

**INSTITUTO FEDERAL DE MINAS GERAIS
CAMPUS GOVERNADOR VALADARES
BACHARELADO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

GEISELY CHAVES CARRIJO

Aplicação das ferramentas de análise de falhas, MASP e MCC, em câmaras de ar utilizadas em pneus de equipamentos de colheita e silvicultura em uma indústria de base florestal

**Governador Valadares
Novembro de 2018**

GEISELY CHAVES CARRIJO

geiselycarrijo@hotmail.com

**Aplicação das ferramentas de análise de falhas, MASP e
MCC, em câmaras de ar utilizadas em pneus de equipamentos de
colheita e silvicultura em uma indústria de base florestal**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientadora: Débora Rosa Nascimento

Governador Valadares

Novembro de 2018



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS GERAIS
CAMPUS GOVERNADOR VALADARES
COLEGIADO DE CURSO DE DACTILORELAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO
Av. Minas Gerais, nº 5.189, Ouro Verde, Governador Valadares, CEP: 35057-760, Estado de Minas Gerais



ATA DE DEFESA

Aos vinte e nove dias do mês de novembro de 2018, às 10:00 horas, na sala de aula 12 deste instituto, foi realizada a defesa do Trabalho de Conclusão de Curso elaborado pela aluna GEISELY CHAVES CARRIJO, intitulado APLICAÇÃO DAS FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE FALHAS, MASP E MCC, EM CÂMARAS DE AR UTILIZADAS EM PNEUS DE EQUIPAMENTOS DE COLHEITA E SILVICULTURA EM UMA INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL, sendo a comissão examinadora constituída pelos professores DÉBORA ROSA NASCIMENTO, TATIELLE MENOLLI LONGHINI e HENRIQUE MIGUEL CUNHA.

A comissão examinadora deliberou pela Aprovação da aluna, com a nota 98,0. Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que é assinada pelos membros da comissão examinadora e pela aluna.

Orientadora: DÉBORA ROSA NASCIMENTO

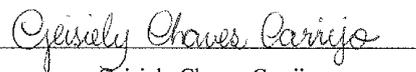
TATIELLE MENOLLI LONGHINI - IFMG-GV

HENRIQUE MIGUEL CUNHA - IFMG-GV

Aluna: GEISELY CHAVES CARRIJO

TERMO DE RESPONSABILIDADE

O texto do trabalho de conclusão de curso intitulado “Aplicação das ferramentas de análise de falhas, MASP e MCC, em câmaras de ar utilizadas em pneus de equipamentos de colheita e silvicultura em uma indústria de base florestal” é de minha inteira responsabilidade. Declaro que não há utilização indevida de texto, material fotográfico ou qualquer outro material pertencente a terceiros sem o devido referenciamento ou consentimento dos referidos autores.


Geisiely Chaves Carrijo

Governador. Valadares, 12 de novembro de 2018.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por ter me dado condições para encerrar mais uma etapa da minha vida, por ter me sustentado até aqui e por permitir que mais um sonho seja realizado. Por toda força e segurança proporcionado por Ele, para que eu pudesse buscar meus objetivos e sonhos. Aos meus pais Geania e Geneir, por todo amor e suporte durante esse período, sem vocês essa conquista não seria possível.

Aos meus professores por todo conhecimento compartilhado e por toda contribuição para que eu me torne uma profissional qualificada. À minha orientadora Débora por toda a ajuda e atenção durante a execução deste trabalho. A todos os amigos que fiz durante esse período, que contribuíram para o meu crescimento pessoal e compartilharam comigo todos os momentos bons e dificuldades pelas quais passei, aprendi muito com cada um de vocês.

Agradeço à minha família por todo apoio e toda torcida para que esta etapa fosse concluída com sucesso.

Agradeço à Edvaldes, Fabrício e Sabrina por todo o conhecimento e todo apoio durante o período de execução desse trabalho. Vocês possuem papel fundamental na minha formação. E à todos da empresa onde foi realizado esse estudo que contribuíram de alguma forma para a execução deste trabalho e para o meu crescimento profissional.

*“Os dias prósperos não
vêm por acaso, nascem de
muita fadiga e persistência.”*

Henry Ford

RESUMO

CARRIJO, Geisiely Chaves. **Aplicação das ferramentas de análise de falhas, MASP e MCC, em câmaras de ar utilizadas em pneus de equipamentos de colheita e silvicultura em uma indústria de base florestal.** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso - Bacharelado em Engenharia de Produção. Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Governador Valadares.

Este estudo foi desenvolvido em uma indústria de base florestal do ramo de celulose especificamente no setor de manutenção de equipamentos florestais. Os pneus utilizados nos equipamentos de colheita e silvicultura contam com a utilização de câmaras de ar para auxiliar na sustentação do equipamento. As câmaras de ar vêm apresentando falhas recorrentes no processo, gerando gastos financeiros não previstos e causando paradas de produção para executar os reparos. Em decorrência disso, este trabalho objetiva realizar a aplicação de duas ferramentas de análise de falhas a fim de encontrar as causas principais das falhas com as câmaras de ar para buscar a redução de sua ocorrência no processo. Foram usadas as ferramentas Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) e Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) visando o levantamento das causas fundamentais da falha e a comparação dos resultados da aplicação de cada uma das ferramentas. A aplicação das ferramentas e a consequente comparação entre elas permitiu constatar que ambas atenderam ao objetivo inicial de determinar a causa raiz da falha. Como cada uma delas possui um enfoque diferente, elas se mostraram eficazes ao serem aplicadas em conjunto, permitindo uma análise minuciosa de todas as situações envolvidas na falha e englobou atividades de manutenção adequadas para as câmaras de ar na situação analisada.

Palavras-chave: Análise de Falhas; Método de Análise e Solução de Problemas; Manutenção Centrada em Confiabilidade.

ABSTRACT

This study was developed in a pulp forest industry specifically in the forest equipment maintenance sector. The tires used in the harvesting and forestry equipments use air chambers to aid in the support of the equipment. The air chambers have been experiencing recurring failures in the process, generating unforeseen financial costs and causing production outages to perform repairs. As a result, this work has the objective of applying two fault analysis tools in order to find the main causes of the failures with the air chambers to seek the reduction of their occurrence in the process. The tools Analysis and Problem Solving (MASP) and Reliability Centered Maintenance (MCC) were used to investigate the fundamental causes of failure and to compare the results of the application of each of the tools. The application of the tools and the consequent comparison between them showed that both met the initial objective of determining the root cause of the failure. As each of them has a different approach, they proved to be effective when applied together, allowing a thorough analysis of all the situations involved in the failure and encompassed adequate maintenance activities for the air chambers in the analyzed situation.

Key-words: *Failure Analysis; Method of Analysis and Problem Solving; Maintenance Reliability Centered.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Hierarquia da manutenção	22
Figura 2- Tríplice restrição da manutenção	24
Figura 3- Curva da banheira e ciclo de vida de equipamento.	26
Figura 4- Iceberg da Manutenção	28
Figura 5- O ciclo PDCA	31
Figura 6- Diagrama de decisão para o tipo de manutenção recomendada	39
Figura 7- Estrutura de pneus em geral.....	46
Figura 8- Montagem do conjunto pneu e câmara de ar	47
Figura 9- Localização das falhas em câmaras de ar	47
Figura 10- Formulário de verificação das falhas	55
Figura 11- Câmaras de ar avariadas	56
Figura 12- Diagrama de Ishikawa para a falha no bico	57
Figura 13- Diagrama de Ishikawa para a falha na região do aro	59
Figura 14- Aplicação do diagrama de decisão para o tipo de manutenção recomendada	65

LISTA DE QUADROS

Quadro 1- MASP: Método de Análise e Solução de Problemas	32
Quadro 2- Tarefas em cada fase do MASP	33
Quadro 3- Cabeçalho do FMEA.....	37
Quadro 4- Determinação dos pesos para o FMEA	38
Quadro 5- Planilha de apoio à implantação da MCC	40
Quadro 6- Percentual do orçamento anual acumulado.....	52
Quadro 7- Avaliação das causas para a falha no bico	58
Quadro 8- Avaliação das causas para a falha na região do aro	59
Quadro 9 - Aplicação dos 5 porquês para as causas prováveis.	60
Quadro 10- Plano de ação.....	61
Quadro 11- Aplicação do FMEA	64
Quadro 12- Planilha de apoio à implantação da MCC	67
Quadro 13- Comparação entre as ferramentas aplicadas.....	69

ABREVIATURAS, SIGLAS E CONVENÇÕES

ABRAMAN	Associação Brasileira de Manutenção	15
NBR	Norma Brasileira aprovada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas	23
MASP	Método de Análise e Solução de Problemas	15
PDCA	<i>Plan Do Check Act</i>	32
MCC	Manutenção Centrada em Confiabilidade	15
FMEA	Análise de Modo e Efeito de Falha	37
IBÁ	Indústria Brasileira de Árvores	42

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Formulação do problema	15
1.2	Justificativa.....	16
1.3	Objetivos	18
1.3.1	<i>Objetivo Geral</i>	18
1.3.2	<i>Objetivos Específicos</i>	18
1.4	Estrutura do trabalho	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1	Engenharia de Manutenção	20
2.1.1	<i>Confiabilidade</i>	23
2.1.2	<i>Disponibilidade</i>	23
2.1.3	<i>Mantenabilidade</i>	24
2.1.4	Gestão de ativos.....	25
2.2	Falhas	25
2.3	Análise de Falhas.....	27
2.4	Ferramentas para Análise de Falhas.....	29
2.4.1	<i>Método de Análise e Solução de Problemas</i>	31
2.4.2	<i>Manutenção Centrada em Confiabilidade e Análise do Modo e Efeito de Falha</i>	35
2.5	Indústria Florestal.....	41
2.5.1	<i>Atividades de Colheita e Silvicultura</i>	42
2.5.2	<i>Principais equipamentos de colheita e silvicultura</i>	43
2.6	Manutenção de Equipamentos Móveis	44
2.7	Pneus e câmaras de ar.....	45
3	METODOLOGIA	48
3.1	Classificação da Pesquisa	48
3.2	Metodologia do Projeto de Pesquisa.....	49
4	ESTUDO DE CASO	51

4.1	Descrição da empresa	51
4.2	Aplicação das ferramentas	51
4.2.1	<i>Método de Análise e Solução de Problemas</i>	51
4.2.2	<i>Manutenção Centrada em Confiabilidade e Análise do Modo e Efeito de Falha</i>	62
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	68
6	CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	70
	REFERÊNCIAS	72

1 INTRODUÇÃO

A exigência pela qualidade dos produtos e serviços oferecidos pelas empresas está, cada vez mais, associada ao bom funcionamento de seus equipamentos e instalações. A competitividade, decorrente da economia globalizada, demanda que as empresas invistam em novas tecnologias, metodologias e filosofias a fim de assegurar a sua sobrevivência no mercado (AMORIM; OLIVEIRA; MEDIONDO, 2014). Na busca pela otimização em qualquer área, devem existir ferramentas que sejam capazes de medir e indicar a melhor direção a seguir (SCHMITT, 2013). Diante disso, para atender a essas crescentes exigências, as empresas atuais possuem à sua disposição diversas ferramentas decorrentes dos mais variados campos da Engenharia.

Um dos possíveis caminhos a ser seguido, nesse contexto, é a análise de processos. Processo, segundo Paccola (2011, p. 25) é “um conjunto de atividades para gerar determinado produto ou serviço”. No campo da Engenharia de Produção, englobado pela área de Engenharia de Manutenção, existem diversas ferramentas e metodologias que permitem uma minuciosa análise dos processos visando a melhoria de sua confiabilidade (KARDEC; NASCIF, 2013). É função da equipe de Engenharia de cada empresa escolher, dentre tantas metodologias disponíveis, aquelas que se apresentam mais efetivas considerando-se as especificidades de cada processo.

Algumas perdas de processos dentro de uma empresa que impactam negativamente a sua lucratividade são, por exemplo, perda por defeitos na produção, queda de rendimento do operador, retrabalho, quebras e paradas de máquinas e equipamentos (KARDEC; NASCIF, 2013). Os processos a serem analisados no presente estudo são os processos de colheita e silvicultura em uma indústria de base florestal. Serão enfatizadas as perdas com manutenção corretiva, decorrentes de falhas nos equipamentos móveis de colheita e silvicultura acarretando na parada dos mesmos.

Segundo o Documento Nacional de 2013 elaborado pela ABRAMAN (Associação Brasileira de Manutenção), o percentual do custo total da manutenção em relação ao faturamento das empresas é de 4,69%. Um valor significativo para uma atividade que ainda é considerada como não produtiva em muitas empresas (ABRAMAN, 2013). Além de diminuir os gastos com manutenção, é preciso priorizar o aumento da disponibilidade e confiabilidade, já que estes fatores estão ligados ao faturamento e representam 95,8% da equação faturamento/custo das empresas (DARIO *et al.*, 2014).

Segundo Kardec e Nascif (2013), as empresas devem possuir uma postura reativa frente à Manutenção. Conforme os autores, essa postura deve incluir a conscientização do quanto uma falha em determinado equipamento afeta a segurança, o meio ambiente e os resultados da empresa. “Uma forma evidente de aprimorar o desempenho das operações é prevenir falhas” (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009, p. 596).

“Uma das atividades críticas para uma organização quando uma falha ocorre é entender por que ocorreu. Essa atividade é chamada **análise de falhas**” (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009, p. 605, grifo do autor). Inseridas nessa atividade estão as diversas ferramentas e abordagens que são utilizadas para a detecção da causa primeira das falhas (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009).

Fertuzinhos (2013) enfatiza que a análise de falhas possui como objetivo atenuar os efeitos que as falhas dos equipamentos provocam nas empresas e as consequências para a produção. Tem também uma função produtiva que é a de contribuir para a eficácia econômica da empresa. Dessa maneira, é necessário que se tenha planos em vigor que contribuam na recuperação e minimização dos efeitos de tais falhas. Observado o papel significativo da área de manutenção para a redução da ocorrência de falhas em uma empresa, o presente estudo se concentrará na verificação da eficiência de duas metodologias para análise de falhas, MASP e MCC, como forma de contribuir para o setor de manutenção dos equipamentos florestais.

1.1 Formulação do problema

As indústrias de base florestal possuem processos que envolvem o uso de máquinas e equipamentos de tecnologias complexas. Com isso, exigem um modelo de engenharia de manutenção eficiente que permita a manutenibilidade dos ativos presentes nas operações florestais. Nesse contexto, se faz necessária a realização de estudos que obtenham informações e entendam as relações entre as variáveis que influenciam o processo. Possibilitando a obtenção de maior vida útil dos ativos bem como o melhor aproveitamento dos recursos disponíveis (DINIZ, 2016).

No setor florestal, bem como em todos os setores produtivos, a manutenção deve ser vista como uma função estratégica, uma vez que a ocorrência de falhas nos equipamentos compromete a sua disponibilidade, a produtividade e os custos de produção (DINIZ, 2016). As falhas comprometem o funcionamento dos equipamentos, gerando prejuízos com a perda de material e de qualidade do produto e até mesmo provocando acidentes (BANDO, 2016).

A falha a ser analisada no presente estudo é decorrente das perdas das câmaras de ar utilizadas nos pneus de equipamentos florestais. As câmaras sofrem avarias impossibilitando-as de continuar exercendo sua função, fazendo com que o equipamento seja paralisado para a reparação da falha. Analisando-se os gastos da empresa, percebe-se que tal falha vem ocorrendo de maneira excessiva nos processos de colheita e silvicultura.

A empresa possui um orçamento mensal limitado para a troca e reparos das câmaras de ar. Além da perda financeira com os gastos acima do orçamento, existe a perda de produção. Toda vez que acontece uma falha com uma câmara de ar, é necessário parar o equipamento para efetuar a troca da câmara. Como não é possível retirar a câmara de ar sem retirar o pneu, leva-se um tempo para a retirada do conjunto pneu e câmara de ar. Uma vez que essa parada não estava programada, impacta na disponibilidade do equipamento, fazendo com que ele perca também em volume de madeira produzido.

Dessa forma, o presente trabalho visa a análise detalhada da falha buscando encontrar suas causas fundamentais, utilizando-se dos benefícios oferecidos pelas ferramentas apresentadas. Visa responder à seguinte pergunta: De que maneira as ferramentas apresentadas podem contribuir na análise e consequente redução das falhas com as câmaras de ar na empresa estudada?

1.2 Justificativa

A perda de produtividade, devido à ocorrência de falhas, atinge uma média nacional de 10 a 12% (chegando a 6 ou 15% em algumas regiões) em relação há cinco anos, resultando em um custo adicional de silvicultura de R\$ 0,5 bilhões ao ano para o setor florestal como um todo (A HORA..., 2017). De acordo com o Documento Nacional de 2013, nos últimos cinco anos as indústrias têm convivido com 30,86% de manutenção corretiva (ABRAMAN, 2013).

Ou seja, as quebras e falhas nos equipamentos representam quase um terço do esforço das atividades de manutenção (CAMPOS, 2013). Feigenbaum (1994, *apud* PASQUINI, 2013) alerta que se pode assumir que os custos provenientes das falhas podem representar em torno de 65% a 70% do custo da qualidade, evidenciando a importância que lhe deve ser conferida.

A paralisação da produção por conta de falhas causa reflexos diretos no lucro da empresa. Esse problema pode ser muito mais crítico caso ocorra de forma inesperada, sem que exista o suporte necessário à espera. Diagnosticar as falhas de forma antecipada minimiza o tempo de reparo e evita gastos desnecessários (MARINS, 2016).

Os benefícios do processo de análise e controle das falhas são a busca pela otimização dos recursos empregados e o aumento da produtividade. Eles permitem que as empresas sejam capazes de identificar falhas, evitá-las e assim garantir uma maior eficiência das atividades, resultando em ganhos, tanto produtivos quanto financeiros. Os métodos de análise e controle são variados e podem ser adaptados às necessidades individuais, mas é evidente que a atividade de análise de falhas é fundamental e vantajosa (QUALIDADE..., 2015).

As empresas que utilizam métodos de análise e prevenção de falhas corretamente poupam recursos financeiros e apresentam altos níveis de satisfação dos clientes. Torna-se, portanto, importante para uma organização avaliar a aplicação desses métodos e identificar oportunidades para melhoria (LAURENT; ROZENFELD; FRANIECK, 2012).

“A falha leva a um alto custo de produção, baixa confiabilidade, baixa disponibilidade e tem um impacto direto no desempenho da empresa” (SCHMITT, 2013, p.1). Mediante a necessidade de identificar o fator propulsor de uma falha, a utilização de ferramentas de análise de falhas permite identificar corretamente os fatores que iniciaram a falha no equipamento (SCHMITT, 2013).

“Uma das principais causas do insucesso de muitas empresas é a falta de métodos e padrões” (MENEZES, 2013, p.11). Com relação à Engenharia de Manutenção, muitas empresas ainda não possuem um planejamento adequado nem utilizam corretamente os conceitos existentes. Com isso, se limitam a adotar medidas somente depois que uma falha mais grave ocorre (FRANÇA JUNIOR, 2014).

Normalmente, tais defeitos são aqueles que impedem totalmente o funcionamento da máquina. Restringem a manutenção somente à troca de peças com defeito sem uma análise detalhada da falha ou do porquê de a peça ter apresentado tal anomalia. Muitas vezes isso leva a uma perda de tempo, pois o defeito pode estar em outro componente que não foi devidamente analisado. Nesse caso, a peça que quebrou seria apenas um sintoma de algo mais grave e que ainda está desconhecido (FRANÇA JUNIOR, 2014).

A escolha em analisar as falhas nas câmaras de ar se deu devido ao alto valor gasto com as trocas e o tempo de produção perdido para efetuar o reparo. A empresa possui um controle de gastos, e dentre os principais itens que apresentaram os maiores custos, ultrapassando os orçamentos, foram as trocas e reparos das câmaras de ar.

Comparando-se o valor gasto com o orçamento previsto para o período de Janeiro a Junho de 2018, observa-se que aproximadamente 90% do orçamento anual já foi gasto apenas na primeira metade do ano. Devido ao fato de não ter sido executada nenhuma ação de contenção dessa falha até o momento, decidiu-se pela aplicação das ferramentas de análise de

falhas nas câmaras de ar a fim de detectar as causas da falha, elaborar ações de correção e impedir a perda financeira e de produção decorrente da falha.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Encontrar as causas fundamentais da falha nas câmaras de ar utilizadas em pneus de equipamentos florestais através da aplicação de ferramentas de análise de falhas.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Levantar e descrever duas ferramentas utilizadas para análise de falhas;
- Aplicar e comparar os resultados da aplicação das ferramentas na análise da falha estudada;
- Apresentar como a aplicação das ferramentas contribuíram para a redução da falha considerando-se as especificidades do processo e da falha analisada.

1.4 Estrutura do trabalho

Para a concretização deste trabalho foram determinados, neste primeiro capítulo, os norteadores da pesquisa e uma rápida contextualização do problema, englobando a formulação do problema, justificativa para a realização do trabalho e os objetivos a serem alcançados com o estudo.

À seguir, será apresentada uma revisão bibliográfica do trabalho a fim de apresentar o que já foi estudado e discutido a respeito do tema. Os assuntos abordados envolvem a Engenharia de Manutenção, englobando os termos de confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e gestão de ativos. Posteriormente, é apresentada a definição de falhas, análise de falhas e as ferramentas para análise aplicadas neste estudo. Para a contextualização do setor de atuação da empresa estudada, são apresentadas informações à respeito da indústria de base florestal, as atividades de colheita e silvicultura e os equipamentos utilizados para essas atividades. Por fim, é mostrado o funcionamento da manutenção de equipamentos móveis e as definições de pneus e câmaras de ar.

Os próximos capítulos apresentam, respectivamente, a metodologia utilizada no trabalho, o desenvolvimento da aplicação das ferramentas na falha estudada, seguidos da comparação entre as ferramentas e a conclusão do estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O levantamento teórico deste trabalho inicia-se com a definição da Engenharia de Manutenção e sua relação com a Gestão da Manutenção. Engloba os termos utilizados nas atividades de manutenção, como confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e gestão de ativos. Em seguida, é exposto o conceito de falhas juntamente com as atividades e ferramentas para análise de falhas. São apresentadas as duas ferramentas aplicadas neste trabalho: MASP (Método de Análise e Solução de Problemas) e MCC (Manutenção Centrada em Confiabilidade).

São apresentadas informações a respeito do setor de atuação da empresa objeto deste estudo, as atividades realizadas e os equipamentos utilizados pela empresa. Em seguida, são apresentados conceitos de manutenção de equipamentos móveis e uma introdução aos conceitos de pneus e câmaras de ar.

2.1 Engenharia de Manutenção

Manutenção refere-se ao conjunto de atividades organizadas na operação que possuem o objetivo de manter os recursos físicos operacionais funcionando em bom estado e prontos para serem utilizados, quando necessários (CORRÊA; CORRÊA, 2012). Para Kardec e Nascif (2013, p. 26), a missão da manutenção é “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender um processo de produção ou de serviço com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e custo adequado”.

Para Kardec e Nascif (2013), a Engenharia de Manutenção é o suporte técnico da manutenção que está dedicado a consolidar a rotina e implantar a melhoria. Os autores ressaltam algumas atribuições principais da Engenharia de Manutenção como, por exemplo, o aumento da confiabilidade, da disponibilidade e a melhoria da manutenibilidade. Algumas funções da Engenharia de Manutenção são: aumentar a segurança do processo, eliminar problemas crônicos, fazer análise de falhas e estudos, elaborar planos de manutenção e de inspeção, fazer análises críticas e periódicas e acompanhar os indicadores (KARDEC; NASCIF, 2013).

“Engenharia de manutenção é o ramo da engenharia responsável pelo planejamento, execução e controle das atividades de manutenção, focado na identificação e análise das falhas, de modo que elas não tornem a acontecer” (AMORIM; OLIVEIRA; MEDIONDO, 2014, p. 6). Kardec e Nascif (2013) ressaltam que crescentes mudanças vêm influenciando as atividades de manutenção nos últimos tempos, e que o setor de manutenção das empresas deve reagir

rapidamente a essas mudanças. Segundo Campos (2011), nesse cenário que se desenha, a Engenharia de Manutenção deve identificar as melhores ferramentas tecnológicas e buscar fortalecer as práticas e uso de metodologias de confiabilidade com disciplina organizacional. A Engenharia de Manutenção atua na busca contínua para o alcance do desenvolvimento e implementação de soluções inovadoras para as atividades de manutenção. Pode ser considerada um suporte à área de Gestão de Manutenção de uma empresa, à área de redesenho dos processos de trabalho, entre outros (ROMERO, 2011). A gestão da manutenção, por sua vez, se inicia na seguinte concepção.

A gestão deve estar relacionada a todo conjunto de ações, decisões e definições sobre tudo o que se tem que realizar, possuir, utilizar, coordenar e controlar para gerir os recursos fornecidos para a função manutenção e fornecer assim os serviços que são aguardados pela função manutenção (SOUZA, 2008, p.66).

Uma visão atual da Gestão da Manutenção considera que esta deve englobar todo o ciclo de vida dos equipamentos, desde a concepção do projeto até a sua operacionalização (ARANTES, 2010). Conforme Azevedo *et al.* (2017), essa gestão se apresenta no cenário competitivo atual como uma oportunidade para a melhoria de sistemas e economia dos recursos.

Tal modelo de gestão deve ser visto como parte da estratégia do negócio. A gestão estratégica da manutenção ocorre se for gerenciada em um processo de melhoria contínua (ARANTES, 2010). “O gerenciamento estratégico da atividade de manutenção consiste em ter a equipe atuando para evitar que ocorram falhas e não atuando apenas na correção destas falhas” (KARDEC; NASCIF, 2013, p. 20).

A Engenharia de Manutenção é considerada um tipo de Manutenção, pois se configura como a adoção de técnicas e ferramentas de gestão que são aplicados no dia a dia da operação. Uma gestão estratégica da Manutenção avança do nível mais baixo de planejamento; ou seja, da manutenção realizada apenas após a ocorrência da falha, para o nível mais alto, a Engenharia de Manutenção. Esta, que deve ser aplicada a novos projetos na busca de alto desempenho e nas instalações já existentes na busca da causa fundamental da falha (OLIVEIRA, 2013).

Com isso, a empresa não está apenas buscando conservar seus equipamentos e máquinas, mas, muito além disso. Ela passa a estruturar seus dados e informações sobre manutenção a fim de permitir a realização de análises e pesquisas que tragam propostas eficazes e embasadas em fatos para garantir melhorias no futuro. A Engenharia de Manutenção opera como engenharia de melhorias (OZELIM, 2017).

Conforme Ozelim (2017), nos últimos tempos, as empresas passaram a perceber os benefícios que o planejamento dos serviços prestados em relação à manutenção poderia trazer. Simei (2014) ressalta que, durante algum tempo, a Manutenção foi considerada apenas como um setor de apoio, uma área auxiliar na cadeia produtiva. Porém hoje, passa a ser vista como uma ferramenta determinante na estratégia corporativa. A área de manutenção pode ser, segundo Fertuzinhos (2013), uma das maneiras de rentabilizar as atividades nas empresas. A Figura 1 apresenta a hierarquia das atividades de manutenção e como elas se relacionam.

Figura 1- Hierarquia da manutenção



Fonte: Lemos; Albernaz; Carvalho (2011)/ adaptado pela autora.

A manutenção corretiva é definida pela NBR 5462 (1994) como a manutenção realizada após a ocorrência de uma pane ou falha, com o objetivo de recolocar um item em condições de executar suas funções especificadas. A manutenção preventiva, por sua vez, também conceituada pela NBR 5462 (1994) é a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, de acordo com critérios prescritos, visando reduzir a probabilidade da falha ou degradação de um item. A manutenção preditiva consiste na atuação realizada baseando-se na modificação de parâmetros de condição ou desempenho, cujo acompanhamento obedece à uma sistemática (KARDEC; NASCIF, 2013). A manutenção detectiva é a atuação realizada em sistemas de proteção, comando e controle, visando detectar falhas ocultas ou imperceptíveis ao pessoal de operação e manutenção. É necessário ressaltar que dentro da manutenção corretiva existem: (i) a não planejada: onde a correção da falha é realizada de forma aleatória; a planejada: onde a correção do desempenho menor que o esperado é baseado no acompanhamento dos parâmetros de condição e diagnósticos realizados pela manutenção detectiva ou preventiva (KARDEC; NASCIF, 2013).

2.1.1 Confiabilidade

Confiabilidade é a capacidade de um item desempenhar uma função requerida, sob condições especificadas de uso, durante um intervalo de tempo estabelecido (KARDEC; NASCIF, 2013). Por ser uma probabilidade, a confiabilidade é uma medida numérica que varia entre 0 e 1 (ou 0 e 100%) (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Praticamente, considera-se que a confiabilidade é a probabilidade estatística de não ocorrer falha, de um determinado tipo, para certa missão, com um dado nível de confiança (KARDEC; NASCIF, 2013). “Em seu sentido mais amplo, confiabilidade está associada à operação bem sucedida de um produto ou sistema, na ausência de quebras ou falhas” (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009, p. 1).

Kardec e Nascif (2013) conceituam alguns termos presentes na definição de confiabilidade. Função requerida pode ser entendida como o limite admissível abaixo do qual a função não é mais satisfatória. É o mesmo que cumprir a missão, realizar o serviço esperado. Já condições definidas de uso são as condições operacionais às quais o equipamento está submetido.

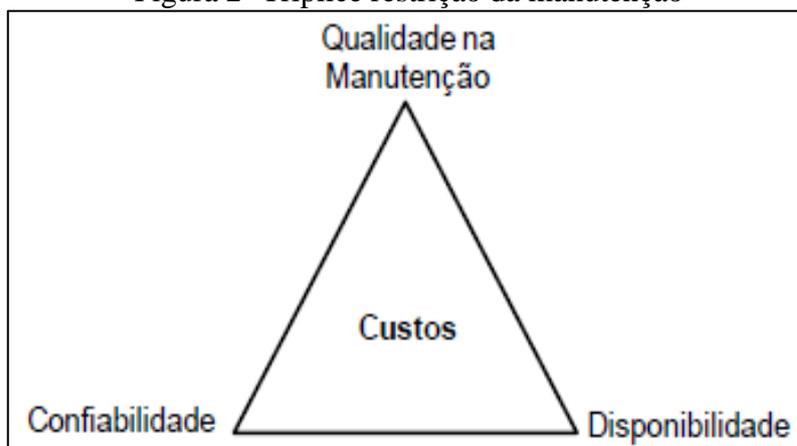
O mesmo equipamento submetido a duas condições diferentes apresentará confiabilidade diferente. Por condições definidas, deve ser entendido também, o modo como o equipamento é operado. A má operação danifica os equipamentos, fazendo baixar sua confiabilidade e disponibilidade. Alguns fatores que influenciam a confiabilidade de equipamentos são diferenças de temperatura, presença de poeira no ambiente, impurezas no produto dentre outros.

2.1.2 Disponibilidade

Disponibilidade é a capacidade de um item estar em condições de executar certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado. Considerando-se os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, e supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados (KARDEC; NASCIF, 2013).

De maneira geral, pode-se definir disponibilidade como a relação entre o tempo que o equipamento está efetivamente disponível e o tempo total previsto para sua operação (CORRÊA; CORRÊA, 2012). Lemos, Albernaz e Carvalho (2011) sugerem uma tríplice restrição entre qualidade da manutenção, disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos, evidenciando sua influência direta nos custos do processo, conforme apresentado na Figura 2.

Figura 2- Tríplice restrição da manutenção



Fonte: Lemos; Albernaz; Carvalho (2011).

2.1.3 Manutenibilidade

Manutenibilidade ou Manutenibilidade é “a característica de um equipamento ou conjunto de equipamentos que permite, em maior ou menor grau de facilidade, a execução dos serviços de manutenção” (KARDEC; NASCIF, 2013, p.119). Outra definição para Manutenibilidade, segundo a NBR 5462 (1994), é a capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos.

Dentre outros fatores, o conceito de manutenibilidade, que atua diretamente no indicador de efetividade operacional, engloba uma atuação eficaz da Engenharia de Manutenção e o planejamento da Manutenção (KARDEC; NASCIF, 2013). Os autores apresentam alguns princípios que podem ser considerados como fundamentais em busca de melhorar a manutenibilidade.

Como, por exemplo: ela deve estar associada aos conceitos fundamentais de qualidade do serviço, segurança do pessoal e da instalação, custos envolvidos incluindo perda de produção e o tempo ou indisponibilidade do equipamento. Deve possuir também sistemas de detecção e indicação de desgaste, condições anormais ou falhas (monitoramento) como forma de melhorar a manutenibilidade do ativo, permitindo atuação orientada da área de manutenção.

2.1.4 Gestão de ativos

Para Kardec e Nascif (2013), nos últimos anos, a Gestão da Manutenção evoluiu, rapidamente, passando pela etapa de tecnologia, em que predominava apenas uma visão tecnológica para a fase da gestão propriamente dita. Na etapa tecnológica, o conhecimento técnico, que é indispensável, levaria à melhores resultados empresariais. A última etapa chamada Gestão de ativos, engloba as fases anteriores e inicia-se com um enfoque sistêmico de toda a organização.

Ativo é qualquer item que tenha valor econômico ou monetário, pertença a um indivíduo ou a uma corporação, especialmente aquele que possa ser convertido em dinheiro. A manutenção tem seu foco voltado para os ativos físicos, tais como terrenos, edificações, veículos, máquinas/equipamentos, tubulação, fiação, instrumentação e automação, sistemas de controle e sistemas de software (KARDEC; NASCIF, 2013, p. 43).

Kardec e Nascif (2013) consideram a Gestão da Manutenção como uma das fases da Gestão de Ativos. A Gestão de Ativos de uma organização é uma atividade corporativa focada nos ativos tangíveis (equipamentos e sistemas). Compõe-se de atividades e tomadas de decisões que cobrem as fases do ciclo de vida do investimento que incluem desde o projeto até a fase de descarte do equipamento, para que os ativos apresentem o desempenho esperado e que os objetivos definidos sejam alcançados.

Para um melhor desempenho dos ativos, a manutenção tem executado um papel fundamental dentro da estratégia das organizações, sendo responsável por manter o ativo disponível para a produção sem falhas (SCHMITT, 2013). Manter a disponibilidade dos ativos torna-se um desafio fundamental para a estratégia de crescimento e desenvolvimento de uma organização. Desta forma, a realização de atividades de manutenção passa a ser um dos elementos mais importantes para o crescimento de uma organização (AZEVEDO *et al.* 2017).

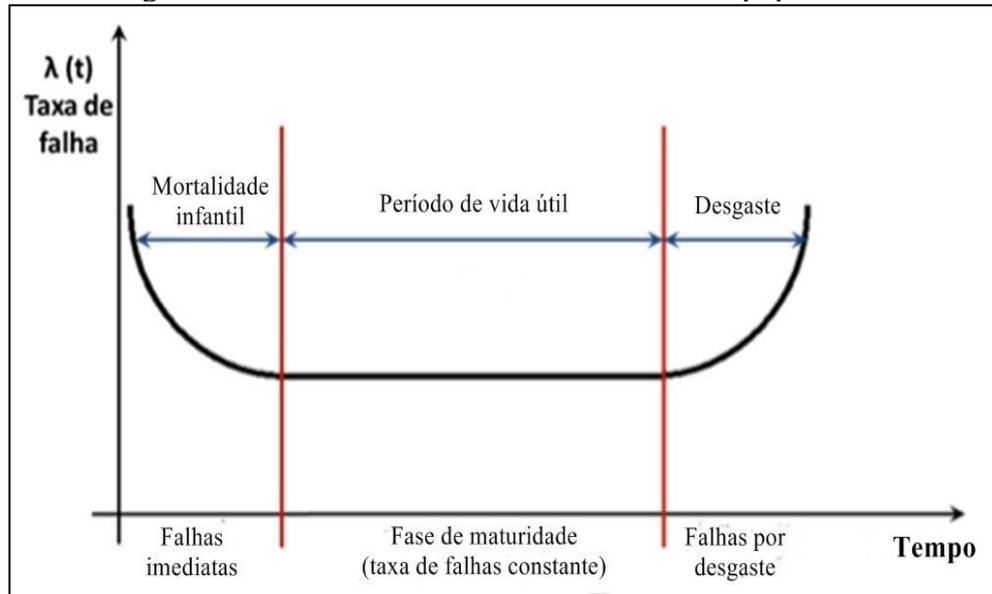
2.2 Falhas

O termo falha é conceituado pela NBR 5462 (1994) como o término da capacidade de um item desempenhar sua função requerida. Kardec e Nascif (2013) enfatizam que todo equipamento é projetado para uma especificação, todos são projetados segundo a função básica que irá desempenhar. Dessa forma, “se o equipamento possui uma função, a falha pode ser considerada a perda dessa função” (KARDEC; NASCIF, 2013, p. 161). Quanto maior o número de falhas menor a confiabilidade de um item, para as condições estabelecidas inicialmente.

Quanto maior a confiabilidade, melhores serão os resultados para o cliente ou usuário (KARDEC; NASCIF, 2013).

A Figura 3 apresenta uma curva característica típica da vida de um produto, equipamento ou sistema. A curva expressa a taxa de falhas (λ), que é número de falhas em função do tempo (vida útil) (KARDEC; NASCIF, 2013).

Figura 3- Curva da banheira e ciclo de vida de equipamento.



Fonte: Lafraia (2001) adaptado por Leão e Andrade (2015).

A curva mostrada também é conhecida como “curva da banheira”, pelo seu formato. É válida para uma série de componentes elétricos, mecânicos e sistemas, sendo determinada a partir de estudos estatísticos (KARDEC; NASCIF, 2013). Possui três períodos distintos, descritos por Corrêa e Corrêa (2012) como:

- A primeira região, chamada mortalidade infantil ($\lambda < 1$), possui uma duração curta e é caracterizada por elevadas taxas de falha que surgem nos primeiros períodos de utilização do equipamento. Geralmente, essas falhas ocorrem por erros de projeto ou de fabricação, por aplicação inadequada ou qualquer outra falha identificável. Do ponto de vista da manutenção, deve ser considerado que a taxa de mortalidade infantil será tanto maior quanto pior for o trabalho desenvolvido nas fases que antecedem a entrada em operação de qualquer equipamento ou sistema.
- A segunda região, chamada vida útil ($\lambda = 1$), é um período que possui taxa de falha constante, e é resultante de limitações inerentes ao próprio recurso ou das interações dos materiais com o meio.

- A última fase, chamada envelhecimento ou degradação ($\lambda > 1$), é o período de desgaste pelo uso. A taxa de falha nesse período é elevada e crescente, sendo consequência do envelhecimento do recurso.

As falhas no processo produtivo podem ocorrer devido a diversas razões. Slack, Chambers e Johnston (2009) apresentam algumas causas como, por exemplo, falhas em decorrência da operação, como falhas de equipamentos, instalações ou de pessoal. Outras podem ser causadas por falhas no material ou nas informações enviadas para a operação.

Existem também aquelas falhas causadas por mau uso de clientes ou falha na qualidade dos produtos decorrente dos fornecedores. E outras causadas por falhas na etapa de projeto ou por interrupções ambientais. Existem, ainda, aquelas falhas causadas após certo tempo de uso do equipamento (MARTINS; LAUGENI, 2006).

Geralmente, as falhas são determinadas por uma grande quantidade de fatores, como deterioração dos diversos mecanismos, falhas de partes componentes (cada um com seus diversos modos de falha), condições ambientais etc., que em combinação conduzem à inadequação do recurso (CORRÊA; CORRÊA, 2012, p. 645).

Campos (2013) afirma que toda falha funcional se inicia com um pequeno sinal, estabelecendo aí uma falha que pode ser chamada de falha potencial. Ou seja, quando se fala em falha potencial, as operações não sentiram de fato o efeito de uma anomalia ou problema que se configura em uma anormalidade. Nestas condições, a perda da função ainda não ocorreu plenamente. Com o tempo, toda falha potencial irá determinar uma falha funcional ficando dependente de como a deterioração irá ocorrer.

As falhas também podem ser tomadas como oportunidades de melhoria. Neste sentido, as organizações possuem a oportunidade de desenvolver seus sistemas de análise de falhas e melhoria da confiabilidade para que suas operações se tornem mais estáveis. O que pode ser traduzido em redução de custos e aumento de lucratividade (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2009; CAMPOS, 2013).

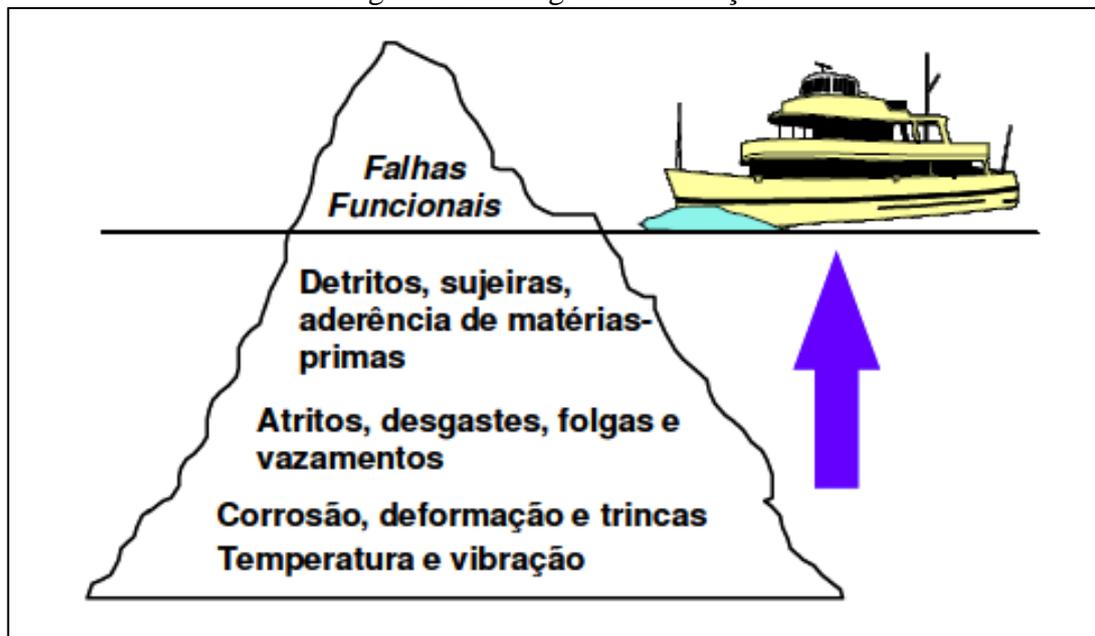
2.3 Análise de Falhas

Kardec e Nascif (2013) ressaltam que uma das boas práticas para as atividades de manutenção é a aplicação da análise de falhas, visando detectar as causas das falhas fazendo com que estas sejam minimizadas ou até mesmo eliminadas. Os autores afirmam que a manutenção deve priorizar a eliminação das falhas, ocorridas e potenciais, analisando a causa

básica, acoplada ao esforço do reparo com qualidade, atuando de forma integrada com a operação e a engenharia na busca das soluções definitivas.

O objetivo principal da análise de falhas deve ser externar todos os agentes que podem ser responsáveis pela geração destas falhas pois, através desta identificação, pode-se capacitar e melhorar continuamente os planos de manutenção. De uma maneira esquemática, pode-se representar as falhas funcionais conforme a Figura 4, que analisa as causas aparentes e não aparentes das falhas.

Figura 4- Iceberg da Manutenção



Fonte: BRAIDOTTI JUNIOR (2011).

França Junior (2014) conceitua o processo de análise de falhas como uma metodologia que aplica técnicas que auxiliam um problema na detecção da causa fundamental de sua falha. A análise de falhas pode ser utilizada para implementar ações antecipatórias aos problemas, para solucionar possíveis desvios ou para evitar a recorrência de falhas que já aconteceram.

Toda máquina precisa ser monitorada corretamente e é aí que começa a análise de falhas, tal processo é inserido na prática da Engenharia de Manutenção (FRANÇA JUNIOR, 2014). Uma vez que existem dados confiáveis sendo coletados nas diversas etapas de produção, estes dados devem ser analisados convenientemente e conduzir a conclusões que permitam a descoberta das causas raízes dos problemas (PACCOLA, 2011).

Para Paccola (2011), as perdas precisam ser conhecidas, identificadas, classificadas e eliminadas. À partir da detecção, cadastramento e diagnóstico das ocorrências de falhas ocorre

um aumento na probabilidade de atuar com precisão nas causas que realmente impactam negativamente nas metas de produção (REIS; ANDRADE, 2009).

Na análise de falhas de um equipamento, segundo Afonso (2002) é importante compreender que a maioria das falhas pode ter mais de uma única causa. Por isso, deve-se observar o seu histórico de operação e manutenção, localizar os modos de falhas ocultos e considerar o modo de funcionamento do equipamento, a fim de permitir o desenvolvimento de um banco de dados para posterior análise de falhas. Para Paccola (2011), já não basta apenas reparar repetidamente o mesmo componente, mas sim descobrir as causas raízes das falhas e buscar resolver definitivamente os problemas.

Conforme considera Campos (2011), um dos maiores desafios quando uma empresa possui um sistema de análise de falhas implantado, é justamente fazer com que as ações previstas para medidas de combate e prevenção sejam realmente aplicadas. O autor argumenta que na estruturação de um plano de análise de falhas cada organização deve observar suas especificidades e desenvolver um modelo de abordagem que atenda a essas condições de forma que se torne uma cultura, um valor organizacional.

O autor destaca que uma boa sistemática de abordagem de falhas deve possibilitar a existência de um processo evolutivo que permita uma boa condução de análises, bem como a aplicação de ferramentas de análise. “A cultura para análise sistemática de falhas deve se converter em um processo contínuo incluindo métodos e ferramentas, princípios e tarefas que integram este processo” (CAMPOS, 2013, p.11).

2.4 Ferramentas para Análise de Falhas

Para Braidotti Junior (2011), as técnicas de análise de falhas auxiliam na identificação da causa raiz de um problema, sugerindo uma ação de bloqueio para solucionar os desvios decorrentes das falhas que influenciam negativamente na confiabilidade dos ativos. Com isso, se estimula a equipe de manutenção nas tomadas de decisões que irão gerar as devidas correções das falhas detectadas, aumentando, dessa maneira, a disponibilidade dos ativos, diminuindo o risco de paradas inesperadas e falhas sistemáticas.

Alvarez (2000) considera a existência de diferentes metodologias para identificação e tratamento de falhas. Contudo, para o autor, nas empresas não é comum a aplicação de tais metodologias, uma vez que em sua maioria existe uma cultura de ações corretivas. O autor destaca a não existência de um melhor método de análise de falhas, sendo comum entre os métodos a identificação das causas básicas.

O que existe, é a diferença fundamental de abordagem onde uma ferramenta se adequa melhor às falhas e problemas mais simples, enquanto outras possuem abordagem mais indicada para problemas de maior complexidade. Nesse contexto, se faz necessária a avaliação das ferramentas existentes, de forma que possam ser utilizadas da melhor maneira, a fim de identificar as suas vantagens e possibilidades de aplicação (SCHMITT, 2013).

Bertollo (2017) complementa, enfatizando que independente da aplicação individual ou conjunta das ferramentas, o resultado eficaz só será conseguido com um nível de profundidade adequado de investigação.

Mediante esta necessidade de se identificar o fator propulsor de uma falha, a utilização de ferramentas de análise de falha permite a identificação correta dos fatores que iniciaram a falha no equipamento. As ferramentas de análise de falhas buscam preencher, de uma maneira sutil, esta lacuna, com uma investigação precisa da ocorrência do evento, identificando o comportamento do equipamento diante de uma falha. As ferramentas para análise de falhas encontradas nas literaturas tornaram-se especialistas na resolução da falha e não em sua gestão (SCHMITT, 2013, p. 3).

Kardec e Nascif (2013) afirmam que existem diversas ferramentas de análise de falhas disponíveis que têm se mostrado eficazes e vem melhorando os resultados em muitas empresas, quando aplicadas corretamente. Porém, os autores argumentam que elas só darão resultados eficazes à medida que o setor de manutenção internalizar uma nova cultura e uma missão estratégica. Ou seja, disseminar o entendimento de que a manutenção deve existir para apenas intervir de maneira planejada na organização.

Essas ferramentas possibilitam uma utilização efetiva visando resultados de redução de falhas, aumento de confiabilidade e, por consequência, a obtenção de ganhos econômicos e financeiros. Porém, é necessário ressaltar que o esforço de qualquer ferramenta aplicada terá pouco valor caso as ações recomendadas não sejam implementadas.

As ações podem abranger diversos itens como, por exemplo, revisão ou incorporação de novos procedimentos, novos controles, uso de tecnologias alternativas, intensificação das atividades de manutenção, dentre outros. Devem ser buscadas ações de caráter permanente e deve-se dar uma maior atenção em impedir a ocorrência das falhas e não em aumentar os meios de detecção. Dessa maneira, as ações constituem o principal resultado das ferramentas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Existem semelhanças entre os vários métodos de analisar falhas. Independentemente do método escolhido, deve-se: possuir um grupo multidisciplinar, uma metodologia a ser seguida,

o registro do progresso e resultados das análises, recomendações e acompanhamento. Além disso, a equipe deve reunir os documentos que irão apoiar os profissionais na análise.

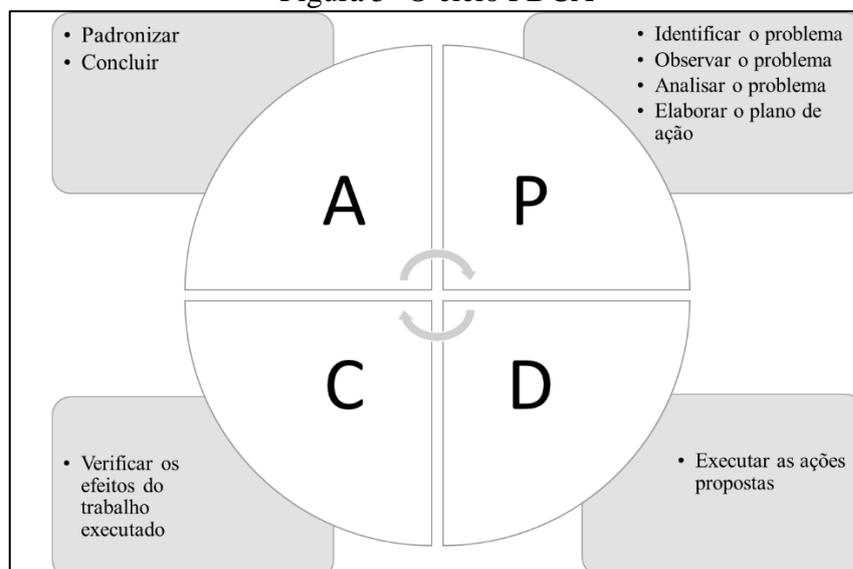
Alguns documentos importantes são: descrição das etapas do processo, manuais de treinamento e operação, manuais de segurança, normas aplicáveis, dentre outros (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Para o caso de falhas já ocorridas, é de fundamental importância um bom histórico de manutenção e a participação de executantes para resgatar dados que nem sempre estão presentes no histórico (KARDEC; NASCIF, 2013). As ferramentas para análise de falhas utilizadas neste estudo são descritas a seguir.

2.4.1 Método de Análise e Solução de Problemas

O MASP (Método de Análise e Solução de Problemas) é uma técnica adotada na Gestão da Qualidade Total que incorpora diversas ferramentas da Gestão da Qualidade (KARDEC; NASCIF, 2013). O MASP é um processo dinâmico e flexível que busca soluções para uma determinada situação. Ele procura encontrar respostas, tais como: priorização do problema, divisão do problema em partes que possam ser analisáveis e verificação das situações que necessitam de atenção (MENEZES, 2013).

A solução de problemas é um processo que segue uma sequência lógica, começando pela identificação do problema, passando pela análise e terminando com a tomada de decisão. O MASP é composto por oito etapas, possuindo sua estrutura baseada no ciclo PDCA (*Plan Do Check Act*) (MENEZES, 2013). O ciclo é apresentado na Figura 5.

Figura 5- O ciclo PDCA



Fonte: MENEZES, 2013/ Adaptado pela autora.

Menezes (2013) detalha as quatro fases gerais do PDCA da seguinte maneira:

P – PLAN (Planejar): As atividades devem ser planejadas antes da execução de qualquer ação de melhoria. O planejamento deve conter a definição de onde se quer chegar (meta) e o caminho a seguir (método). Esta fase se constitui em uma das principais fases do gerenciamento.

D – DO (Executar): Nesta fase, deve-se executar as atividades, sempre considerando a necessidade de se registrar os dados, a fim de garantir um controle posterior. É importante a capacitação e o treinamento dos executores das atividades.

C – CHECK (Verificar): É a fase de monitoramento e avaliação, em que os resultados da execução são comparados ao planejamento, para que sejam registrados os desvios encontrados. A avaliação e monitoramento devem ser realizados durante todo o processo, não apenas ao final das tarefas.

A – ACT (Atuar corretivamente): Definição das soluções para os problemas encontrados visando um contínuo aperfeiçoamento do processo.

O ciclo PDCA pode ser utilizado para manter ou melhorar resultados de um processo. Quando o projeto se encontra estável e as metas são aceitáveis, o PDCA pode ser utilizado para a manutenção dos resultados. Ao contrário, quando o processo apresenta falhas e problemas utiliza-se o ciclo para a melhoria dos resultados (MASP) (MENEZES, 2013). As fases do MASP/PDCA, bem como seus objetivos são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1- MASP: Método de Análise e Solução de Problemas

PDCA	Fluxo	Fase	Objetivo
P	1	Identificação do problema	Definir claramente o problema e reconhecer sua importância
	2	Observação	Investigar as características específicas do problema com uma visão ampla e sob vários pontos de vista
	3	Análise	Descobrir as causas fundamentais
	4	Plano de ação	Conceber um plano para bloquear as causas fundamentais
D	5	Ação	Bloquear as causas fundamentais
C	6	Verificação	Verificar se o bloqueio foi efetivo
	?	Bloqueio foi efetivo	
A	7	Padronização	Prevenir contra o reaparecimento do problema
	8	Conclusão	Recapitular todo o processo de solução do problema para trabalho futuro

Fonte: KARDEC e NASCIF (2013).

Fundamentado nas instruções de Kardec e Nascif (2013) e Menezes (2013), o fluxograma apresentado no Quadro 2, descreve as tarefas e ferramentas para cada fase do MASP:

Quadro 2- Tarefas em cada fase do MASP

P - PLAN - PLANEJAMENTO		
PROCESSO	FLUXO	TAREFAS
IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA	1	Escolher o problema: o problema deve ser o mais urgente e importante, baseado em fatos e dados.
	2	Levantar o histórico do problema: dados históricos, fotos, gráficos, etc.
	3	Mostrar perdas atuais e ganhos possíveis: mostrar a importância de solucionar o problema e as vantagens obtidas.
	4	Ferramentas: Diagrama de Pareto, Gráfico de Tendência ou Gráfico de controle.
	5	Definição dos responsáveis ou equipe. Definir datas e limites para a solução do problema.
OBSERVAÇÃO	1	Descobrir as características do problema por meio do levantamento de dados. Ferramentas: Folha de verificação/Estratificação, 5W1H ou Gráfico de Pareto.
	2	Descobrir as características do problema por meio de observação no local de ocorrência para coleta de observações adicionais.
	3	Elaborar cronograma, orçamento e definir as metas a serem alcançadas.
ANÁLISE	1	Definição das causas que influenciam o problema. Ferramentas: <i>Brainstorm</i> , Diagrama de Ishikawa ou 5 porquês.
	2	Escolher as causas mais prováveis apontadas pela ferramenta utilizada (hipóteses).
	3	Análise das causas mais prováveis (verificação das hipóteses): Testar e confirmar de fato se as hipóteses são responsáveis pelo problema.
	?	Alguna das causas mais prováveis foi confirmada?
	?	Teste de consistência da causa fundamental: É possível bloquear?
PLANO DE AÇÃO	1	Elaborar o plano de ação: definir ações para bloqueio do problema, certificando-se que eliminarão as causas e não os efeitos colaterais.
	2	Revisão do cronograma, orçamento e metas para solução do problema. Definir metas quantitativas e itens de controle.
D - DO - AÇÃO		
AÇÃO	1	Divulgar o plano e as ações de treinamento para que todos os envolvidos entendam e capacitem os executores sempre que necessário.
	2	Implementar as ações definidas no plano e registrar todos os resultados (bons e ruins).
C - CHECK - VERIFICAÇÃO		
VERIFICAÇÃO	1	Comparação dos resultados e análise dos efeitos secundários: Utilizar dados antes e depois da ação de bloqueio para a comparação dos resultados. Utilizar a mesma ferramenta nos dois momentos.
	2	Listar os efeitos secundários, positivos ou negativos.
	?	O bloqueio foi efetivo?
	*	Retornar ao item 2 do processo de OBSERVAÇÃO.
A - ACT - AVALIAÇÃO		
PADRONIZAÇÃO	1	Elaborar o novo padrão ou procedimento operacional ou revisar os existentes.
	2	Comunicação e treinamento para todos os envolvidos.
	3	Acompanhamento: Fazer verificações periódicas para garantir o cumprimento do padrão.
AVALIAÇÃO DO PROCESSO	1	Relacionar os problemas remanescentes.
	2	Planejar programa para os problemas remanescentes?
	3	Avaliação do processo MASP: atrasos, participação do grupo, efetividade das reuniões, etc.

Fonte: A autora (2018).

As ferramentas mais utilizadas dentro do MASP são: Gráfico de Pareto, 5 Porquês, O diagrama de Ishikawa, diagrama de dispersão e 5W2H, e são descritas a seguir.

Gráfico de Pareto: Pareto encontrou a proporção 80/20 ao estudar a distribuição de riqueza pela população mundial. Essa proporção encontrada ocorre também com muita frequência na análise de várias situações cotidianas das operações. Como, por exemplo, 80% das falhas ocorrem devido a 20% das causas prováveis dessas falhas (CORRÊA; CORRÊA, 2012). Os autores afirmam que a análise de Pareto é uma forma de “separar os poucos elementos vitais”, entendidos aqui como os poucos fatores responsáveis pela grande parte das falhas ocorridas. Isso indica que as técnicas de análise de falhas devem ser aplicadas nos itens “mais importantes”, segundo essa classificação, o que motiva a aplicação de recursos em itens prioritários (KARDEC; NASCIF, 2013).

5 Porquês: é um método associado com a Manutenção Produtiva Total/Gestão pela Qualidade Total (TPM/TQM) que possui como objetivo levantar as causas de problemas. É uma metodologia ordenada que se baseia no questionamento: Por quê? Cada etapa deve sempre buscar responder a essa questão. A técnica recomendada é que se faça essa pergunta tantas vezes até que a questão não faça mais sentido. Ou seja, deve-se analisar e atuar sobre o defeito até que a causa original que o fez ocorrer seja identificada (KARDEC; NASCIF, 2013).

O Diagrama de Ishikawa (também chamado Diagrama de Causa e Efeito ou Diagrama Espinha de Peixe) busca explorar e indicar todas as causas possíveis de uma condição ou um problema específico. O diagrama foi desenvolvido para representar a relação entre o efeito e todas as possibilidades de causa que podem contribuir para esse efeito. As causas de um problema podem ser agrupadas, a partir do conceito dos 6M, como decorrentes de falhas em materiais, método, mão de obra, máquina, meio ambiente e medidas (MACHADO, 2012).

O diagrama de dispersão mostra o que acontece com uma variável relacionando-a a variação de outra variável, para testar possíveis relações de causa e efeito (MACHADO, 2012).

A ferramenta 5W2H consiste em uma forma simples de planejar as ações operacionais, é a formatação de um plano respondendo as seguintes questões: O que? (*What?*), Por quê? (*Why?*), Onde? (*Where?*), Quando? (*When?*), Quem? (*Who?*), Como? (*How?*) e Quanto custa? (*How much?*). O plano de ação 5W2H é uma maneira simples que contém as informações necessárias para o acompanhamento e a execução do plano de ação pretendido. (MACHADO, 2012).

2.4.2 Manutenção Centrada em Confiabilidade e Análise do Modo e Efeito de Falha

A MCC – Manutenção Centrada em Confiabilidade (em inglês *Reliability Centered Maintenance* – RCM) pode ser definida como um programa que reúne várias técnicas de engenharia para determinar o que deve ser feito a fim de assegurar que os equipamentos de uma planta fabril continuem realizando suas funções especificadas em seu contexto operacional (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Outra definição para MCC dada por Kardec e Nascif (2013, p. 158) é: “uma metodologia que estuda um equipamento ou um sistema em detalhes, analisa como ele pode falhar e define a melhor forma de fazer manutenção de modo a prevenir a falha ou minimizar as perdas decorrentes das falhas”.

A MCC teve como primórdio a indústria aeronáutica, sendo adotada posteriormente pela indústria nuclear e elétrica. Os resultados positivos dessas indústrias fizeram com que o método se expandisse para outros setores produtivos (SIQUEIRA, 2005). “A generalidade dos conceitos e técnicas da MCC são aplicáveis, atualmente, a qualquer sistema, independente da tecnologia, onde seja necessário manter a funcionalidade de processos ou ativos físicos” (SIQUEIRA, 2005, p. 9).

Uma das características da MCC é fornecer uma metodologia estruturada para selecionar as atividades de manutenção para qualquer processo produtivo. Esse método é composto por um conjunto de passos bem definidos, que devem ser seguidos para responder às questões sugeridas e garantir os resultados desejados (SIQUEIRA, 2005).

Conforme Fogliatto e Ribeiro (2009), os programas de MCC têm sido reconhecidos como uma forma eficiente de tratar as questões de manutenção devido a sua abordagem racional e sistemática. Sua eficácia está diretamente ligada ao amplo envolvimento de engenheiros, operadores e técnicos de manutenção, à ênfase no estudo das consequências das falhas, à abrangência das análises, ao combate às falhas escondidas e, por último, à ênfase nas atividades proativas.

Kardec e Nascif (2013) apresentam as sete questões que devem ser aplicadas nos programas de Manutenção Centrada em Confiabilidade, conforme descritas a seguir.

1. Quais são as funções e os padrões de desempenho do item no seu contexto operacional atual?
2. De que forma ele falha em cumprir suas funções?
3. O que causa cada falha operacional?
4. O que acontece quando ocorre cada falha?
5. De que forma cada falha tem importância?
6. O que pode ser feito para prevenir cada falha?

7. O que deve ser feito, se não for encontrada uma tarefa preventiva apropriada?

A definição das funções e padrões de desempenho determina a base de trabalho do programa de MCC, devendo existir a compreensão do que é esperado de cada equipamento e o padrão de desempenho durante sua vida útil. Outra informação primordial a ser obtida refere-se aos modos como os equipamentos podem falhar em cumprir suas funções e, posteriormente, identificar as causas de cada falha funcional.

Por fim, além de discernir as possíveis falhas, é necessário distinguir seus efeitos e de que maneira cada falha interessa à organização (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009). Os autores afirmam que a MCC pode ser implementada em nove etapas, que envolvem:

1. escolha da equipe;
2. capacitação em MCC;
3. estabelecimento dos critérios de confiabilidade;
4. estabelecimento da base de dados;
5. aplicação do FMEA (Análise de Modo e Efeito da Falha) e classificação dos componentes;
6. seleção das atividades de Manutenção Preventiva pertinentes;
7. documentação das atividades de Manutenção Preventiva;
8. estabelecimento de metas e indicadores;
9. revisão do programa de MCC.

Para a realização da etapa 5 é necessário a aplicação da ferramenta FMEA (Análise de Modo e Efeito de Falha), uma ferramenta auxiliar à MCC. O FMEA (sigla em inglês de *Failure Mode and Effect Analysis*) é uma abordagem que contribui para a identificação e priorização de falhas potenciais em equipamentos, sistemas ou processos (KARDEC; NASCIF, 2013). É uma técnica de confiabilidade que possui como objetivos reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir, identificar ações que visem eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas e documentar o estudo, criando um referencial técnico que auxilie em revisões e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Devido à sua grande utilidade, o formulário FMEA é usado de várias maneiras. É aplicado em componentes, equipamentos ou sistemas, dependendo do grau de detalhe desejado. Pode ser utilizado na fase de projeto, a fim de prever as falhas, na revisão de segurança de um sistema e no contexto de análise global de riscos (BARBOSA, 2009).

Outra sigla presente na literatura é o FMECA, que significa *Failure Mode Effects and Critically Analysis*, ou seja, Análise do Modo, Efeito e Criticidade da falha. A principal diferença entre FMEA e FMECA é que esta inclui o que se denomina de análise crítica, ou *Critically Analysis*. A análise crítica é um método quantitativo utilizado na classificação dos

modos de falha considerando suas probabilidades de ocorrência (KARDEC; NASCIF, 2013). O Quadro 3 apresenta um modelo de cabeçalho para o formulário FMEA.

Quadro 3- Cabeçalho do FMEA

FMEA - Análise do Tipo e Efeito da Falha																			
Nome da peça: Data: Folha nº										<input type="checkbox"/> FMEA de Processo <input type="checkbox"/> FMEA de Produto <input type="checkbox"/> FMEA de Sistema									
Descrição do processo	Função (ões) do processo	Tipo da Falha	Efeito da falha	Causa da falha	Controles atuais	Índices				Ações de Melhoria									
						S	O	D	R	Ações recomendadas	Responsável/ Prazo	Medidas Implantadas	Índices atuais						
Quem está sendo analisado?	Quais funções ou características devem ser atendidos?	Como a função ou característica pode não ser cumprida?	Que efeitos tem este tipo de falha?	Quais podem ser as causas?	Quais medidas de prevenção e descobertas poderiam ser tomadas?					Quais os riscos prioritários? Quais medidas podem ser tomadas para atenuar o risco?					S	O	D	R	

Fonte: TOLEDO; AMARAL (2006) / adaptado pela autora.

Para o preenchimento da planilha FMEA deve ser inserido o nome do item a ser analisado, em seguida a sua função ou propósito. Fogliatto e Ribeiro (2009) alertam que no preenchimento da função do equipamento é necessário ser tão conciso quanto possível. Devem ser descritos neste campo, qual o padrão de desempenho a ser atendido pelo equipamento.

Além disso, se uma operação possui mais de uma função, que provavelmente estão associados a mais de um modo de falha, então cada função deve ser listada separadamente. É necessário preencher corretamente o equipamento e suas funções, para auxiliar na identificação das falhas nas etapas subsequentes (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Avançando para as próximas colunas, modo ou tipo da falha pode ser entendido como “a maneira na qual um determinado processo pode falhar em atingir os requerimentos ou especificações do projeto” (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009, p. 190). Trata-se de descrever uma possível não-conformidade do processo em análise. Efeito da falha por sua vez, pode ser definido como “o que acontece quando um modo de falha se apresenta” (SIQUEIRA, 2005, p. 93). O efeito deve ser descrito em função daquilo que o cliente pode observar ou experimentar.

Finalizando a descrição geral das falhas, tem-se as causas, que são as deficiências no processo, cuja consequência é o modo da falha. Esta é uma das etapas mais importantes do estudo, uma vez que visa a identificação da raiz do problema. As causas devem ser listadas de forma concisa e completa, a fim de facilitar os esforços de correção e melhoria do processo. As causas estão relacionadas ao valor inserido para a ocorrência (O) das falhas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Os controles atuais devem ser preenchidos se existirem ações em andamento com o objetivo de reduzir a ocorrência das falhas. Em relação aos índices atuais, são conceituados por Fogliatto e Ribeiro (2009) da maneira à seguir.

Ocorrência (O) é relacionada com a probabilidade de a causa listada vir a ocorrer. A severidade (S) é definida de acordo com o impacto que o efeito da falha tem sobre a operação do sistema, e por consequência, sobre a satisfação do cliente. O índice (D) para a definição da detecção, a equipe deve realizar uma estimativa da capacidade dos controles atuais de detectar as causas das falhas, considerando que a falha já tenha ocorrido. E quanto ao risco (R) é um valor calculado matematicamente com o objetivo de priorizar as ações de correção e melhoria do processo. O risco é calculado conforme a Equação (1):

$$R = O \times S \times D \quad (1)$$

Os índices atuais (O), (S) e (D), que serão preenchidos e o risco (R) que será calculado, devem obedecer aos pesos conforme o Quadro 4.

Quadro 4- Determinação dos pesos para o FMEA

Componente do R	Classificação	Peso
FREQUÊNCIA DA OCORRÊNCIA (O)	Improvável	1
	Muito pequena	2 a 3
	Pequena	4 a 6
	Média	7 a 8
	Alta	9 a 10
GRAVIDADE OU SEVERIDADE DA FALHA (S)	Apenas perceptível	1
	Pouca importância	2 a 3
	Moderadamente grave	4 a 6
	Grave	7 a 8
	Extremamente grave	9 a 10
DETECÇÃO DA FALHA (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: KARDEC; NASCIF (2013) / adaptado pela autora

Uma vez que os modos de falha tenham sido priorizados conforme o maior valor obtido para o risco, as ações recomendadas devem ser voltadas aos itens de maior risco. Os objetivos

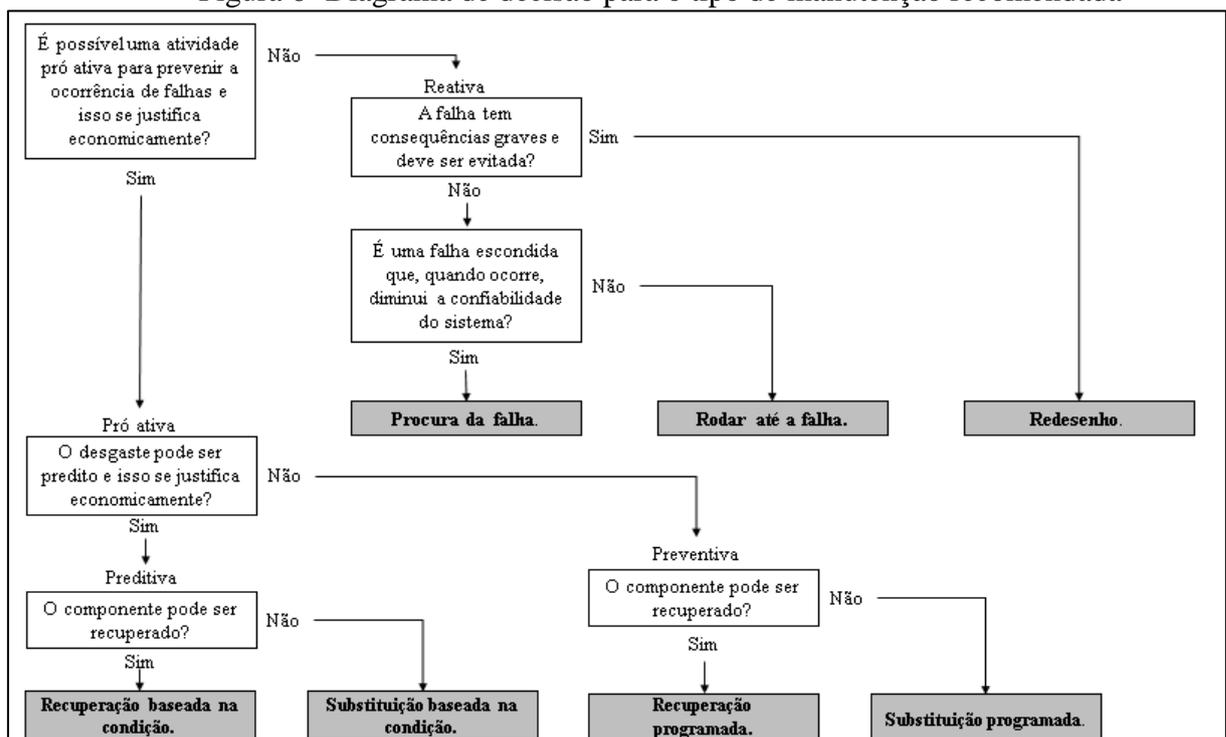
dessas ações devem ser voltados para a redução da ocorrência e da severidade bem como o aumento do nível de detecção da falha. Para o caso de causas desconhecidas, é recomendado o uso de projetos de experimentos a fim de obter maior conhecimento sobre o processo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Por fim, deve-se realizar o preenchimento dos dados referentes às pessoas responsáveis pelas ações de melhoria e seus respectivos prazos. Após a implantação das ações de correção deve-se preencher quais foram elas no campo Medidas Implantadas. Logo após, devem ser inseridos os novos índices para severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D), para que seja calculado o novo valor do risco (R) após a realização das ações de melhoria (PEDROSA, 2014).

As ações listadas devem influenciar um ou mais itens, reduzindo o risco. A redução deve ser suficiente para incluir o processo em uma condição de baixo risco. Se isso não acontecer, as ações devem ser reformuladas, para que se alcance os efeitos desejados (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Fogliatto e Ribeiro (2009) ressaltam que o formulário FMEA é uma importante ferramenta na aplicação da MCC. Esta, porém, vai além da análise FMEA e estabelece as atividades de manutenção pertinente. Para a definição da atividade de manutenção adequada para o item e seus modos de falha, os autores apresentam um diagrama de auxílio, que é apresentado na Figura 6.

Figura 6- Diagrama de decisão para o tipo de manutenção recomendada



Fonte: Fogliatto; Ribeiro (2009).

Fogliatto e Ribeiro (2009) sugerem a utilização de uma planilha ampliada para apoiar a implantação da MCC, que contém em conjunto tanto as preocupações do estudo dos modos de falha como os detalhes das atividades de manutenção. A planilha de apoio é apresentada no Quadro 5.

Quadro 5- Planilha de apoio à implantação da MCC

Número	Campo da planilha	Preenchimento
1	Sistema	
2	Subsistema	
3	Conjunto	
4	Componente	
5	Função	
6*	Padrão de desempenho	
7	Modo de falha	
8	Efeito: O que é observado	
9*	Tempo médio de parada	
10*	Danos pessoais/materiais/ambientais	
11	Causa da falha	
12*	O que pode ser feito para evitar a falha	
13*	Classificação da consequência da falha Escondida (potencialmente crítica) Segurança (crítica) Ambiental (crítica) Operacional (crítica) Outra (não crítica)	
14	Probabilidade de ocorrência	
15	Severidade	
16	Probabilidade de detecção	
17	Risco	
18*	Tarefa indicada: Preditiva - Recuperação baseada na condição Preditiva - Substituição baseada na condição Preventiva - Recuperação programada Preventiva - Substituição programada Reativa - Rodar até a falha Reativa - Procura de falha Redesenho	
19*	Detalhe da tarefa	
20*	Responsável pela tarefa	
21*	Intervalo entre tarefas	
22	Probabilidade de ocorrência	
23	Severidade	
24	Probabilidade de detecção	
25	Risco	

Fonte: FOGLIATTO; RIBEIRO (2009) /adaptado pela autora.

Os campos assinalados com (*) são campos específicos da MCC, os demais campos são os campos usualmente presente no formulário FMEA. A planilha pode ser utilizada apenas com os campos da MCC ou em conjunto com o FMEA. Os campos 14 a 17 devem ser preenchidos antes do planejamento da manutenção e definição de ações de melhoria. Já os campos 22 a 25 devem ser preenchidos após a definição das tarefas de manutenção apropriadas (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

2.5 Indústria Florestal

Conforme o Relatório Anual da IBÁ (2017), o setor florestal brasileiro tornou-se, nos últimos anos, um dos mais relevantes no cenário global. Com uma área de 7,84 milhões de hectares de reflorestamento, o setor brasileiro de árvores plantadas é responsável por 91% de toda a madeira produzida para fins industriais. É responsável também por 6,2% do PIB industrial no país e é um dos segmentos com maior potencial de contribuição para a construção de uma economia verde.

Os principais produtos do setor de reflorestamento no Brasil são decorrentes da produção de celulose e papel, carvão vegetal, serrados e painéis de madeira. Assim, diante da grande variedade de produtos gerados a partir da madeira, confirma-se a importância desse setor para o desenvolvimento econômico do país (ROCHA, 2016).

No Brasil, as duas principais fontes de madeira utilizadas para a produção de celulose são as árvores plantadas de pinus e de eucalipto, responsáveis por mais de 98% do volume produzido. A celulose também pode ser obtida de outros tipos de plantas, não-madeiras (IBÁ, 2015).

No cenário mundial, o Brasil aparece como o segundo maior produtor de celulose e oitavo na produção de papel (IBÁ, 2017). Essa posição e desenvolvimento foi possível graças à mecanização das atividades do setor, o que garantiu melhorias na qualidade do plantio, necessidade de qualificação da mão de obra, diminuição dos custos, principalmente da colheita florestal e, maiores produtividades (SANTOS, 2014).

As operações florestais ocorrem em ambiente aberto, sendo influenciadas diretamente pelo clima e pelo tempo, sujeitas a secas, chuvas, incêndios, enchentes, ventos fortes, etc. O que compromete a boa execução do planejamento e tornam os projetos florestais incertos. Características como estas contribuem para que um projeto florestal seja complexo de ser gerenciado, planejado e executado. O planejamento é fundamental para o setor florestal e de

suma importância para que sejam evitados maiores transtornos operacionais, alcançando resultados satisfatórios (ALCIDES, 2013).

2.5.1 Atividades de Colheita e Silvicultura

A colheita florestal representa uma das etapas mais importantes na silvicultura, representando juntamente com o transporte da madeira, mais de 50% dos custos. A colheita afeta diretamente a qualidade da madeira a ser comercializada, uma vez que o uso de técnicas e procedimentos sem padronização pode resultar em baixa qualidade das operações e, conseqüentemente, do produto final (SAMPIETRO *et al.* 2016).

A colheita florestal pode ser definida como um conjunto de operações efetuadas no maciço florestal, que visam preparo e a extração da madeira até o local de transporte, à partir de técnicas e padrões pré-estabelecidos, com a finalidade de transformar essa madeira em produto final. Sendo definida pelas atividades de corte (derrubada, desganhamento, processamento ou traçamento); descascamento, extração e carregamento (SANCHES, 2014).

Os métodos de colheita são classificados em: manual, semimecanizado e mecanizado. Atualmente, a colheita manual não é mais utilizada pelas grandes empresas florestais, devido ao alto custo de produção e baixa produtividade. Esse método utiliza o machado, foice ou traçador para realizar o corte; a extração é realizada através de tombamento da madeira para a margem da estrada.

O método semimecanizado ainda é muito utilizado por pequenas empresas e produtores rurais. O corte é realizado com motosserra, o que gera grande dispêndio energético e físico dos trabalhadores, além de ser uma atividade com alto risco de acidente. O método mecanizado tem sido cada vez mais utilizado nas grandes empresas florestais, devido à sua alta produtividade e melhoria nas questões ergonômicas e de segurança para os trabalhadores (ROCHA, 2016).

Os primeiros sistemas de colheita florestal no Brasil eram manuais, usados principalmente para a exploração de florestas nativas, sem qualquer preocupação com a racionalização e produtividade das práticas adotadas (FREITAS, 2008). A mecanização da colheita de madeira no Brasil modernizou-se a partir do início da década de 1990, quando o mercado brasileiro se abriu à importação de máquinas de alta tecnologia e produtividade. Proporcionando melhores condições de trabalho, maior segurança, ganhos de produtividade e redução dos custos de produção (DINIZ, 2016).

As operações de colheita da madeira podem ser divididas em duas etapas: corte (derrubada, desganhamento, descascamento e traçamento) e extração (remoção da madeira do interior até a margem do talhão ou pátio intermediário). Podendo ser utilizados nestas atividades diversos tipos de máquinas, métodos ou combinações de sistemas, sendo que, atualmente, o maior desafio é otimizar as operações (PEREIRA; LOPES; DIAS, 2015).

A silvicultura, por sua vez, é definida por Binkowski (2009) como uma ciência destinada ao estudo de métodos naturais e artificiais com o objetivo de regenerar e melhorar os povoamentos florestais, visando atender às necessidades do mercado e à manutenção, ao aproveitamento e ao uso racional das florestas (nativas ou comerciais). Essa atividade é a base predominante do setor florestal.

As florestas plantadas são responsáveis por 100% do suprimento de madeira para a indústria nacional de celulose. Os principais gêneros florestais cultivados pela silvicultura brasileira são eucaliptos e pinus. Os outros gêneros aparecem em menor escala (FISCHER; ZYLBERSZTAJN, 2012).

A silvicultura é constituída de um conjunto de atividades, que devem ser realizadas em caráter de interdependência. Algumas dessas atividades são: preparo de solo, plantio, adubação e os chamados tratos culturais, que são as operações que buscam beneficiar e manter o povoamento florestal (MOURA, 2013).

2.5.2 Principais equipamentos de colheita e silvicultura

As máquinas utilizadas pela empresa estudada para as atividades de colheita são o *harvester* e o *forwarder*. O *harvester* é definido por Paccola (2011) como um trator florestal colhedor, com a função de realizar simultaneamente as operações de derrubada, desganhamento, traçamento (corte da madeira em toras de comprimento predeterminado), descascamento e empilhamento das toras de madeira para serem retiradas da área. O equipamento é composto por uma máquina base e um cabeçote. O cabeçote é uma parte do equipamento constituído de braços acumuladores, que tem como função levantar e segurar a árvore para a realização do corte, descascamento, desganhamento e traçamento (ALTOÉ, 2008).

Após as atividades realizadas pelo *harvester*, o *forwarder* efetua o chamado baldeio da madeira. Esse equipamento é composto de uma caixa de carga onde são depositadas as toras de madeira que são retiradas do solo com auxílio de um braço mecânico com uma grua na ponta. Após encher a caixa de carga de madeira, o *forwarder* se desloca até a borda da estrada onde

inicia a formação de uma grande pilha de madeira, para que posteriormente sejam carregados os caminhões e essa matéria-prima siga para a unidade fabril (GONÇALVES, 2008).

Já o trator florestal é uma máquina auto propelida provida de meios que, além de lhe conferir apoio estável sobre uma superfície horizontal e impenetrável, capacitam-no a tracionar, transportar e fornecer potência mecânica para movimentar os órgãos ativos de máquinas e implementos agrícolas de uso específico. Um mesmo trator, com diferentes implementos, possibilita uma vasta gama de aplicações, com economia de tempo e equipamentos. São utilizados principalmente na agricultura e silvicultura, para tracionar arados, carretas, plantadeiras e a maioria dos implementos agrícolas (FERNANDES, 2018).

2.6 Manutenção de Equipamentos Móveis

As empresas agroflorestais se utilizam largamente dos chamados equipamentos móveis. Conforme Paccola (2011), os equipamentos móveis se diferem dos equipamentos fixos em diversos aspectos. Um deles, de grande relevância, é o deslocamento que provoca cargas dinâmicas nos equipamentos móveis, o que não ocorre nos fixos.

Tais cargas contribuem para certos tipos de falhas e quebras que são mais comuns nos equipamentos móveis. Outros fatores influenciadores nos equipamentos móveis são a ação do solo, topografia e condições climáticas. As condições do local de trabalho conferem agressividades adicionais que interferem nos recursos envolvidos. Dessa forma, pode-se perceber a maior dificuldade na manutenção desses equipamentos, e conseqüentemente, um maior custo em tais atividades (PACCOLA, 2011).

A manutenção das máquinas florestais pode ser considerada como um ponto estratégico para o sucesso da colheita de madeira, exigindo um planejamento detalhado, mão de obra especializada e um modelo de gestão eficiente e confiável (DINIZ, 2016).

Em uma atividade de colheita florestal mecanizada, por exemplo, o custo com os equipamentos ultrapassa 50% do custo da operação, se forem considerados os custos com combustíveis, lubrificantes, depreciação, peças, oficina, material de operação. É a maior parcela da conta e, portanto, precisa ser muito bem controlada, principalmente reduzindo as paradas e trabalhando para que os equipamentos fiquem a maior parte do tempo em operação. Se os equipamentos que estão trabalhando custam caro, parados, então, custam muito mais (PACCOLA, 2011, p.18)

A manutenção de máquinas florestais na colheita mecanizada, dentre outros fatores, deve garantir a disponibilidade da função dos equipamentos para atender a um processo de produção com confiabilidade, segurança, preservação do meio ambiente e adequação às

melhores práticas. Dario *et al.* (2014) mencionam que, além de reduzir o custo de manutenção, é necessário priorizar o aumento da disponibilidade e confiabilidade, visto que estes são fatores fundamentais para o rendimento dos processos das empresas.

Em um ambiente de negócios altamente competitivo como o setor florestal, melhorar a utilização dos ativos é fundamental para atingir a produtividade necessária à sobrevivência e sucesso da empresa. Esses resultados serão tanto melhores quanto mais eficaz for a Gestão da Manutenção (SOEIRO, 2012).

2.7 Pneus e câmaras de ar

As câmaras de ar analisadas no presente estudo são utilizadas nos pneus dos equipamentos de colheita e silvicultura citados anteriormente (*harvester, forwarder, trator*). O pneu é definido por Gobbi (2002, p.9) como “uma cinta de borracha, deformável e elástica, que é fixada na roda de certos veículos e que protege o conjunto montado, oferecendo a possibilidade de movimentação, com segurança e conforto aos usuários destes veículos.” É composto de borracha, aço e produtos químicos. Define-se mecanicamente o pneu como um recipiente de pressão que suporta o peso do veículo, e é o único ponto de apoio do veículo à superfície da estrada (GOODYEAR, 2010a).

Conforme a Goodyear (2010a) as principais funções do pneu são: capacidade de suportar e transportar cargas, capacidade amortecedora e de transmissão de torque, fornecer dirigibilidade e capacidade de aderência ao solo. Além de sustentar o peso do equipamento, eles ainda precisam fazer menor pressão sobre o solo, contribuir para não compactá-lo, além de outras atribuições (MENDES, 2010).

Dentre os cinco maiores fatores que reduzem a vida útil de um pneu está o controle da pressão. É uma das principais causas de perda prematura do pneu. A pressão incorreta reduz a quilometragem em até 25%, além de contribuir para o aumento do consumo de combustível (OPPS MECÂNICA & SERVIÇOS, 2018). As principais partes do pneu são apresentadas na Figura 7.

Figura 7- Estrutura de pneus em geral

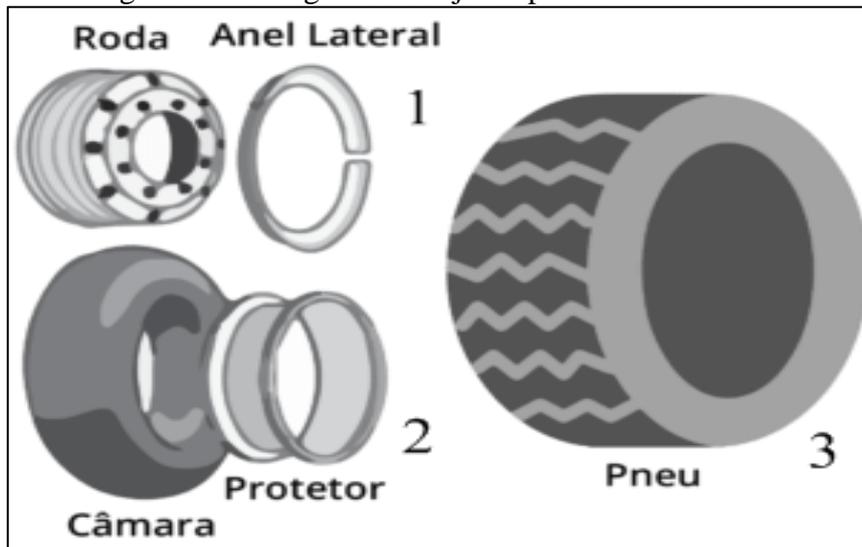


Fonte: Ingopneus (2013).

Em geral, os pneus são constituídos por duas partes distintas: o pneu propriamente dito, que forma o invólucro externo e a câmara de ar, localizada no interior do pneu (MENDES, 2010). A NBR 15557 (2014) define câmara de ar como “elemento constituído de elastômeros, para sustentação do pneu, de forma tubular, em anel fechado, e dotado de válvula com a função de conter, com a máxima estanqueidade, o fluido sob pressão no seu interior”.

Quando um pneu sofre qualquer tipo de agressão, como perfuração ou infiltrações por causa de consertos mal feitos, podem ter a vida útil prolongada com o uso de câmara de ar. A principal função da câmara de ar nos pneus é permitir que os mesmos continuem tendo vida útil mesmo depois de furados, cortes e vazamentos (AUTOSTART, 2015). As câmaras de ar são acessórios de extrema importância no conjunto montado de um pneu. A vida do pneu pode ser afetada definitivamente pelos cuidados dedicados às câmaras de ar de um veículo (GOODYEAR, 2010b). A Figura 8 apresenta os itens utilizados na montagem do conjunto pneu e câmara de ar, bem como a sequência de montagem.

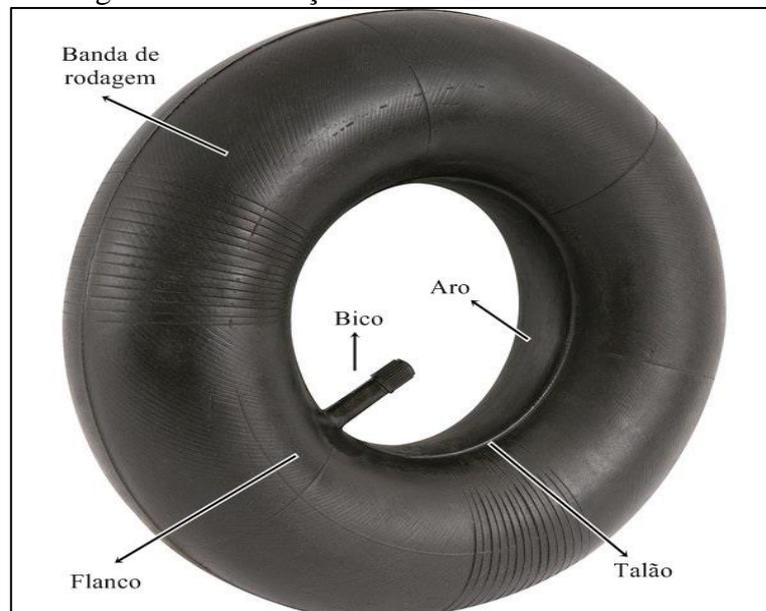
Figura 8- Montagem do conjunto pneu e câmara de ar



Fonte: Sua Oficina Online (2017)/adaptado pela autora.

A Figura 9 mostra a separação das áreas das câmaras de ar para a realização da análise. A divisão corresponde às áreas de contato da câmara com o pneu, que são os locais onde podem surgir as avarias nas câmaras.

Figura 9- Localização das falhas em câmaras de ar



Fonte: VONDER (2018).

3 METODOLOGIA

Método (do grego *methodos* significa, literalmente, caminho para se chegar a um fim) (GERHARDT E SILVEIRA, 2009). Pode ser conceituado como o conjunto de atividades racionais e sistemáticas que, com maior segurança, permitem alcançar conhecimentos válidos e verdadeiros, construindo um caminho a ser seguido, detectando erros e auxiliando decisões (MARCONI e LAKATOS, 2017).

Metodologia, por sua vez, definida por Gerhardt e Silveira (2009), é o estudo do método, ou seja, o conjunto de regras e procedimentos estabelecidos para realizar uma pesquisa. Geralmente, o método científico compreende basicamente um conjunto de dados iniciais e um sistema de operações ordenadas adequado para a formulação de conclusões, considerando-se certos objetivos predeterminados.

3.1 Classificação da Pesquisa

Quanto à abordagem, a pesquisa pode ser classificada tanto em qualitativa como quantitativa. Na primeira, pois busca obter uma compreensão particular do objeto investigado. Focaliza sua atenção no específico e possui como interesse compreender os fenômenos estudados dentro do contexto em que aparecem. Os métodos da pesquisa qualitativa se dão através da pesquisa ou coleta de dados e em seguida, a análise e interpretação, momento em que se busca desvendar o significado dos dados (MARCONI; LAKATOS, 2017).

Classifica-se também como pesquisa quantitativa pois, ainda conforme Marconi e Lakatos (2017), neste tipo de pesquisa, o pesquisador busca expressar as relações funcionais entre as variáveis e identificar os elementos fundamentais do fato estudado, evidenciando a evolução das relações entre os diferentes elementos. Os autores apresentam as fases do enfoque quantitativo, como sendo: evidenciar a observação e a valorização dos fenômenos, estabelecer as ideias, a demonstração do grau de fundamentação, a revisão das ideias resultantes das análises e, por fim, a proposição de novas observações e valorizações, a fim de esclarecer, modificar e/ou fundamentar respostas e ideias.

Quanto à natureza se classifica como pesquisa aplicada, pois “objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos. Envolve verdades e interesses locais” (GERHARDT e SILVEIRA, 2009, p. 35). Em relação aos objetivos é classificada como pesquisa descritiva, definida por Gil (2002) como a pesquisa que

possui como objetivo a descrição das características de determinado fenômeno. Estudos desse tipo possuem como característica a utilização de técnicas padronizadas de coleta de dados.:

Considerando-se os procedimentos técnicos utilizados, a pesquisa se classifica em pesquisa bibliográfica, entendida como a pesquisa desenvolvida com base em material já elaborado, constituído principalmente de livros e artigos científicos. Todos os estudos exigem algum tipo de trabalho dessa natureza. Boa parte dos estudos exploratórios pode ser definida como pesquisas bibliográficas (GIL, 2002).

Além da pesquisa bibliográfica, foi realizada pesquisa documental- com análise aos relatórios de custo da empresa e documentos relacionados à ocorrência das falhas. Quanto aos procedimentos utilizados, pode também ser classificada como pesquisa-ação. Esse tipo de pesquisa pressupõe uma participação planejada do pesquisador na situação problemática a ser investigada. O processo recorre a um método sistemático, no sentido de transformar as realidades analisadas a partir da sua compreensão, conhecimento e compromisso para a ação dos elementos envolvidos na pesquisa (FONSECA, 2002). “O processo de pesquisa ação envolve o planejamento, o diagnóstico, a ação, a observação e a reflexão, num ciclo permanente” (FONSECA, 2002, p. 34).

3.2 Metodologia do Projeto de Pesquisa

As atividades seguidas para o desenvolvimento da presente pesquisa se deram, inicialmente, através de levantamento bibliográfico a respeito da Engenharia de Manutenção e dos termos englobados nas atividades de manutenção. Foi apresentada também, a bibliografia a respeito de falhas em equipamentos e foram descritas duas metodologias utilizadas para a análise de falhas: Método de Análise e Solução de Problemas (MASP), e a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) juntamente com a Análise do Modo e Efeito de Falha (FMEA).

Em seguida, buscou-se coletar os dados e analisar o problema na empresa estudada, através de documentos e softwares próprios da empresa. Os dados quantitativos coletados são referentes aos custos e quantidade de câmaras de ar que apresentaram falhas durante o período de janeiro a junho de 2018. Para melhor entendimento do problema e levantamento dos dados qualitativos, foram realizadas reuniões periódicas para a discussão do problema, visitas ao local de operação dos equipamentos e aos locais de recuperação e montagem das câmaras de ar (borracharias). Nessas visitas, foram realizadas entrevistas informais não estruturadas com os operadores e mecânicos que convivem constantemente com o problema.

Entrevista, definida por Marconi e Lakatos (2017), é a técnica utilizada pelo pesquisador, em que ele se põe diante do investigado para lhe fazer algumas perguntas, com o objetivo de recolher dados que sejam necessários para a realização da sua pesquisa. Trata-se de um diálogo assimétrico: de um lado, o investigador que dirige a conversa conforme seus objetivos, e de outro, o investigado que é a fonte das informações. Entrevistas informais são pouco estruturadas, quase uma conversa, com o objetivo de recolher dados e são recomendadas para estudos exploratórios (MARCONI; LAKATOS, 2017). Foram levantadas nessas entrevistas as opiniões dos operadores e mecânicos a respeito da causa das falhas, com o objetivo de levantar hipóteses iniciais.

Após o levantamento dos dados quantitativos e qualitativos do problema através dos documentos, softwares, visitas e entrevistas informais, iniciou-se a análise das câmaras de ar com falhas, com o objetivo de levantar os locais com maior incidência de falhas. Para, à partir de então, iniciar a aplicação das ferramentas de acordo com as especificidades de cada uma delas e realizar o levantamento das hipóteses para as causas da falha.

Uma vez que a aplicação das ferramentas deve ser realizada por equipe multidisciplinar, a análise contou com o apoio dos operadores e engenheiros de manutenção que se encontram envolvidos com o problema. A fim de que todos os aspectos sejam eles mecânicos, operacionais ou ambientais, fossem considerados na análise da falha.

Depois de coletados todos os dados necessários e realizadas as análises, foi iniciada a busca por soluções. Essa busca se deu através da aplicação de duas ferramentas distintas na análise da falha das perdas das câmaras de ar, MASP e MCC (englobando o FMEA). Em seguida, foi realizada a comparação das soluções geradas por cada ferramenta, a fim de verificar de que maneira elas contribuíram para a descoberta das causas fundamentais e para identificar os ganhos com a aplicação de cada uma delas.

4 ESTUDO DE CASO

4.1 Descrição da empresa

A empresa onde foi realizado o estudo é caracterizada como uma empresa de base florestal produtora de celulose branqueada à partir da madeira provinda do eucalipto. A empresa está localizada no leste do estado de Minas Gerais. É dividida em dois segmentos: o segmento florestal, responsável pelas atividades de silvicultura, plantio e colheita do eucalipto, e o setor industrial, responsável pela produção da celulose à partir da madeira.

O segmento de realização do estudo é o departamento de manutenção e desenvolvimento dos equipamentos de colheita e silvicultura, que visa tanto a realização das atividades rotineiras de manutenção, como também o desenvolvimento de projetos e análises para a redução dos custos de manutenção dos equipamentos florestais. A empresa opera com a colheita mecanizada utilizando-se de equipamentos modernos para a realização das atividades. Dentro desse contexto, a aplicação das ferramentas de análise de falhas foi realizada nas câmaras de ar utilizadas nos pneus dos equipamentos florestais.

4.2 Aplicação das ferramentas

A seguir serão apresentadas as etapas seguidas para a aplicação das duas ferramentas utilizadas neste trabalho: Método de Análise e Solução de Problemas (MASP) e Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC).

4.2.1 Método de Análise e Solução de Problemas

Seguindo as etapas propostas na Figura 6, a aplicação do PDCA é descrita a seguir.

- Identificação do problema: Foi denominada como gastos acima do orçamento com trocas de câmaras de ar. O histórico do problema mostra a porcentagem do orçamento anual acumulado gasto em cada mês. Esses valores são apresentados no Quadro 6.

Quadro 6- Percentual do orçamento anual acumulado

Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho
24,94%	41,56%	50,17%	68,37%	81,55%	90,60%

Fonte: Documento interno da empresa (2018).¹

A definição das perdas atuais e ganhos possíveis é dada a seguir: comparando-se o total gasto nos seis primeiros meses do ano de 2018 com o orçamento total previsto para o primeiro semestre, observa-se um gasto de 173,94% com a recuperação e reposição das câmaras de ar, acarretando em elevada perda de recursos financeiros. O valor gasto até junho de 2018 representa 90,6% do orçamento anual. Ou seja, quase todo o orçamento disponível para todo o ano foi gasto apenas no primeiro semestre.

De Janeiro a Junho de 2018 foram trocadas 287 câmaras de ar. Toda vez que uma câmara é trocada, deve ser retirado também o pneu, uma vez que não é possível trocar a câmara sem retirar o pneu. Considerando-se que levam aproximadamente 3 horas para efetuar a troca de cada conjunto, já foram perdidas 861 horas produtivas. Considerando que um equipamento de colheita trabalha 5.000 horas por ano, esse valor corresponde a 17,22% do ano de um equipamento. O que significa aproximadamente 2 meses com um equipamento totalmente parado sem produção no primeiro semestre. Com a aplicação da ferramenta, busca-se descobrir a causa raiz da falha, atuar com ações de melhoria para reduzir o gasto de maneira que ele esteja dentro do orçamento e de forma que a falha não impacte na produtividade e disponibilidade dos equipamentos.

- Observação do problema:

Foi realizada uma análise de qual equipamento apresentou o maior número de câmaras de ar avariadas. Os pneus e câmaras de ar apresentam tamanhos diferentes para cada um dos três equipamentos analisados. As medidas vêm gravadas nas câmaras. Dessa maneira, pode-se classificar dentre as câmaras avariadas, quais delas pertenciam à cada equipamento.

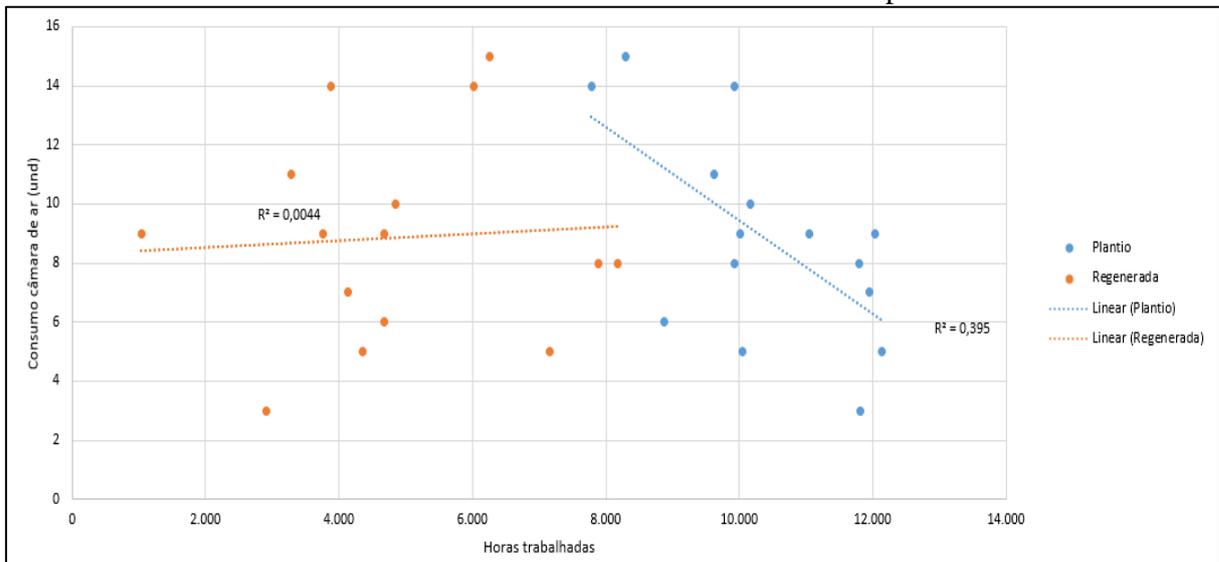
O equipamento com o maior número de câmaras avariadas foi o *forwarder* (59%), seguido do *harvester* (30%) e os tratores (11%). Isso pode ser explicado devido ao maior peso do equipamento quando está carregado de madeira, acarretando em maior pressão sobre os pneus e as câmaras de ar. Daqui em diante, decidiu-se focar as análises apenas nos equipamentos de colheita, visto que os tratores apresentaram baixo percentual de câmaras falhadas.

¹ Por questões de confidencialidade solicitada pela empresa, esse documento não será citado nas referências.

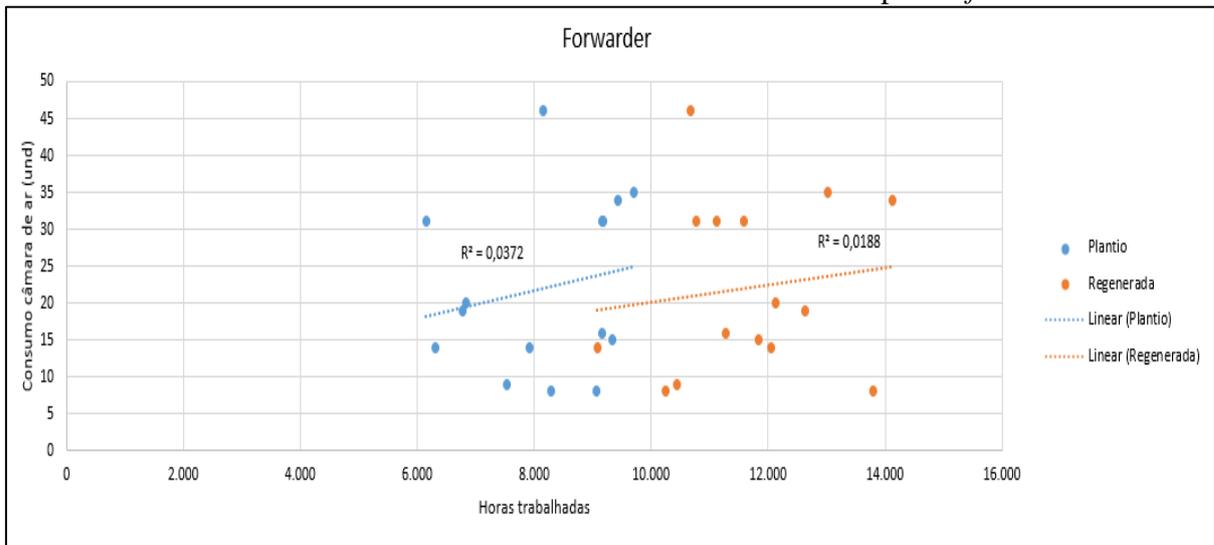
Em seguida, através das conversas com os operadores, foi levantada a hipótese inicial de que o ambiente de trabalho dos equipamentos (florestas) possuía impurezas que entravam em contato com o pneu, causando a avaria neste, que se estendia para a câmara. Na empresa estudada, as florestas são classificadas de duas maneiras: (i) a primeira, chamada de área de plantio, onde é realizada a colheita das árvores plantadas pela primeira vez; (ii) área de madeira regenerada, onde acontece o nascimento de uma nova árvore a partir do toco de madeira deixado pela colheita anterior.

A hipótese levantada foi de que existe uma relação direta entre o consumo de câmaras de ar e a colheita em áreas de madeira regenerada devido à presença dos tocos, que danificavam o pneu e a avaria se estendia à câmara. Nesta etapa, foi construído um gráfico de dispersão a fim de analisar a relação entre a quantidade de câmaras de ar gastas e as horas trabalhadas em áreas de plantio e de madeira regenerada para as máquinas *harvester* e *forwarder*, conforme apresentam os Gráficos 1 e 2.

Gráfico 1- Consumo de câmaras de ar x Horas trabalhadas para o *harvester*



Fonte: A autora (2018).

Gráfico 2- Consumo de câmaras de ar x Horas trabalhadas para o *forwarder*

Fonte: O autor (2018).

Através da análise dos gráficos, pode-se observar uma grande dispersão dos dados e concluir que não existe relação entre as variáveis. Essa conclusão se deve ao baixo valor de correlação dado pelo fator R^2 - coeficiente de ajustamento estatístico linear. Esse coeficiente expressa em termos de percentual o quanto o modelo construído é capaz de explicar os dados. Dessa maneira, foi descartada a hipótese inicial de que a colheita em áreas de madeira regenerada acarretava em maior gasto com câmaras de ar nos pneus dos equipamentos florestais, mostrando que o ambiente externo não possui influência nas falhas das câmaras de ar.

- Análise do problema:

Foi realizado o levantamento das falhas. Todas as câmaras que apresentavam avarias foram levadas para um local determinado para que se pudesse realizar a análise. As falhas foram separadas conforme a Figura 12 e anotadas no formulário apresentado na Figura 10.

Figura 10- Formulário de verificação das falhas

Item		Tipo de pneu		Local da falha					
C041	() H () F (X) T	() Bico () Aro () Talão (X) Flanco () Rodagem () Falha Total							
C042	() H () F (X) T	() Bico (X) Aro () Talão () Flanco () Rodagem () Falha Total							
C043	(X) H () F () T	() Bico () Aro (X) Talão () Flanco () Rodagem () Falha Total							
C044	() H () F (X) T	() Bico () Aro () Talão () Flanco () Rodagem (X) Falha Total							
C045	() H () F (X) T	() Bico () Aro () Talão () Flanco (X) Rodagem () Falha Total							
C046	() H () F (X) T	() Bico (X) Aro () Talão () Flanco () Rodagem () Falha Total							
C047	() H (X) F () T	() Bico () Aro () Talão () Flanco () Rodagem (X) Falha Total							
C048	() H (X) F () T	(X) Bico (X) Aro () Talão () Flanco () Rodagem () Falha Total							
C049	() H () F (X) T	(X) Bico (X) Aro () Talão () Flanco () Rodagem () Falha Total							
C050	() H () F (X) T	(X) Bico () Aro () Talão () Flanco () Rodagem () Falha Total							

Fonte: A autora (2018).

Foi utilizado H para *harvester*, F para *forwarder* e T para trator. Foram analisadas 116 câmaras, que constituíram um percentual aproximado da quantidade real de câmaras falhadas. A Tabela 1 apresenta o percentual total de câmaras falhadas (de acordo com os dados da empresa) e o percentual da amostra que foi possível ser analisada.

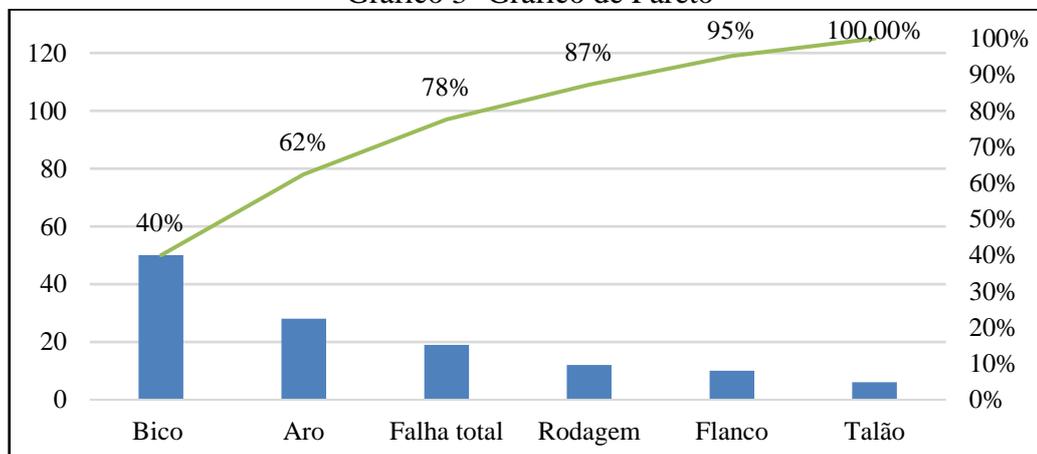
Tabela 1- Comparação entre amostra e população das câmaras avariadas

	Harvester	Forwarder	Trator
Câmaras falhadas (total)	20%	41%	39%
Câmaras analisadas (amostra)	15%	41%	44%

Fonte: A autora (2018).

A partir da análise das falhas foi elaborado o Diagrama de Pareto com o objetivo de priorizar as falhas mais recorrentes. O Gráfico 3 apresenta o Diagrama de Pareto.

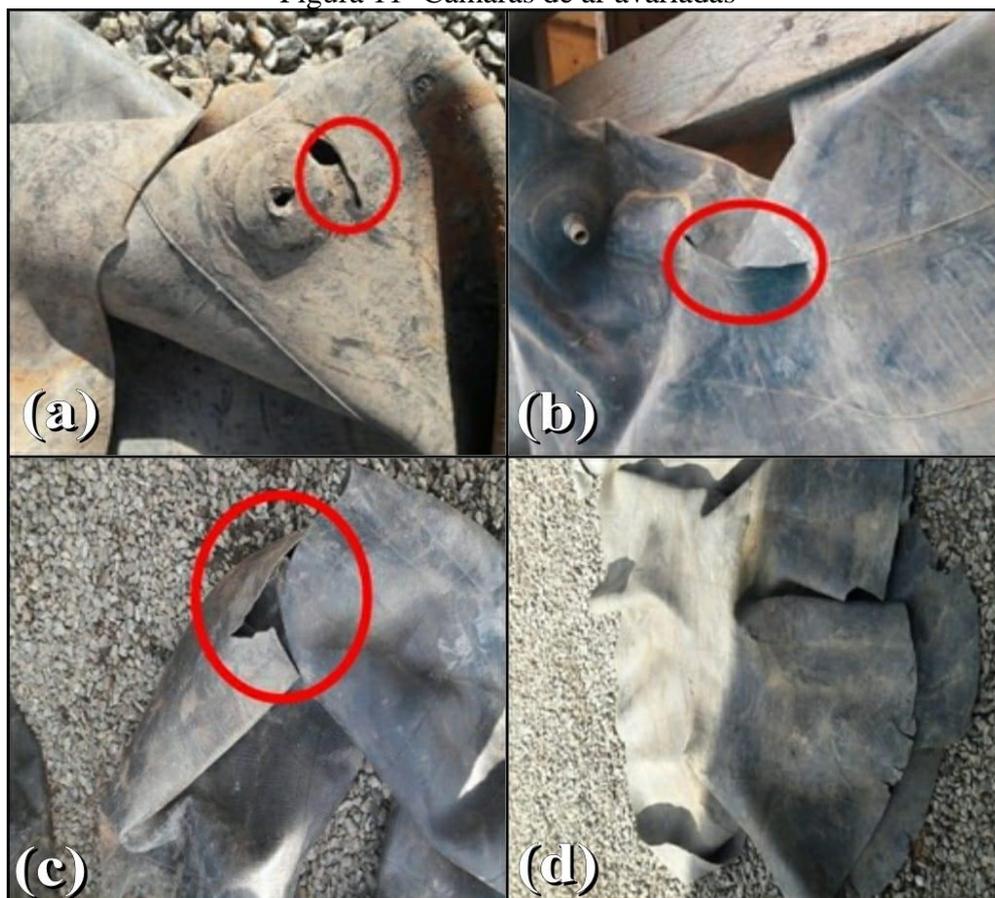
Gráfico 3- Gráfico de Pareto



Fonte: A autora (2018).

Pela teoria de Pareto, as três causas mais prováveis – que somam aproximadamente 80% das falhas são: falha no bico, no aro e falha total da câmara. As figuras a seguir apresentam algumas câmaras analisadas. A Figura 11a apresenta uma falha na região do bico, a Figura 11b apresenta uma falha na região do aro, a Figura 11c uma falha na banda de rodagem, e a Figura 11d uma câmara com perda total.

Figura 11- Câmaras de ar avariadas

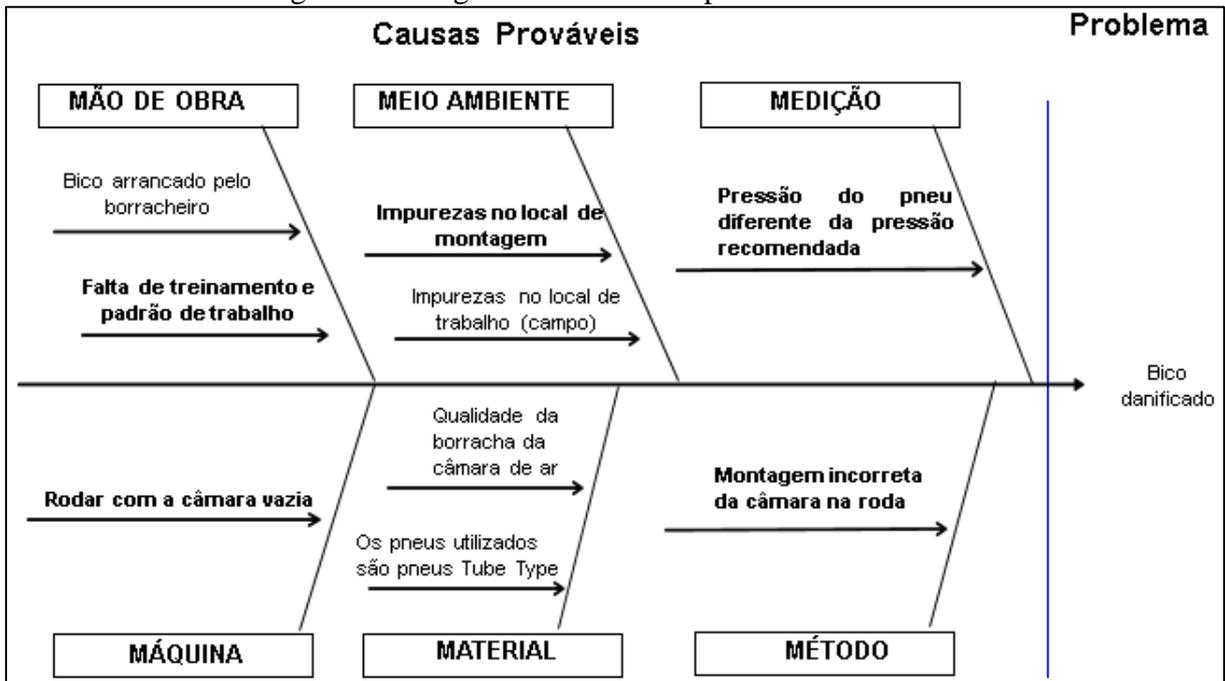


Fonte: A autora (2018).

Ainda na fase de análise, contou-se com a ajuda de um especialista em câmaras de ar de uma empresa do setor, para a definição das causas de cada uma das falhas que a câmara pode apresentar. Após a realização da análise pelo especialista e relatório elaborado pelo mesmo, foi construído um Diagrama de Ishikawa para os três problemas priorizados através do Gráfico 3.

A montagem das câmaras nos pneus é terceirizada, sendo realizada em borracharias prestadoras de serviço para a empresa. Foram realizadas visitas às borracharias para acompanhar o processo de montagem das câmaras nos pneus. De posse das informações do relatório realizado pelo especialista em câmaras de ar e das observações feitas nas borracharias, construiu-se os Diagramas de Ishikawa. A Figura 12 apresenta o diagrama de Ishikawa para a falha no bico da câmara.

Figura 12- Diagrama de Ishikawa para a falha no bico



Fonte: A autora (2018).

Para todas as causas levantadas, foram realizadas avaliações se essas causas eram prováveis, improváveis ou se não foi possível realizar a verificação. O Quadro 7 apresenta a análise e a avaliação das causas consideradas como mais prováveis para a falha no bico da câmara de ar. São apresentadas as causas conforme listadas na Figura 12, a descrição de cada uma delas, a análise realizada para a verificação e a conclusão após as análises.

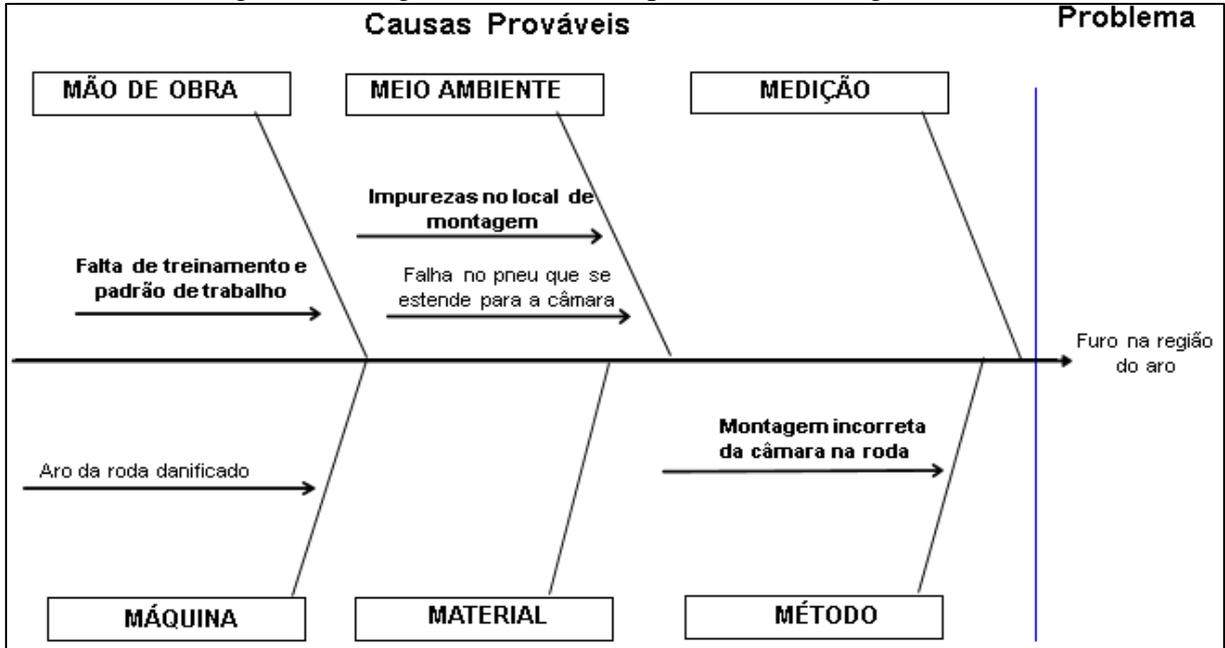
Quadro 7- Avaliação das causas para a falha no bico

	Causa	Descrição	Análise	Avaliação
Método	Montagem incorreta da câmara na roda	Desvios na montagem da câmara, fazendo com que o bico não seja encaixado corretamente e seja arrancado.	Existem desvios na montagem das câmaras nos pneus.	Provável
Medida	Pressão do pneu diferente da pressão recomendada	Inexistência de um método de alerta que identifique a pressão alta ou pressão baixa no pneu, impedindo que o operador continue trabalhando com a câmara vazia.	O operador não consegue perceber uma pressão diferente no pneu.	Provável
Máquina	Rodar com a câmara vazia	Acontece uma avaria inicial na câmara e o operador não percebe, fazendo com que ele continue trabalhando com ela vazia. A câmara se movimenta dentro do pneu e o bico é arrancado.	O operador não consegue perceber uma avaria inicial na câmara.	Provável
Mão de obra	Bico arrancado pelo borracheiro	Após receber a câmara apresentando outra falha, o borracheiro retira o bico para ser reutilizado.	Essa situação acontece na borracharia. Porém nesse caso, não é considerado falha.	Improvável
	Falta de treinamento e padrão de trabalho	Falta de treinamento do borracheiro levando à uma falta de padrão de trabalho na montagem das câmaras nos pneus.	A montagem das câmaras não possui um procedimento ou padrão específico.	Provável
Matéria prima	Baixa qualidade da borracha	As câmaras de ar utilizados são constituídas por borrachas de baixa qualidade, não suportando as condições de operação.	As câmaras de ar utilizadas são de fabricantes especializados na atividade de colheita e possuem qualidade assegurada.	Improvável
	Os pneus são do tipo <i>Tubeless</i> -próprios para trabalhar sem câmaras de ar	Os pneus utilizados são do tipo sem câmara de ar.	Todos os pneus utilizados nos equipamentos são pneus <i>Tubetype</i> - com utilização de câmaras de ar.	Improvável
Meio ambiente	Impurezas no local de trabalho	Impurezas das florestas provocando avarias nos pneus que se estendem às câmaras.	As condições de trabalho no campo não afetam a avaria na câmara conforme apresentado nos Gráficos 1 e 2. Que apresentam não haver relação entre o consumo das câmaras de ar com o local de operação (florestas de madeira regenerada e de plantio).	Improvável
	Impurezas no local de montagem	Câmaras montadas em locais inapropriados.	As impurezas, por menores que sejam, podem causar danos à câmara devido à pressão à qual ela é submetida no momento da operação.	Provável

Fonte: A autora (2018).

A Figura 13 apresenta o Diagrama de Ishikawa para a falha na região do aro das câmaras de ar. E o Quadro 8 apresenta a avaliação das causas para essa falha.

Figura 13- Diagrama de Ishikawa para a falha na região do aro



Fonte: A autora (2018).

Quadro 8- Avaliação das causas para a falha na região do aro

	Causa	Descrição	Análise	Avaliação
Método	Montagem incorreta da câmara na roda	No momento da montagem podem ocorrer danos na câmara de ar oriundos das ferramentas utilizadas.	As câmaras são montadas manualmente e as borracharias não possuem máquinas e ferramentas adequadas.	Provável
Máquina	Aro da roda danificado	A câmara é montada na roda para posteriormente serem montadas no pneu. O aro da roda pode estar danificado e causar avarias na câmara.	Caso houvesse danos na roda, as câmaras montadas apresentariam a avaria imediatamente.	Improvável
Mão de obra	Falta de treinamento e padrão de trabalho	Falta de treinamento do borracheiro levando à uma falta de padrão de trabalho.	A montagem das câmaras não possui um procedimento ou padrão específico.	Provável
Meio ambiente	Falha no pneu que se estende para a câmara	A avaria inicial ocorre no pneu, que ao perder sua forma original, permite falhas na câmara de ar.	Quando um pneu sofre avarias, elas são perceptíveis e o pneu é reparado ou trocado antes que a falha se estenda para a câmara.	Improvável
	Impurezas no local de montagem	Câmaras montadas em locais inapropriados.	As impurezas, por menores que sejam, podem causar danos à câmara devido a pressão à qual ela é submetida no momento de operação.	Provável

Fonte: A autora (2018).

A falha total da câmara pode ser considerada como um desencadeamento de uma falha inicial que não pode ser identificada. Dessa forma, para as câmaras que apresentaram falha total, as causas levantadas no Diagrama de Ishikawa foram: pressão do pneu diferente da pressão desejada e rodar com a câmara vazia, causas já apresentadas no Quadro 7.

Para finalizar a etapa de análise, foram construídas as análises da causa raiz de todas as causas avaliadas como provável utilizando-se a ferramenta 5 Porquês. O último porquê de cada causa é considerado a causa raiz. O Quadro 9 apresenta as análises.

Quadro 9 - Aplicação dos 5 porquês para as causas prováveis.

Causa	1º Porquê	2º Porquê	3º Porquê	Medidas (Temporárias e/ou futuras)
Montagem incorreta da câmara na roda	Ferramentas inadequadas, não possui máquina de desmontagem de pneus.	Custo elevado de aquisição de máquinas e ferramentas.		Investimento em máquinas e ferramentas.
Pressão do pneu diferente da pressão recomendada	Avaria inicial não percebida pelo operador.	Na maioria das vezes, as condições de operação não permitem a identificação da avaria.	Baixa luminosidade, ruídos normais do processo e inexistência de um sistema de alerta.	Implantação de um sistema de gerenciamento de pressão de pneus.
Rodar com a câmara vazia				
Falta de treinamento e padrão de trabalho	Não foi desenvolvido um procedimento padrão para as borracharias.	Não havia um trabalho estruturado nem conhecimento específico sobre câmaras de ar para desenvolvimento do procedimento.		Instrução e criação de procedimento de montagem e organização do local de trabalho. Abrangência para todas as borracharias.
Impurezas no local de montagem				

Fonte: A autora (2018).

- Elaborar o plano de ação:

A elaboração do plano de ação foi baseada nas medidas sugeridas no Quadro 6. Foi decidido entre a área de manutenção e a gerência da empresa que seria realizado o investimento em uma nova borracharia (própria da empresa) contendo todo o maquinário necessário e as ferramentas adequadas.

Além disso, foi iniciado um teste com um sistema de gerenciamento de pneus, que é configurado de acordo com a pressão recomendada pelo fabricante para os pneus (80 psi), e alerta instantaneamente sempre que a pressão está 10% menor ou maior que a pressão definida.

Outra ação realizada foi a criação de instruções e de um procedimento de trabalho que será repassado para todas as borracharias.

De maneira a manter organizado e limpo o ambiente de trabalho, e montar a câmara no pneu de maneira correta não abrindo possibilidades de ocorrência de avarias provenientes do local de montagem. O Quadro 10 apresenta a aplicação da ferramenta 5W2H utilizada para elaboração do plano de ação. Foi desconsiderada a coluna do “Quanto custa” foi desconsiderada devido ao sigilo solicitado pela empresa.

Quadro 10- Plano de ação

O quê?	Por quê?	Como?	Onde?	Quem?	Quando?	Status
Cadastro da borracharia no investimento	Montagem incorreta da câmara na roda	Investimento anual	Sistema Interno da Empresa	Equipe de Manutenção	Agosto/ 2018	Concluído. Aguardando aprovação
Instalar sensor de pressão nos pneus	Rodar com a câmara vazia e pressão diferente da pressão recomendada	Realizar testes com sensores para pneus	Um <i>forwarder</i> escolhido para o teste	Equipe de Manutenção	Dezembro/ 2018	Em andamento
Criação de instrução e procedimento de trabalho	Falta de treinamento e padrão de trabalho e impurezas no local de montagem	Criar procedimento descrevendo montagem das câmaras nos pneus	Visitas às borracharias prestadoras de serviço	Equipe de Manutenção	Agosto/ 2018	Concluído
Abrangência dos procedimentos e treinamento dos borracheiros	Falta de treinamento e padrão de trabalho e impurezas no local de montagem	Treinamento dos borracheiros	Borracharias prestadoras de serviço	Equipe de Manutenção	Até Junho/ 2019	Programado

Fonte: A autora (2018).

Devido ao fato do investimento na nova borracharia não ter sido consolidado até o momento, não foi possível verificar a ocorrência das falhas depois de adquiridos os equipamentos e maquinário específicos para esse tipo de montagem de pneus. As ações realizadas foram os testes com os sensores de pneus, que se mostraram eficazes nos pneus testados alertando sempre quando um pneu apresentava pressão diferente da pressão definida no sistema.

Porém, houve algumas dificuldades em relação à comunicação do sensor, que estão sendo estudadas visando melhor adequação às necessidades da empresa. O procedimento de

montagem de pneus também foi criado e se encontra em fase de abrangência à todas as borracharias.

O procedimento possui como título “Serviços de montagem, desmontagem e reparo em pneus e câmaras de ar nas borracharias”. Possui como objetivo padronizar e estabelecer os requisitos mínimos a serem cumpridos para as atividades de montagem, desmontagem e realização de reparos em pneus e câmaras de ar nas borracharias, de maneira a garantir a capacidade de desempenho técnico na execução das atividades.

A próxima etapa do MASP de verificação se encontra em execução e as fases seguintes de padronização e conclusão não foram finalizadas devido as ações de melhoria estarem ocorrendo no presente momento.

4.2.2 Manutenção Centrada em Confiabilidade e Análise do Modo e Efeito de Falha

Para a aplicação da ferramenta, inicialmente foram respondidas as sete questões fundamentais da Manutenção Centrada em Confiabilidade, conforme apresentadas à seguir.

1. Quais são as funções e os padrões de desempenho do item no seu contexto operacional atual? A câmara de ar é colocada nos pneus dos equipamentos para conter o fluido sobre pressão em seu interior (ar), contribuindo com a sustentação do equipamento e garantindo uma maior vida útil do pneu em caso de avarias.
2. De que forma ele falha em cumprir suas funções? Quando a câmara sofre algum tipo de avaria ou perfuração, ela perde a capacidade de conter o fluido sobre pressão em seu interior, esvazia e causa avarias também ao pneu.
3. O que causa cada falha operacional? Montagem incorreta das câmaras nos pneus, impurezas oriundas da montagem, operar com a câmara de ar vazia ou operar com o conjunto pneu e câmara de ar com pressão diferente da pressão recomendada.
4. O que acontece quando ocorre cada falha? A câmara de ar ao sofrer a avaria, murcha e diminui a pressão no interior do pneu. Ao rodar com a pressão baixa, o pneu rapidamente se desintegra. Quando uma câmara de ar sofre uma avaria, o equipamento no qual ela está contida, deve ser paralisado para a troca da câmara e conseqüentemente do pneu, perdendo aproximadamente 3 horas de produção a cada câmara avariada.
5. De que forma cada falha tem importância? As falhas são importantes uma vez que aumentam os gastos financeiramente (com novas câmaras de ar e novos pneus) e ocasiona perdas de produção.

6. O que pode ser feito para prevenir cada falha? Ações que possibilitem verificar frequentemente a pressão dos pneus e maior organização e limpeza na montagem das câmaras não permitindo a presença de impurezas.

7. O que deve ser feito, se não for encontrada uma tarefa preventiva apropriada? Caso não haja uma tarefa preventiva apropriada, deve-se buscar meios de alerta em caso de baixa pressão dos pneus, para impedir que eles continuem rodando com a câmara de ar vazia em seu interior.

Para o cumprimento da etapa 5 de implementação do MCC, é necessário a aplicação da ferramenta de suporte, o FMEA. O tipo de FMEA aplicado é o FMEA de produto que visa a análise da câmara de ar e da falha já ocorrida, a fim de encontrar suas causas. A aplicação do FMEA é apresentada na Quadro 11.

Quadro 11- Aplicação do FMEA

FMEA - Análise do Tipo e Efeito da Falha																
Código da peça: Nome da peça: Câmaras de ar Data:												() FMEA de Processo (x) FMEA de Produto () FMEA de Sistema				
Descrição do produto	Função (ões) do produto	Tipo da Falha	Efeito da falha	Causa da falha	Controles atuais	Índices				Ações de Melhoria						
						S	O	D	R	Ações recomendadas	Responsável/ Prazo	Medidas Implantadas?	Índices atuais			
													S	O	D	R
Câmaras de ar utilizadas em pneus de equipamentos florestais.	Proteger o pneu e contribuir com a sustentação do equipamento.	Bico arrancado	Parada de produção	Rodar com a câmara vazia	---	9	8	9	648	Instalar sensor de pressão nos pneus	Equipe de manutenção	Sim	9	3	1	27
				Pressão do pneu diferente da pressão recomendada	---	9	7	9	567	Instalar sensor de pressão nos pneus	Equipe de manutenção	Sim	9	3	1	27
		Avaria no aro	Parada de produção	Montagem incorreta da câmara na roda	---	9	7	7	441	Investimento em máquinas e ferramentas de montagem	Equipe de manutenção	Programada para ser realizada futuramente	9	6	3	162
				Impurezas no local de montagem	---	9	8	7	504	Auditoria periódica do local de montagem	Equipe de manutenção	Sim	9	3	2	54
				Falta de treinamento e padrão de trabalho na borracharia	---	9	7	6	378	Criação de procedimento de trabalho e treinamento dos borracheiros	Equipe de manutenção	Procedimento criado	9	3	2	54
		Avaria no talão	Parada de produção	Montagem incorreta da câmara na roda	---	9	7	7	441	Investimento em máquinas e ferramentas de montagem	Equipe de manutenção	Programada para ser realizada futuramente	9	6	3	162
		Avaria na banda de rodagem	Parada de produção	Avaria inicial ocorre no pneu e se estende para a câmara	É possível visualizar uma falha no pneu	9	4	1	36	Manter inspeção visual	Equipe de manutenção	Ação mantida	9	4	3	108
		Câmara com falha total	Parada de produção	Rodar com a câmara vazia	---	9	8	9	648	Instalar sensor de pressão nos pneus	Equipe de manutenção	Sim	9	3	1	27
				Pressão do pneu diferente da pressão desejada	---	9	7	9	567	Instalar sensor de pressão nos pneus	Equipe de manutenção	Sim	9	3	1	27

Fonte: A autora (2018)

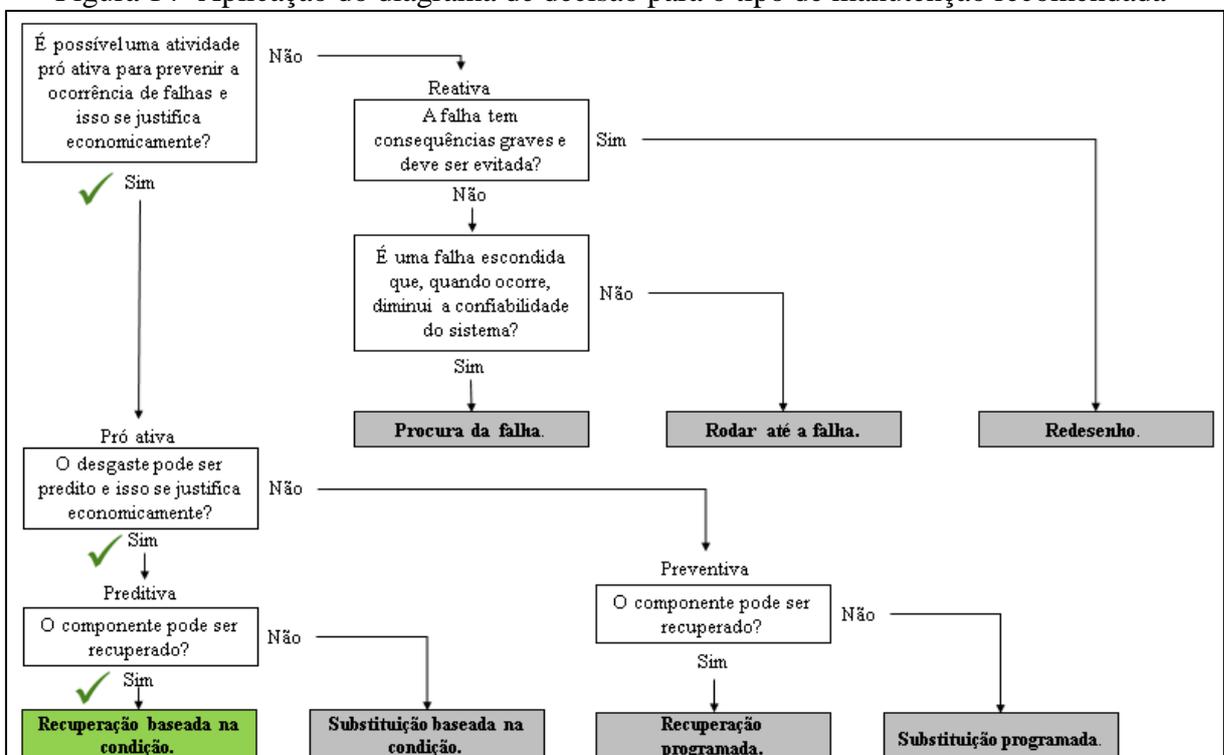
Conforme mostra o Quadro 11, as causas que possuem maiores riscos são, respectivamente, rodar com a câmara vazia e rodar com pressão diferente da pressão recomendada para o pneu. Ao implementar a ação de instalar sensores de pressão nos pneus, sempre que a pressão do pneu é alterada, o operador é alertado.

Quando isso acontece a manutenção é acionada para verificar os pneus, impedindo que o operador continue trabalhando com a câmara vazia no interior do pneu, e impedindo também que o pneu seja destruído. Outra causa que apresentou um alto risco foram as impurezas no local de montagem juntamente com a montagem incorreta da câmara no pneu. Com a criação de um procedimento de montagem e a realização de auditorias periódicas nas borracharias, esse risco também pode ser diminuído.

Para as ações programadas para serem realizadas futuramente, os valores de ocorrência, severidade, detecção e conseqüentemente o risco calculado para os índices atuais, consistiu em uma estimativa do que se espera alcançar ao finalizar a execução as ações.

Para a definição da atividade de manutenção adequada para o item e seus modos de falha, segue-se o diagrama apresentado na Figura 6. A Figura 14 apresenta o caminho percorrido no diagrama para a falha estudada.

Figura 14- Aplicação do diagrama de decisão para o tipo de manutenção recomendada



Fonte: A autora (2018).

Conforme apresentado na Figura 14, a falha pode ser prevenida, e o desgaste pode ser predito e isso se justifica financeiramente. Uma vez que as câmaras de ar são consideradas itens reparáveis, elas podem ser recuperadas. O tipo de manutenção indicada, nesse caso, é a manutenção preditiva que se dá através da atuação com base nos parâmetros de condição ou desempenho das câmaras. Elas deverão ser verificadas e recuperadas de acordo com padrões especificados pela empresa para o reparo, antes que a falha venha a ocorrer.

Finalizando a aplicação da ferramenta, a planilha de apoio à implantação do MCC foi preenchida conforme apresentado no Quadro 12. As causas fundamentais da falha foram divididas em dois grupos para o preenchimento da planilha de apoio. As causas referentes à diferença de pressão dos pneus e câmaras vazias, e as causas referentes ao ambiente de montagem e ao próprio processo de montagem das câmaras. Os índices inseridos para a severidade, ocorrência e detecção englobam os dois grupos de causas, tanto antes quanto depois da definição das tarefas apropriadas.

Quadro 12- Planilha de apoio à implantação da MCC

Número	Campo da planilha	Preenchimento
1	Sistema	Colheita de madeira e silvicultura
2	Subsistema	Equipamentos florestais
3	Conjunto	Pneus
4	Componente	Câmaras de ar
5	Função	Contribuir com a sustentação do equipamento e aumentar a vida útil do pneu.
6*	Padrão de desempenho	80 psi para pneus de equipamentos de colheita
7	Modo de falha	Avárias nos diferentes locais da câmara
8	Efeito: O que é observado	Parada de produção
9*	Tempo médio de parada	3 horas
10*	Danos pessoais/materiais/ambientais	Danos materiais e de produção
11	Causa da falha	Rodar com a câmara vazia e atividades de montagem da câmara no pneu
12*	O que pode ser feito para evitar a falha	Sistema de alerta de pressão de pneu e mudanças na montagem das câmaras
13*	Classificação da consequência da falha Escondida (potencialmente crítica) Segurança (crítica) Ambiental (crítica) Operacional (crítica) Outra (não crítica)	Falha operacional
14	Probabilidade de ocorrência	8
15	Severidade	9
16	Probabilidade de detecção	9
17	Risco	648
18*	Tarefa indicada: Preditiva - Recuperação baseada na condição Preditiva - Substituição baseada na condição Preventiva - Recuperação programada Preventiva - Substituição programada Reativa - Rodar até a falha Reativa - Procura de falha Redesenho	Preditiva - Recuperação baseada na condição
19*	Detalhe da tarefa	Avaliar periodicamente a condição da câmara para que ela seja reparada antes da ocorrência da falha.
20*	Responsável pela tarefa	Equipe de manutenção
21*	Intervalo entre tarefas	A definir pela equipe de manutenção
22	Probabilidade de ocorrência	3
23	Severidade	9
24	Probabilidade de detecção	2
25	Risco	54

Fonte: A autora (2018).

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A aplicação da ferramenta MASP na falha analisada seguindo-se o ciclo PDCA permitiu uma análise aprofundada do problema seguindo-se todas as etapas propostas para a análise. As fases iniciais de identificação, histórico do problema, juntamente com a definição das perdas atuais e possíveis ganhos permitiram uma comparação entre a situação atual e a situação desejada após a aplicação da ferramenta. O histórico do problema mostra de maneira quantitativa as consequências provocadas pelas falhas no processo produtivo.

Possuindo etapas específicas para a observação e análise do problema, a ferramenta MASP permitiu avaliar todas as situações que poderiam levar à causa fundamental da falha. Ao englobar a utilização de ferramentas da qualidade em sua execução, o MASP proporciona a verificação da veracidade das hipóteses levantadas nos diversos ambientes observados.

Após a fase de análise, ao verificar todas as câmaras, a utilização das ferramentas da qualidade permitiu também, chegar às causas raízes da falha. Após a priorização das causas e a classificação das causas como prováveis e improváveis, o método possibilitou a criação de um plano de ação estruturado para o tratamento da falha como forma de impedir a sua recorrência.

Apesar de a ferramenta não ter sido aplicada em sua totalidade, se comprovada a eficácia das ações de melhoria na redução da ocorrência da falha e conseqüentemente na redução dos gastos, o MASP permite a padronização das ações a fim de manter os resultados alcançados na análise.

O MCC por sua vez, possui como forma de investigação da causa raiz da falha, as sete perguntas fundamentais que visam analisar o comportamento e a abrangência da falha, buscando a sugestão de ações preventivas e levantamento das possíveis ações corretivas. A utilização do FMEA permite quantificar e priorizar as causas de falhas através do risco calculado para cada causa, e após a implantação das ações de melhoria, recalculando os riscos a fim de verificar a eficácia das ações.

A utilização do diagrama de decisão permite identificar o tipo de manutenção indicada para a falha que está sendo estudada, o que não ocorre na aplicação da ferramenta MASP, uma vez que esta analisa as falhas com foco na gestão da qualidade do processo. O Quadro 13 apresenta uma síntese dos itens discutidos e considerados na comparação das duas ferramentas.

Quadro 13- Comparação entre as ferramentas aplicadas

Item/Ferramenta	MASP	MCC
Nível de detalhamento da análise	Maior	Menor
Considera atividades de manutenção para o componente analisado	Não	Sim
Permitiu identificar todas as causas raízes da falha	Sim	Sim
Possibilitou a priorização das causas	Sim	Sim
Permitiu a criação de um plano de ação	Sim	Sim
Permitiu a verificação da eficácia do plano de ação	Sim	Sim
Análise quantitativa da ocorrência e ações de detecção da falha	Não	Sim
Levantamento das ações de prevenção e detecção já existentes	Não	Sim
Quantificação do volume de produção perdido com a falha	Sim	Não
Uso de ferramentas complementares na realização da análise	Sim	Sim
Enfoque da Ferramenta	Gestão da Qualidade	Manutenção

Fonte: A autora (2018).

Analisando-se o Quadro 13 pode-se perceber uma semelhança nas soluções geradas através da aplicação das duas ferramentas. A maior diferença entre elas está no fato de que possuem enfoques distintos e, apesar de ambas terem gerado conclusões semelhantes, as soluções geradas por cada uma são voltadas para disciplinas diferentes de uma mesma falha.

6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Diante do exposto, pode-se observar que a aplicação das ferramentas MASP e MCC na análise das falhas das câmaras de ar mostraram-se eficazes neste trabalho. Considerando-se o objetivo inicial que consistiu em encontrar a causa raiz da falha, ambas as ferramentas possibilitaram o levantamento das causas fundamentais.

Pode-se concluir que a falha analisada não possui apenas uma causa raiz, tendo suas causas principais divididas em dois grupos: o primeiro relacionado às condições das borracharias e à montagem das câmaras nos pneus, e o outro grupo referente à pressão inadequada dos pneus e das câmaras. As pequenas impurezas do ambiente de montagem e a falta de padrão na realização de tal atividade, fazem com que a câmara sofra avarias ao ser submetida ao peso do equipamento no momento da operação. Além disso, a pressão inadequada das câmaras de ar faz com que elas esvaziem no interior do pneu, sofrendo avarias e estendendo as avarias para o pneu.

Para a determinação da melhor ferramenta na análise desta falha, pode-se observar que as duas ferramentas contribuíram de maneira positiva e significativa no alcance dos objetivos iniciais. Apesar disso, elas possuem enfoques diferentes e devem ser consideradas de modo distinto.

A ferramenta MASP possui como foco a análise aprofundada do problema, utilizando-se de várias ferramentas da gestão da qualidade. A MCC por sua vez, além de permitir a descoberta das causas da falha, é orientada através das questões da manutenção, sendo utilizada nos casos onde há a necessidade de descobrir a atividade de manutenção adequada para evitar a recorrência da falha.

A ferramenta MASP mostrou-se mais detalhada na análise, o que é necessário visto que consiste em uma falha de grande complexidade, com várias situações a serem consideradas e analisadas. Uma vez que o trabalho foi realizado no departamento de manutenção florestal da empresa, é fundamental que se considere questões a respeito das atividades de manutenção recomendadas. As ações para minimização da falha devem conter tanto atividades para a melhoria da qualidade do processo de montagem e operação das câmaras de ar, quanto atividades de manutenção de forma a diminuir a ocorrência da falha.

Dessa maneira, para o caso desta falha verificou-se a viabilidade da utilização conjunta das duas ferramentas, uma vez que elas possuem o mesmo objetivo, porém possuem focos distintos. Isso pode permitir uma complementação da análise, garantindo que sejam considerados questões de qualidade e manutenção do processo. Para uma análise mais detalhada

da falha, recomenda-se a utilização do MASP em um primeiro momento para, em seguida, proceder com a aplicação do MCC a fim de concluir a exploração da falha e inserir as questões de manutenção na análise.

A limitação deste estudo se deu devido ao tempo limitado que não permitiu a conclusão da aplicação da ferramenta MASP, não permitindo verificar a eficácia das ações de melhoria propostas. Como continuidade deste trabalho, recomenda-se finalizar o primeiro ciclo do PDCA, concluindo as etapas seguintes de verificação, padronização e conclusão da análise. Buscando concluir as ações de melhoria em andamento e iniciar as ações pendentes. Recomenda-se um estudo de melhoria na utilização dos sensores de pneus para que eles estejam totalmente adequados à necessidade da empresa e, posteriormente, seja realizado o investimento nos sensores para todos os equipamentos da frota da empresa.

Para o procedimento de montagem das câmaras nos pneus, o próximo passo é a realização do treinamento dos borracheiros e a reciclagem periódica dos mesmos. É indicado também, a criação de um plano de manutenção preditiva para as câmaras de ar, a fim de reduzir a quantidade de manutenções corretivas.

Dessa forma, depois de concluídas as ações elencadas no plano de ação, pode-se analisar os relatórios de custo da empresa com o objetivo de compará-los aos relatórios iniciais utilizados neste trabalho, verificando se as ações provocaram a redução dos valores gastos. Caso isso seja confirmado, as ações poderão ser padronizadas pela empresa e a aplicação das ferramentas poderão ser tomadas como concluídas. É necessário ressaltar, porém, a importância de periodicamente reiniciar o ciclo PDCA visando sempre a melhoria contínua do processo.

REFERÊNCIAS

- A HORA DA PESQUISA. **Revista B.FOREST**, Curitiba, ed. 31, ano 04, n. 04, abril, 2017. Disponível em: <<https://revistabforest.com.br/wp-content/uploads/2017/04/B.Forest-edi%C3%A7%C3%A3o-31-abril-2017.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2018.
- AFONSO, Luiz O. A. Análise de falhas de máquinas rotativas – alguns pontos importantes. Trabalho apresentado a 6ª Conferência sobre Tecnologia de Equipamentos – COTEQ, 2002. Disponível em: <<http://www.aaende.org.ar/ingles/sitio/biblioteca/material/PDF/COTE002.PDF>>. Acesso em: 24 abr. 2018.
- ALCIDES, Felipe R. **Aspectos que influenciam o planejamento nas empresas florestais**. 2013. 56 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal)– Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2013. Disponível em: <<http://www.locus.ufv.br/bitstream/handle/123456789/3145/texto%20completo.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 24 maio 2018.
- ALTOÉ, Fábio E. **História e evolução da colheita florestal no Brasil**. 2008. 51 f. Monografia (Engenharia Florestal)– Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008. Disponível em: <http://www.if.ufrj.br/inst/monografia/Fabio_Esposito_Altoe.pdf>. Acesso em 24 maio 2018.
- ALVAREZ, **Métodos de identificação, análise e solução de problemas: uma análise comparativa**. Instituto Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Paraná - IBQP-PR, 2000. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep1997_t1109.pdf>. Acesso em: 26 maio 2018.
- AMORIM, João P. N. de; OLIVEIRA, Luciana P. de; MEDIONDO, Roberta. **Fatores que influenciam na gestão da manutenção: Estudo sobre uma empresa de TV a cabo e internet banda larga**. Trabalho apresentado ao Congresso Nacional de Excelência em Gestão, ago. 2014. Disponível em: <<http://www.inovarse.org/node/2144>> Acesso em: 15 mar. 2018.
- ARANTES, Antônio C. **Mecanismo de redução de energia assegurada e o seu impacto no planejamento e organização da engenharia de manutenção da geração**. 2010. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica)– Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <<http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUOS-8SJRFP>>. Acesso em: 24 abr. 2018.
- ABRAMAN. **Situação da manutenção no Brasil** – Documento Nacional. Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/sidebar/documento-nacional>>. Acesso em: 24 abr. 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15557: câmaras de ar para pneus- Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2014.

AUTOSTART. As diferenças de um pneu com câmara e um sem câmara. 2015. Disponível em: <<http://www.autostart.com.br/dicas/diferencas-pneu-camara-sem-camara/>>. Acesso em: 26 maio 2018

AZEVEDO, Andressa A. de. *et al.* Avaliação do processo de manutenção de equipamentos logísticos. **Revista Contribuciones a las Ciencias Sociales**, Málaga, jul./set., 2017. Disponível em: <<http://www.eumed.net/rev/cccsc/2017/03/empilhadeiras-transpaleteiras-eletricas.html>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

BANDO, Fernando M. **Análise Fuzzy de árvore de falhas na gestão de segurança de barragens** – Bloco D38 da Barragem de Itaipu. 2016. 148 f. Tese (Doutorado)–Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/44828/R%20%20T%20%20FERNANDO%20MUCIO%20BANDO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

BARBOSA, Alessandra da C. **Aplicação da Manutenção Centrada em Confiabilidade na função transmissão a fim de reduzir o tempo de indisponibilidade**. 2009. 66 f. Monografia (Engenharia Elétrica)- Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009. Disponível em: <http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10000970.pdf>>. Acesso em: 18 set. 2018.

BERTOLLO, Jair J. **Análise de falhas no processo de produção de transformadores a óleo**. 2017. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica)– Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2017. Disponível em: <<http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/4535>>. Acesso em: 26 maio 2018.

BINKOWSKI, Patrícia. **Conflitos ambientais e significados sociais em torno da expansão da silvicultura de eucalipto na “metade sul” do Rio Grande do Sul**. 2009. 211 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Rural)– Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/22662/000733797.pdf?sequence=1>>Acesso em: 23 maio 2018.

BRAIDOTTI JUNIOR, José W. **A falha não é uma opção**. Trabalho apresentado ao 26º Congresso Brasileiro de Manutenção, Curitiba, 2011. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/Arquivos/192/192.pdf>>. Acesso em: 24 abr. 2018.

CAMPOS, Delmar N. O cenário atual e as práticas de gestão necessárias nas atividades de manutenção. **Revista de Administração & Ciências Contábeis**, Belo Horizonte, v. 2, n. 1, 2011. Disponível em: <<http://periodicos.redebatista.edu.br/index.php/ADMCC/article/view/20>>. Acesso em: 23 maio 2018.

CAMPOS, Delmar N. Análise de falhas operacionais: uma fraqueza a ser enfrentada na gestão operacional das empresas? **Revista de Administração & Ciências Contábeis**, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, 2013. Disponível em: <<http://periodicos.redebatista.edu.br/index.php/ADMCC/article/view/43>> Acesso em: 15 mar. 2018

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. **Administração de produção e operações: manufatura e serviços: uma abordagem estratégica**. 3 ed. São Paulo: Atlas, 2012.

DARIO, Marcos *et al.* Indicadores de desempenho, práticas e custos da manutenção na gestão de pneus de uma empresa de transporte. **Revista Produção Online**, Florianópolis, v.14, n. 4, p.1235-1269, out./dez., 2014. Disponível em: <<https://producaoonline.org.br/rpo/article/view/1450/1212>>. Acesso em: 23 maio 2018.

DINIZ, Carlos C. C. **Aplicação do *World Class Maintenance* (WCM) na manutenção de máquinas de colheita da madeira**. 2016. 97 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)– Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati, 2016. Disponível em: <<https://www2.unicentro.br/ppgf/files/2017/04/Disserta%C3%A7%C3%A3o-Carlos-C%C3%A9zar-Cavassin-Diniz.pdf?x76404>>. Acesso em: 24 maio 2018.

FERNANDES, Haroldo. **Colheita Florestal**. Apostila: Departamento de Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <ftp://ftp.ufv.br/dea/ Disciplinas/ Haroldo/ENG337/Apostila_Colheita_Florestal.pdf>. Acesso em: 09 jun. 2018.

FERTUZINHOS, João C. M. **Aplicação da metodologia de Manutenção numa empresa metalomecânica**. 2013. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)– Universidade do Minho Escola de Engenharia, Braga, 2013. Disponível em: <<http://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/28190>>. Acesso em: 24 maio 2018.

FISCHER, Augusto; ZYLBERSZTAJN, Décio. O fomento florestal como alternativa de suprimento de matéria-prima na indústria brasileira de celulose. **Revista Eletrônica de Administração**, Porto Alegre, ed. 72, n. 2, p. 494-520, maio/agosto, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/read/v18n2/a08v18n2.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2018.

FOGLIATTO, Flávio S.; RIBEIRO, José L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

FONSECA, João J. S. da, **Metodologia da pesquisa científica**. Apostila UECE, Fortaleza, 2002. Disponível em: <http://leg.ufpi.br/subsiteFiles/lapnex/arquivos/files/Apostila_-_METODOLOGIA_DA_PESQUISA%281%29.pdf>. Acesso em: 24 maio 2018.

FRANÇA JUNIOR, Marcio B. **Análise de falhas e planejamento da manutenção de motores a diesel na geração de energia**. 2014. 117 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica)– Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10012611.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2018.

FREITAS, Karla E. de. Colheita Florestal. **Revista da Madeira**, Caxias do Sul, n. 112, abril, 2008. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1243&subject=Colheita>. Acesso em: 24 maio 2018.

GERHARDT, Tatiana E.; SILVEIRA, Denise T. **Métodos de Pesquisa**. Apostila UAB/UFRGS, Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2018.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4 ed, São Paulo: Atlas, 2002.

GOBBI, Almir J. D. **Reaproveitamento de pneus inservíveis como fonte de energia e matéria-prima**. 2002. 67 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)– Universidade

do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. Disponível em:
<http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2002/AlmirJDGobbi_2002.pdf>. Acesso em: 26 maio 2018.

GONÇALVES, Alécio F. **A colheita florestal do século XXI** “Foco nas novas estruturas e tecnologias aplicadas à colheita mecanizada de corte raso de eucalipto”. 2008. 45 f. Monografia (Pós Graduação em Gestão Florestal)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/33383/TCC%20-%20Alecio%20Ferreira%20_Colheita%20Florestal%20do%20Seculo%20XXI_.pdf?sequence=1>. Acesso em 24 maio 2018.

GOODYEAR. **Definição e função do pneu**. Boletim de Orientação Técnica. Ano 1, n. 1, julho 2010. Disponível em: <<http://files.lojacarecapneus.webnode.com.br/200000020-2e7c02ec2e/ORIENTA%C3%87%C3%83O%20T%C3%89CNICA.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2018.

GOODYEAR. **Câmaras de ar**. Boletim de Orientação Técnica. Ano 1, n. 1, julho, 2010. Disponível em: <<http://files.lojacarecapneus.webnode.com.br/200000020-2e7c02ec2e/ORIENTA%C3%87%C3%83O%20T%C3%89CNICA.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2018.

IBÁ. **Celulose**. 2015. Disponível em: <<http://iba.org/pt/produtos/celulose>>. Acesso em: 24 maio 2018.

IBÁ. **Relatório 2017**. Disponível em:
<http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf>. Acesso em: 24 maio 2018.

INGOPNEUS. **Estrutura de pneus em geral**. 2013. Disponível em:
<<http://ingopneus.com.br/blog/estrutura-de-pneus-em-geral/>>. Acesso em: 26 maio 2018.

KARDEC, Alan; NASCIF, Julio. **Manutenção Função Estratégica**. 4 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2013.

LAURENTI, Rafael; ROZENFELD, Henrique; FRANIECK, Erwin K. Avaliação da aplicação dos métodos FMEA e DRBFM no processo de desenvolvimento de produtos em uma empresa de autopeças. **Revista Gestão & Produção**, São Carlos, v. 19, n. 4, p. 841-855, 2012. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/gp/v19n4/a13v19n4.pdf>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

LEÃO, Natália S. M. de S.; ANDRADE, Jairo J. de O. Aplicação da FMEA e análise de falhas em um equipamento de trafilagem para estabelecimento de estratégias de manutenção: estudo de caso. *Revista Espacios*, Caracas, v. 36, n. 08, 2015. Disponível em:
<<http://www.revistaespacios.com/a15v36n08/15360801.html>>. Acesso em: 24 maio 2018.

LEMO, Mateus A.; ALBERNAZ, Cláudia M. R. M.; CARVALHO, Rogério A de. **Qualidade na manutenção**. Trabalho apresentado ao XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Belo Horizonte, outubro, 2011. Disponível em:
<http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_sto_135_859_18052.pdf>. Acesso em: 27 outubro 2018.

MACHADO, Simone S. **Gestão da Qualidade**. Inhumas: IFG; Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2012. Disponível em: <http://redeetec.mec.gov.br/images/stories/pdf/eixo_prd_industr/tec_acucar_alcool/161012_gest_qual.pdf>. Acesso em: 18 set. 2018.

MARCONI, Marina de A.; LAKATOS, Eva M. **Metodologia científica**. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2017.

MARINS, Matheus A. **Classificação de falhas em Máquinas Rotativas utilizando Métodos de Similaridade e Random Forest**. 2016. 52 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Eletrônica e de Computação)– Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016. Disponível em: <<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10018526.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2018.

MARTINS, Petrônio G.; LAUGENI, Fernando P. **Administração da Produção**. 2 ed. São Paulo: Saraiva, 2006.

MENDES, Ronaldo. Pneus agrícolas – “para durar mais”, **Revista Rural**, São Paulo, n. 147, maio 2010. Disponível em: <<http://www.revistarural.com.br/component/content/article/445-revista-147-maio/1204-pneus-agricola-para-durar-mais>>. Acesso em: 30 maio 2018.

MENEZES, Felipe M. **MASP Metodologia de Análise e Solução de Problemas**. Apostila: Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial. Porto Alegre, 2013. Disponível em: <http://www.abdi.com.br/Acao%20Documento%20Legislacao/Apostila%20MASP_PORTUGU%C3%8AS.pdf>. Acesso em: 26 maio 2018.

MOURA, André L. de M. **Planejamento anual otimizado de atividades silviculturais com restrição de recursos e múltiplos modos de execução**. 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal)– Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013. Disponível em: <<http://repositorio.ufla.br/handle/1/882>>. Acesso em: 26 abr. 2018.

OLIVEIRA, José C. S.; SILVA, Aluísio P. Análise de indicadores de qualidade e produtividade da manutenção nas indústrias brasileiras. **GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, ano 8, n. 3, p. 53-69, jul-set, 2013. Disponível em: <revista.feb.unesp.br/index.php/gepros/article/download/1021/501>. Acesso em: 26 maio 2018.

OPPS MECÂNICA & SERVIÇOS. **5 ladrões de quilometragem do seu pneu**. Disponível em: <<http://oppsmecanica.com.br/5-ladros-de-quilometragem-do-seu-pneu/>>. Acesso em: 26 maio 2018.

OZELIM, Renan de P. **Sistema de Informação aplicado à Gestão de Manutenção: um estudo de caso sobre a implantação do planejamento da manutenção**. 2017. 55 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Produção)– Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/7808>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

PACCOLA, José E. **Manutenção e operação de equipamentos móveis**. São José dos Campos: JAC, 2011.

PASQUINI, Nilton C. Eliminação do custo da não qualidade. **Revista Qualidade Emergente**, Curitiba, v. 5, n.1, pp 45-58, 2013. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/qualidade/article/download/34713/21519>>. Acesso em: 26 maio 2018.

PEDROSA, Bruno M. M. **Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos (FMEA) aplicada a um Secador Industrial**. 2014. 88 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)– Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, Lisboa, 2014. Disponível em: <<https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/4151/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2018.

PEREIRA, André L. N.; LOPES, Eduardo da S.; DIAS, Andrea N. Análise técnica e de custo do Feller Buncher e Skidder na colheita de madeira em diferentes produtividades do povoamento. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v.25, n. 4, pp 981-989, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5902/1980509820659>>. Acesso em: 26 maio 2018.

QUALIDADE SOB CONTROLE. **Revista B.FOREST**, Curitiba, ed.14, ano 02, n.11, novembro, 2015. Disponível em: <<https://revistabforest.com.br/2015/11/b-forest-a-revista-eletronica-do-setor-florestal-edicao-14-ano-02-n-11-2015/>>. Acesso em: 26 maio 2018.

REIS, Luiz O. R.; ANDRADE, Jairo J. de O. **Análise de falhas e da posição na curva da banheira de moldes empregados em equipamentos de injeção**. Trabalho apresentado ao XXIX Encontro Nacional de Engenharia de Produção (ENEGEP). Salvador, outubro, 2009. Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2009_TN_STO_092_626_14075.pdf>. Acesso em: 26 maio 2018.

ROCHA, Mislene B. **Fatores e Riscos ergonômicos na colheita florestal mecanizada**. 2016. 43 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)– Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2016. Disponível em: <<http://www2.uesb.br/ppg/ppgciflor/wp-content/uploads/2017/09/Mislene-Barbosa-Rocha.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2018.

ROMERO, Camila M. **Análise Estatística e avaliativa do processo de manutenção mecânica em uma empresa de transporte público por ônibus**. 2011. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)– Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2011. Disponível em: <http://uenf.br/Uenf/Downloads/POS-ENGPRODUCAO_2397_1343747116.pdf>. Acesso em: 26 maio 2018.

SAMPIETRO, Jean A. *et al.* Análise da qualidade de operações mecanizadas de colheita em corte raso de povoamentos de pinus. In: IX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS FLORESTAIS, 9., 2016, Guarapari. **Anais...** Guarapari: UFES, 2016. p. 565-569. Disponível em: <<http://www.cienciasflorestais.ufes.br/sites/cienciasflorestais.ufes.br/files/field/anexo/livro.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2018.

SANCHES, Nathan S. **Colheita Florestal – história e os sistemas de colheita**. Colheita de Madeira Mídia especializada em operações florestais, 2014. Disponível em: <https://colheitademadeira.com.br/noticias/colheita_florestal__historia_e_os_sistemas_de_colheita/>. Acesso em: 26 maio 2018.

SANTOS, Diego W. F. do N. **Análise técnico-econômico de sistemas de colheita: toras curtas e toras longas sob métodos mecanizado e semimecanizado**. 2014. 48 f. Trabalho de

Conclusão de Curso (Engenharia Florestal)– Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2014. Disponível em: <<http://www.repositoriodigital.ufrb.edu.br/bitstream/123456789/923/1/TCC%20-%20Engenharia%20Florestal%20-%20DIEGO%20WESLLY%20FERREIRA%20DO%20NASCIMENTO%20SANTOS.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2018.

SCHMITT, José C. **Método de Análise de Falha utilizando a integração das ferramentas DMAIC, RCA, FTA e FMEA**. 2013. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)– Universidade Metodista de Piracicaba, Santa Bárbara d'Oeste, 2013. Disponível em: <https://www.unimep.br/phpg/bibdig/pdfs/docs/17092013_144838_joseschimitt.pdf>. Acesso em: 26 maio 2018.

SIMEI, Luís C. **A Manutenção Centrada na Confiabilidade como ferramenta de planejamento de manutenção de equipamentos móveis pesados**. Trabalho apresentado ao III Congresso Internacional de Ciência, Tecnologia e Desenvolvimento, 2014. Disponível em: <http://www.unitau.br/files/arquivos/category_154/MCE0119_1427378225.pdf>. Acesso em: 15 mar. 2018

SIQUEIRA, Iony P. de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**: manual de implementação. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da Produção**. 3 ed. São Paulo: Editora Atlas, 2009.

SOEIRO, Valdenir M. N. **Manutenção de máquinas florestais na colheita mecanizada: a busca para obter a melhor disponibilidade mecânica**. 2012. 49 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Gestão Florestal)– Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012. Disponível em: <<https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/44601/R%20-%20E%20-%20VALDENIR%20MANOEL%20NUNES%20SOEIRO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 26 maio 2018.

SOUZA, José B. de. **Alinhamento das estratégias do Planejamento e Controle da Manutenção (PCM) com as finalidades e funções do Planejamento e Controle da Produção (PCP): uma abordagem analítica**. 2008. 167 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)– Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2008. Disponível em: <<http://www.pg.utfpr.edu.br/dirppg/ppgep/dissertacoes/arquivos/100/Dissertacao.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2018.

SUA OFICINA ONLINE. **Revisão dos pneus**. 2017. Disponível em: <<https://suaoficinaonline.com.br/conteudo/revisao-pneus/>>. Acesso em: 02 nov. 2018.

TOLEDO, José C. de; AMARAL, Daniel C. **FMEA-Análise do Tipo e Efeito de falha**. Apostila: Grupo de Estudos e Pesquisa em Qualidade – UFSCar, 2006. Disponível em: <<http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2018.

VONDER. **Câmara de ar 3,50 x 8"**. Disponível em: <http://www.vonder.com.br/produto/camara_de_ar_350_x_8_vonder/5807>. Acesso em: 26 maio 2018.