém, com o passar do tempo e a realização dos ajustes necessários, espera-se uma estabilização destes custos e um ganho financeiro altamente relevante com a redução de intervenções corretivas e aumento do tempo de operação do ativo.

Como melhoria no processo produtivo, espera-se um aumento no número de plataformas testadas na primeira vez, sem atrasos no *takt time* de produção. Isto representa também uma redução nos custos com testes alternativos, os quais agregam maior número de pessoas para execução.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em tempos onde é inaceitável que os sistemas ou equipamentos parem de modo não previsto, a gestão estratégica da manutenção é um dos fatores críticos de sucesso em muitas empresas. A garantia da disponibilidade dos ativos proporciona uma produção sem paradas e, por consequência, o faturamento é incomensuravelmente maior.

A Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) tem ganhado destaque nos últimos anos pela sua abordagem racional e sistemática, sendo uma das formas mais eficientes de abordar as questões de manutenção. Com sua utilização, as empresas conseguem alcançar excelência nestas atividades, reduzindo custos, acidentes de trabalho, defeitos, reparos, substituições, e o mais importante, aumentando a disponibilidade de seus ativos.

Tendo em vista os aspectos observados, o capítulo 4, apresentação e análise dos resultados, evidencia a proposta de utilização da Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC) em uma bancada de testes dinâmicos, visando a redução do índice de falhas funcionais. Logo, este capítulo atende ao objetivo geral da pesquisa.

O objetivo específico de conceituar os diversos tipos de manutenção é referenciado no capítulo 2, referencial teórico. As informações contextualizadas neste capítulo tiveram grande importância para o entendimento geral do tema, assim como no desenvolvimento do estudo.

No item 4.2.3 apresentou-se a preparação de documentos para análise, onde foram coletadas e processadas informações referentes ao histórico de manutenção da bancada de testes, contemplando o objetivo específico “obter e analisar dados atuais de manutenção do equipamento”.

Após a apresentação e análise dos fatos históricos de manutenção, os itens 4.2.4, 4.2.5 e 4.2.7 proporcionaram uma visão mais detalhada do equipamento e seus modos, causas e efeitos de falha, permitindo a priorização e definição das criticidades. Finalmente, no item 4.2.8 foi possível agrupar os dados analisados e elaborar a listagem de atividades e tarefas de manutenção para o equipamento estudado, atendendo ao último objetivo específico, o qual visava propor uma nova estratégia de manutenção utilizando a MCC.

A seleção e descrição das tarefas de manutenção pode ser considerada a etapa mais prática do trabalho, onde foram aplicados todos os conceitos e

informações compreendidos ao longo do estudo. As tarefas propostas visam reduzir as probabilidades de falha dos itens realmente críticos, considerando questões operacionais, econômicas e de segurança.

Acredita-se que com a implantação da proposta idealizada por este trabalho, o número de falhas tenha uma redução significativa, melhorando consideravelmente os indicadores de manutenção e resultando em uma redução dos tempos de indisponibilidade do equipamento.

O monitoramento e as atualizações constantes dos índices também se tornam fundamentais à medida que a proposta for implantada e as tarefas de manutenção forem sendo executadas. Com as futuras tendências positivas, as atividades poderão sofrer ajustes, tornando as tarefas mais específicas baseadas no monitoramento efetuado, atuando cada vez mais de forma proativa nos itens que realmente ocasionam falhas.

Verificou-se no desenvolvimento do trabalho que a metodologia MCC requer grande aplicação de uma equipe de trabalho, além de um conhecimento diferenciado do equipamento analisado. Percebeu-se também que, por ser um conceito relativamente novo na indústria, a MCC não é perfeitamente compreendida por todos. Este fato torna o estudo e uma possível implantação mais demorados.

Como sugestão para trabalhos de continuação dos estudos realizados, pode ser indicada a estratificação mais aprofundada dos subsistemas da bancada de testes, realizando a hierarquização com mais níveis. Isto proporcionará um maior controle individual dos componentes, sendo possível identificar causas de falhas específicas e determinar controles rigorosos para os mesmos.

Outro fator que pode ser levado em consideração para estudos futuros é a análise aprofundada dos índices de manutenção (MTTF, MTBF e MTTR). Um detalhamento destes indicadores atuando por modo de falha ou por subsistema do equipamento auxilia na definição da periodicidade de execução das manutenções de natureza preventiva e preditiva com maior exatidão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5462 TB 116: Confiabilidade e Manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J.L.D. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

KLEIN, J.J. **Desenvolvimento e Implantação de um Sistema de Planejamento e Controle da Manutenção Informatizada em uma Instituição de Ensino Superior**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

MIGUEL, P. A. C. et al. **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010.

MOUBRAY, J. **RCM II: Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Grã Bretanha: Biddles Ltds.; Guilford and king's Lynn, 2000. Edição Brasileira.

NASCIF, J.; DORIGO, L.C. **A importância da gestão na manutenção ou Como evitar as “armadilhas” na Gestão da Manutenção**. Disponível em http://www.fatec.edu.br/html/fatecam/images/stories/dspti_ii/asti_ii_texto_referencia1_gestao_manutencao.pdf. Acesso em 18 de Novembro de 2014.

NAKAJIMA, Seiichi. **Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance**. São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos Ltda, 1989.

PALADY, P. **Análise dos Modos de Falha e Efeitos: Prevendo e prevenindo problemas antes que ocorram**. São Paulo: IMAM, 1997.

PINTO, A.K.; XAVIER, J.A. N. **Manutenção: função estratégica**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 2001.

RELIASOFT. **Reliability Centered Maintenance – Manutenção Centrada na Confiabilidade**. São Paulo, 2014.

SHERWIN, D. A Review of Overall Models for Maintenance Management. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 6, n. 3, p.138 – 164, 2000.

TAVARES, L. **Administração moderna da manutenção**. 2º Edição. Rio de Janeiro: Novo Polo, 1999.

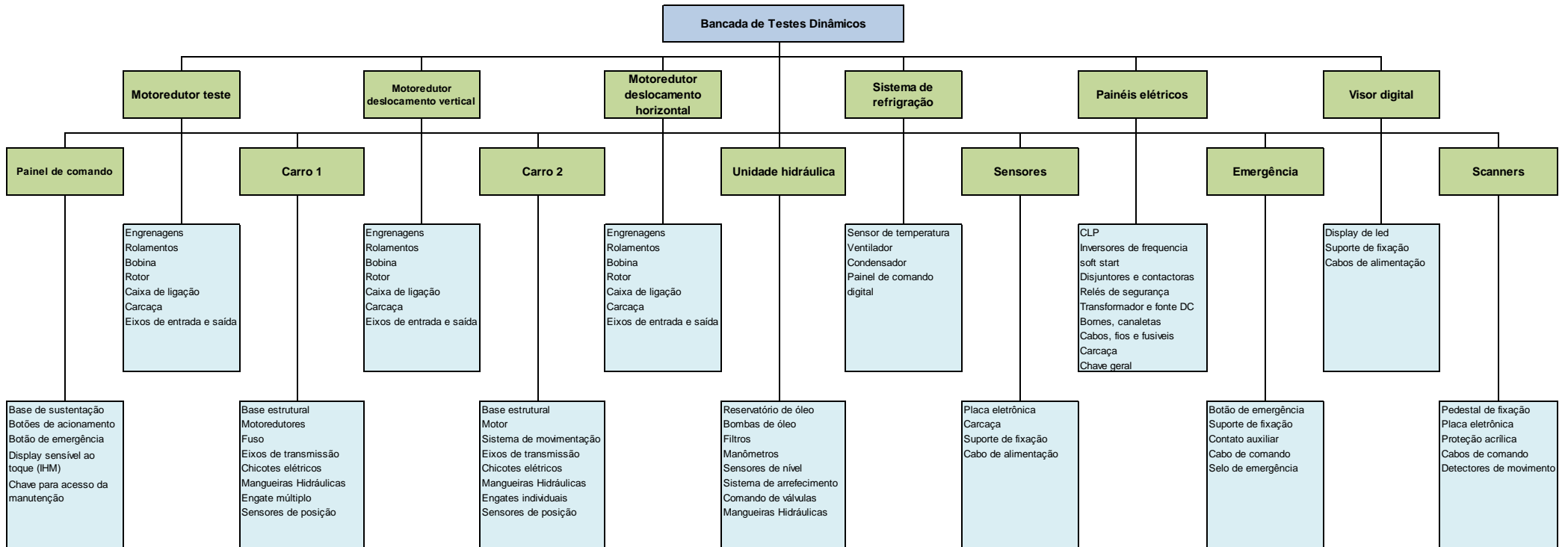
THIOLLENT, M. **Metodologia da pesquisa-ação**. 14. ed. São Paulo: Cortez, 2005.

TOLEDO, J. C.; AMARAL, D. C. **FMEA – Análise do Tipo e Efeito de Falha**. Grupo de Estudo e Pesquisa em Qualidade, Universidade Federal de São Carlos. Disponível em <<http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf>> Acesso em 04 de Abril de 2014.

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

ZAIONS, D. R. **Consolidação da Metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em Uma Planta de Celulose e Papel**. Dissertação - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2003. Disponível em <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3297/000385443.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 14 de Abril de 2014.

APÊNDICE A – Hierarquização do equipamento estudado



APÊNDICE B – Planilha FMEA

ITEM	DESCRIÇÃO	FALHAS POSSÍVEIS			ATUAL				
		MODO DE FALHA POTENCIAL	EFEITO(S) DA FALHA POTENCIAL	CAUSA(S) POTENCIAL DA FALHA	CONTROLE DE PREVENÇÃO / DETECÇÃO	FREQUENCIA	GRAVIDADE	DETECTABILIDADE	INDICE DE RISCO
1	Motoredutor teste	Engrenagem quebrada/desgastada	Sobrecarga no sistema	<ul style="list-style-type: none"> - Material ou dureza incorretos - Lubrificação inadequada - Sistema mal dimensionado 	<ul style="list-style-type: none"> - Verificação de nível de óleo - Inspeção de ruídos - Análise de vibração - Inspeção visual 	2	6	4	48
2	Motoredutor deslocamento vertical	Desgaste ou ruptura dos eixos	Sobrecarga no sistema	<ul style="list-style-type: none"> - Material ou dureza incorretos - Lubrificação inadequada - Montagem inadequada - Fadiga 	<ul style="list-style-type: none"> - Verificação de nível de óleo - Inspeção de ruídos - Análise de vibração - Inspeção visual 	2	6	7	84
		Falha nos rolamentos	Sobrecarga no sistema Aquecimento excessivo	<ul style="list-style-type: none"> - Sobrecarga - Montagem inadequada - Lubrificação inadequada 	<ul style="list-style-type: none"> - Verificação de nível de óleo - Inspeção de ruídos - Análise de vibração - Inspeção visual 	2	6	7	84
3	Motoredutor deslocamento horizontal	Falha no motor elétrico	Parada de equipamento	<ul style="list-style-type: none"> - Curto circuito - Aquecimento gerado por sobrecarga 	<ul style="list-style-type: none"> - Inspeção visual - Análise de vibração - Medição de tensão e corrente 	3	7	8	168

4	Sistema de refrigeração	Não refrigera painéis elétricos	Superaquecimento dos painéis elétricos	- Condensador não funciona - Ventilador não funciona - Sobrecarga no compressor - Falta de energia (disjuntor individual)	- Limpeza do sistema - Inspeção visual	8	5	4	160
		Não indica temperatura do sistema	Superaquecimento dos painéis elétricos	- Sensor de temperatura não funciona - Controlador de temperatura não funciona	- Não aplicável	7	5	5	175
5	Painéis elétricos	Inversores de frequência não funcionam	Não acionamento dos motores	- Sobrecarga nos motores - Curto circuito nos motores - Curto circuito nos inversores - Alta temperatura	- Limpeza do sistema - Termografia	5	9	3	135
		CLP não funciona	Todo o sistema fica inoperante	- Falha no software de gerenciamento - Curto circuito - Falha nos cabos de comunicação	- Limpeza do sistema - Inspeção visual - Termografia	6	10	3	180
		Transformadores/fontes não funcionam	Parte do sistema inoperante	- Curto circuito - Alta temperatura	- Limpeza do sistema - Inspeção visual - Termografia	5	9	3	135
6	Visor digital	Não indica a leitura	Impede o controle do nivelamento para a realização do teste	- Placa eletrônica não funciona - Cabos de alimentação danificados	- Não aplicável	3	2	2	12
7	Painel de comando	Botões não respondem ao acionamento	Não aciona / interrompe teste desejado	- Botões danificados/desgastados - Contatos elétricos danificados - Cabos danificados	- Reaperto nos contatos - Limpeza - Backup	4	5	6	120
		Display <i>touch screen</i> não funciona	Não aciona / interrompe teste desejado	- Mau funcionamento do <i>software</i> - Display danificado - Cabos de alimentação danificados - Cabos de comunicação danificados	- Backup	2	9	6	108
8	Unidade hidráulica	Não aciona componentes hidráulicos	Sistema hidráulico não é testado	- Comando de válvulas não funciona - Falta de óleo - Passagens de óleo obstruídas.	- Limpeza do sistema - Inspeção visual - Reaperto geral	8	9	7	504
		Vazamento de óleo	Não atinge a pressão ideal do sistema	- Mangueiras furadas - Conexões fissuradas - Anéis e retentores danificados / faltantes	- Inspeção visual - Backup	8	2	2	32
		Contaminação do óleo	Redução da eficiência do sistema e da vida útil dos componentes.	- Filtros sujos/saturados - Sujeira da tubulação - Anéis e retentores danificados / faltantes	- Identificação de filtros saturados	6	5	6	180

9	Sensores	Não reconhecer modelo de plataforma a ser testado	Software irá chamar modelo de máquina incorreto	- Placa eletrônica não funciona - Cabos danificados - Mau funcionamento do software	- Sensores Backup	1	3	1	3
10	Emergência	Não aciona ao pressionar botão	Não interrompe o teste em caso de algum sinistro	- Botão danificado - Contato auxiliar não funciona - Cabos danificados	- Reaperto nos contatos - Backup	4	8	4	128
11	Scanners	Não reconhece área de teste	Todo o sistema fica inoperante	- Detectores de movimento não funcionam - Placa eletrônica não funciona - Cabos de comando danificados - Proteção acrílica danificada/suja	- Inspeção visual - Backup	6	8	3	144
		Não interromper teste em caso de invasão	Invasão da área pode causar acidente de trabalho	- Detectores de movimento não funcionam - Placa eletrônica não funciona - Cabos de comando danificados	- Não aplicável	2	10	6	120