

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
ÁREA DO CONHECIMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E ENGENHARIAS

DAVID DOMUCI JUNIOR

**APLICAÇÃO DE FMEA PARA RESOLVER PROBLEMA DE DISPONIBILIDADE
DE MÁQUINAS**

CAXIAS DO SUL

2023

DAVID DOMUCI JUNIOR

**APLICAÇÃO DE FMEA PARA RESOLVER PROBLEMA DE DISPONIBILIDADE
DE MÁQUINAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador Prof. Me. Elton Fabro

CAXIAS DO SUL

2023

DAVID DOMUCI JUNIOR

**APLICAÇÃO DE FMEA PARA RESOLVER PROBLEMA DE DISPONIBILIDADE
DE MÁQUINAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul, como requisito parcial à obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador Prof. Me. Elton Fabro

Aprovado em 12 de julho de 2023.

Banca Examinadora

Prof. Me. Elton Fabro
Universidade de Caxias do Sul

Prof. Dr. Alexandre Vieceli
Universidade de Caxias do Sul

Prof Esp. Rafael Tronca
Universidade de Caxias do Sul

RESUMO

Este trabalho propõe a utilização da ferramenta FMEA em um equipamento de carregamento e transporte de eucalipto, com o objetivo de aumentar a disponibilidade e reduzir custo de manutenção. Foi efetuada uma revisão bibliográfica a respeito do assunto para fundamentar as ações a serem implementadas objetivando a diminuição de paradas para manutenções corretivas não planejadas. Após a seleção desta máquina através de critérios, foi elaborado uma sistemática para atingir o objetivo diante das particularidades deste equipamento. Melhorias no sistema de transmissão e planos de preventiva e preditiva foram desenvolvidos para esta máquina. Para monitorar o desempenho destas ações, indicadores de manutenção como MTBF, MTTR e disponibilidade foram implementados e trouxeram bons resultados.

Palavras-chave: Manutenção de máquina de carregamento e transporte de eucalipto. Planos de manutenção preventiva. Indicadores de manutenção.

ABSTRACT

This work proposes the use of the FMEA tool in a Eucalyptus loading and transport equipment, with the objective of increasing availability and reducing maintenance costs. A literature review was carried out on the subject to support the actions to be implemented in order to reduce downtime for unplanned corrective maintenance. After the selection of this machine through criteria, a systematic was elaborated to reach the objective considering the particularities of this equipment. Improvements in the transmission system and preventive and predictive plans were developed for this equipment. To monitor the performance of these actions, maintenance indicators such as MTBF, MTTR and availability were implemented.

Keywords: Maintenance of Eucalyptus loading and transport machine. Preventive maintenance plans. Maintenance indicators.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1 – Unidade Suzano Imperatriz MA	12
Figura 2 – Fazenda de Eucalipto (Carregamento)	13
Figura 3 – Equipamento de Transporte da Matéria Prima (Ouro Verde)	13
Figura 4 – Modelos de Equipamentos	23
Figura 5 – Fluxo de Manutenção	24
Figura 6 – Pirâmide de Aplicação	25
Figura 7– Indicadores de Manutenção	27
Figura 8 – Etapas do FMEA	28
Figura 9 – Análise do Modo e Efeito das Falhas.....	28
Figura 10 – Custo por Modelo 2022.....	30
Figura 11 – Custo por Placa de Equipamento.....	31
Figura 12 – Disponibilidade.....	31
Figura 13 – Custo por Ordem de Serviço.....	32
Figura 14 – Custo de Manutenção Pá Carregadeira.....	32
Figura 15 – Custo por Item.....	33
Figura 16 – Custo por Fornecedor.....	33
Figura 17 – Tabela de Indicadores.....	34
Figura 18 – Tabela FMEA.....	35
Figura 19 – Pá Carregadeira Jhon Deere.....	36
Figura 20 – Eixo da Transmissão com Sistema de Trocador de Calor.....	37
Figura 21 – Trocador de Calor de Fluído de Transmissão.....	37
Figura 22 – Tabela FMEA Preenchida.....	38
Figura 23 – Resultado da Análise de Fluído da Transmissão.....	39

LISTA DE QUADRO

Quadro 1 – Processos para aplicação do FMEA	25
---	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i> (Análise dos Modos de Falha e seus efeitos)
MTBF	<i>Mean Time Between Failures</i> (Tempo Médio Entre Falhas)
MTTR	<i>Mean Time To Repair</i> (Tempo Médio de Reparo)
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> (Manutenção Produtiva Total)
PA	<i>Produto acabado</i>
MP	<i>Matéria prima</i>
OS	<i>Ordem de serviço</i>
NPR	<i>Nível de prioridade e risco.</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	AMBIENTE DO TRABALHO	12
1.2	JUSTIFICATIVA	14
1.3	OBJETIVOS	15
1.3.1	Objetivo geral.....	15
1.3.2	Objetivos específicos	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1	GESTÃO DA MANUTENÇÃO	16
2.1.1	Manutenção	16
2.1.2	Métodos de manutenção	17
2.1.3	Manutenção periódica	18
2.1.4	Manutenção por Melhorias.....	18
2.1.5	Gestão de materiais.....	19
2.1.6	Gestão de equipe	20
2.1.7	Principais indicadores	20
2.2	A IMPORTÂNCIA DOS EQUIPAMENTOS NA LOGÍSTICA DA INDÚSTRIA DE CELULOSE	22
3	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	23
3.1	CENÁRIO ATUAL.....	23
3.1.1	Estrutura de Manutenção	24
3.1.2	Gerenciamento da manutenção	24
3.1.3	Indicadores de manutenção	26
3.2	PROPOSTA DE TRABALHO.....	27
3.2.1	Etapas para aplicação do FMEA.....	27
4	RESULTADOS.....	30
4.1	DEFINIR MÁQUINA GARGALO	30
4.2	COLETAR DADOS DE MANUTENÇÃO	31
4.3	PADRONIZAÇÃO DOS DADOS DE MANUTENÇÃO	34
4.4	DETERMINAR OS MODOS DE FALHAS	35

	10
4.5 REALIZAR A AVALIAÇÃO E PRIORIZAÇÃO DOS RISCOS	35
4.6 SUGERIR AÇÕES E RESULTADOS POSSÍVEIS.....	36
4.7 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	38
5 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS	40

1 INTRODUÇÃO

O cenário atual da indústria de celulose no Brasil continua representativo e de suma importância para a economia nacional. Isso ocorre, entre outras razões, pela adequada condição climática do país, baixo custo no processo produtivo e pelos elevados investimentos realizados pela indústria em tecnologia para o setor.

Segundo dados da Indústria Brasileira de Árvores (IBÁ, 2021), em 2020 o Brasil ocupava o segundo lugar no ranking de maiores produtores de celulose, representando 11,3% da produção mundial, e o primeiro no ranking de maiores exportadores da matéria prima, com 22,8% da produção total.

Esse crescimento é demonstrado, inclusive, pelo aumento das plantações de eucalipto nas mais diversas regiões do país. Oliveira (2019) destaca, nesse contexto, a porção da Amazônia Legal maranhense utilizada para a implantação de grandes projetos agroexportadores, promovidos por políticas econômicas de industrialização, como é o caso da unidade fabril da Suzano Papel e Celulose no município de Imperatriz, no Maranhão, que teve início em 2009.

O fluxo da cadeia produtiva, desde a plantação da matéria prima, colheita, carregamento, transporte até a sede das indústrias de celulose, envolve particularidades que devem ser consideradas no processo de manutenção, a fim de melhorar a disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos. Importante ferramenta para alcançar esse objetivo é a correta gestão dos equipamentos, pois no ambiente altamente competitivo das indústrias, sua eficiência pode trazer vantagens quando comparado às concorrentes (TADEU, 2010).

A manutenção feita de forma adequada e eficaz, possibilita uma rápida reparação, além da prevenção de novas paradas causadas por falhas nos equipamentos (KARDEC E NASCIF, 2009).

Através da análise de indicadores de MTBF (*Mean Time Between Failures*) – tempo médio entre falhas – e MTTR (*Mean Time to Repair*) – tempo médio de reparo, o presente trabalho busca implantar a ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) – Análise de Modo e Efeito de Falha – para a gestão da manutenção dos equipamentos de uma operação de carregamento e transporte ligada à indústria de celulose, considerando o cenário de áreas remotas no norte do país.

Essa ferramenta irá atuar no tratamento dos modos de falhas, mapeando ocorrências anteriores e recorrentes, possibilitando a criação de estratégias de manutenção que irão garantir a confiabilidade e disponibilidade operacional.

Assim, no primeiro capítulo, será apresentada a introdução, justificativa do trabalho, além do contexto geral sobre o projeto proposto e delimitação dos objetivos. No segundo capítulo será abordado, com base em referencial teórico, o conteúdo que formará o embasamento para desenvolver o trabalho proposto.

No capítulo seguinte, será apresentado o resultado obtido após a implementação da ferramenta FMEA, especialmente quanto à evolução dos indicadores de manutenção voltados a aumentar o tempo médio entre falhas e, conseqüentemente, a disponibilidade dos equipamentos dedicados ao carregamento e transporte da matéria prima na indústria de celulose. Por fim, a conclusão demonstra a percepção do autor sobre a efetividade da proposta avaliada.

1.1 AMBIENTE DO TRABALHO

O trabalho é desenvolvido observando o ambiente da unidade fabril da empresa Suzano Papel e Celulose no município de Imperatriz, no Maranhão, figura 1, bem como as fazendas de plantação de eucalipto, figuras 2 e 3, que atendem essa operação e considerando o cenário em que as manutenções dos equipamentos de carregamento e transporte da matéria-prima são realizadas por uma empresa terceirizada, Ouro Verde Transportes e Locações.

Figura 1 – Unidade Suzano Imperatriz, MA



Fonte: O autor (2023)

Figura 2 - Fazenda de Eucalipto (Carregamento)



Fonte: O autor (2023)

Figura 3 - Equipamento de Transporte da matéria-prima (Ouro Verde)



Fonte: O autor (2023)

A Ouro Verde teve sua trajetória iniciada em 1973 como uma transportadora em Ponta Grossa no Paraná. Em 1975 expandiu seu campo de atuação oferecendo o serviço de locação de veículos, sob a forte influência da construção da Hidrelétrica de Itaipu. Dez anos depois, transferiu sua sede para Curitiba, passando a atender negócios em todo o país.

A necessidade de transporte de cargas industriais impulsionou a companhia a abrir a sua primeira filial internacional em Buenos Aires na Argentina em 1994. Novos investimentos surgem e a partir dos anos 2000 a empresa começa a fornecer serviços especializados nas áreas de logística ambiental, Etanol e locação de equipamentos. Surge a necessidade de um novo modelo de governança corporativa dentro da companhia.

Em 2011 é separada a área de logística rodoviária, e a Ouro Verde foca nas operações de locação de veículos, equipamentos e serviços. Quando a empresa completa 40 anos, é consolidada a governança corporativa e torna-se uma companhia de capital aberto, sendo que em 2019, 100% do seu capital é adquirido pela *Brookfield Asset Management*.

A Ouro Verde, como uma empresa especializada em locação de equipamentos pesados e prestação de serviços de manutenção, em 2020 fechou um contrato de operação com uma empresa de Papel e Celulose (Suzano) na modalidade de locação com manutenção.

A operação de carregamento e transporte de eucalipto para indústria consiste em levar a madeira das fazendas para a indústria da Suzano, utilizando máquinas de carregamento e construção e melhoramento de estradas nas fazendas de acordo com as especificações técnicas.

1.2 JUSTIFICATIVA

A produção de papel e celulose depende diretamente do transporte e carregamento da matéria-prima nas plantações de eucalipto. Para que a fábrica trabalhe de forma linear e sem interrupções, é necessário que os equipamentos utilizados nessa atividade estejam sempre em funcionamento.

As manutenções devem ocorrer de forma ágil e efetiva, evitando grandes tempos de parada e, por consequência, impacto na produção. Isso deve ser especialmente considerado em um ambiente que atua, muitas vezes, de forma reativa e corretiva, subutilizando o potencial e o planejamento preventivo (MENDES, 2011).

Levando em consideração que as fábricas atendidas estão localizadas em áreas remotas na região norte do país, distantes umas das outras, a existência de processos de manutenção bem definidos pode auxiliar nos indicadores de disponibilidade e confiabilidade dos equipamentos de carregamento e transporte.

Com a presente pesquisa e seus resultados, será possível avaliar empresas e apontar melhorias para a operação de manutenção dos equipamentos utilizados, apresentando um modelo de controle que poderá ser utilizado, inclusive, como modelo para outras operações similares e áreas de atuação.

Ao observar o indicador de disponibilidade mecânica do equipamento pá carregadeira John Deere 524k, é possível verificar que no período de janeiro a junho, a média mensal corresponde a 89%. Nessa operação, a unidade espera que esse indicador atinja o mínimo de 90%. Com a implementação do FMEA e análise detalhada dos indicadores de MTBF e MTTR, busca-se alcançar ou, no mínimo, melhorar o percentual realizado até o momento.

Para a realização de manutenções preventivas, e corretivas é utilizada uma lista de materiais, que precisam estar disponíveis antecipadamente nas regiões das fazendas de plantação de eucalipto da Suzano em Imperatriz – MA. Os materiais, plano de manutenção e indicadores serão detalhados nos próximos capítulos, assim como o estudo comparativo após a implementação do FMEA na rotina da operação.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo geral

Este trabalho tem como objetivo geral aplicar a ferramenta FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) – Análise de Modo e Efeito de Falha – para a gestão de manutenção dos equipamentos de carregamento e transporte utilizados na operação de uma fábrica de celulose.

1.3.2 Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo geral, pretende-se atender aos seguintes objetivos específicos:

- a) realizar levantamento dos custos dos materiais de manutenção;
- b) realizar levantamento dos materiais indicados pelo fabricante dos equipamentos;
- c) avaliar o histórico e indicadores de manutenção;
- d) desenvolver plano de manutenção com auxílio do FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) – Análise de Modo e Efeito de Falha).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 GESTÃO DA MANUTENÇÃO

Com a globalização da economia, a busca da qualidade total em serviços, produtos e gerenciamento ambiental passou a ser a meta de todas as empresas. Para evitar o colapso da companhia devo, obrigatoriamente, definir um programa de manutenção com métodos preventivos a fim de obter qualidade nas manutenções previamente estabelecidas. Também devo incluir, no programa, as ferramentas a serem utilizadas e a previsão da vida útil de cada elemento das máquinas. Todos esses aspectos mostram a importância que se deve dar a manutenção.

2.1.1 Manutenção

A norma técnica NBR 5462 define manutenção como a “combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida” (ABNT, 1994, apud SECCO, 2013, p. 27).

A norma técnica de Gestão de Ativos da ABNT menciona que “a manutenção deve preocupar-se com o ativo ao longo de todo o seu ciclo de vida, que é representado pelo período entre a identificação da necessidade do ativo até a desativação do mesmo ou o término de todas as responsabilidades posteriores” (ABNT, 2014 apud GREGÓRIO, 2018, p. 16).

Slack *et. al.* apresenta o termo manutenção como sendo uma ferramenta utilizada pelas empresas buscando evitar falhas nos ativos e analisando as consequências em caso de ocorrência destas (SLACK ET AL., 2007, apud GREGÓRIO, 2018, p. 18). A manutenção pode ser feita no campo, ou seja, efetuada no local onde o item é utilizado, pode ser fora do local de utilização do item ou, ainda, remota. (ABNT, 1994 apud GREGÓRIO, 2018, p. 16).

O conceito de manutenção retrata a sua importância para as atividades industriais, correlacionando com fatores como disponibilidade, confiabilidade, qualidade, prazos e desempenho mínimo e gestão da manutenção. Assim, é possível entender a manutenção como a atividade que busca garantir um mínimo falhas na operação de determinado item, maximizando sua disponibilidade e confiabilidade.

Para melhor compreender a aplicação da manutenção nos diferentes cenários em que utilizada, faz-se necessário esclarecer quais são as principais metodologias descritas pela literatura.

2.1.2 Métodos de manutenção

A literatura técnica aponta como métodos ou políticas de manutenção o modo como é realizada a intervenção em determinado item, seja em equipamentos, sistemas ou instalações.

As empresas combinam diferentes estratégias em relação aos tipos de manutenção, com o objetivo de aumentar a confiabilidade e disponibilidade dos ativos e, conseqüentemente, do sistema de produção. Os ativos industriais físicos representam itens que têm valor real ou potencial para a empresa (ABNT, 2014 *apud* GREGÓRIO, 2018, p. 16).

Os autores classificam de diferentes maneiras, variando em suas terminologias. Usualmente, a forma mais utilizada é manutenção planejada e manutenção não-planejada.

De forma geral, a manutenção não-planejada acontece quando a falha é corrigida após a sua ocorrência, sendo majoritariamente corretiva. Essa forma de reparo pode gerar perdas na produção e aumento dos custos envolvidos no processo, direta ou indiretamente. De outro lado, a manutenção planejada irá ocorrer antes da falha e contempla um plano de ação que visa eliminar ou diminuir o tempo de parada do item, otimizando o tempo de reparo e a sua disponibilidade (ZAIIONS, 2003, p. 32).

A manutenção planejada pode ser corretiva, por melhorias ou preventiva (de rotina, periódica ou preditiva).

A manutenção corretiva refere-se à realização das ações de reparo apenas após a falha do equipamento. Ela pode ser emergencial, quando realizada imediatamente após a falha, ou programada, quando se planeja a ação para um momento posterior à falha (BRANCO FILHO, 2004 *apud* SECCO, 2013, p. 30). Essa forma de manutenção possui um custo elevado, especialmente considerando a necessidade de um estoque de peças expressivo para atender as paradas emergenciais e o tempo do ativo parado sem prévia organização, o que pode afetar a produtividade da indústria (SECCO, 2013, p. 30).

A manutenção preventiva é definida pela NBR 5462, sendo realizada conforme cronogramas predeterminados, observando critérios predefinidos, a fim de reduzir a probabilidade de falhas ou degradação do item (ABNT, 1994, *apud* SECCO, 2013, p. 32). A realização do reparo ou troca de elementos ocorre quando o equipamento ainda está operando,

mesmo que após a ocorrência de alguma falha que não tenha impossibilitado a continuidade de seu funcionamento (BRANCO FILHO, 2004, *apud* SECCO, 2013, p. 32).

2.1.3 Manutenção periódica

A Manutenção periódica é um tipo de manutenção projetada para evitar falhas ou degradação de desempenho, realizando manutenções em intervalos pré-determinados de acordo com um cronograma estabelecido previamente. Diferentemente da manutenção corretiva, a manutenção periódica, como o próprio nome sugere, tem como objetivo prevenir e evitar falhas. Isso é crítico quando os fatores de segurança têm precedência sobre outros (FERREIRA, 2014).

Destacam-se as vantagens da utilização da manutenção periódica, diante da manutenção corretiva, a frequência de falhas é reduzida, a disponibilidade dos equipamentos é aumentada e as interrupções não planejadas da produção também são reduzidas. Dito isso, se for considerado o custo total, a manutenção preventiva acaba sendo mais barata do que a manutenção corretiva em muitos casos, pois o tempo de inatividade do equipamento é controlável e não inesperado devido à falha do equipamento (MARTINS et al., 2002). Por um lado, se a manutenção periódica permite uma boa gestão das atividades, balanceamento de recursos e previsibilidade de consumo de materiais e peças de reposição, por outro, facilita a retirada de equipamentos ou sistemas operacionais para a execução das atividades planejadas.

2.1.4 Manutenção por Melhorias

No contexto de globalização e intensa competição, a manutenção como questão estratégica para uma organização torna-se cada vez mais importante. Sua principal função é garantir a disponibilidade de equipamentos e instalações. A produção é um objetivo óbvio da empresa e a manutenção é um auxílio à produção (CAVALCANTE; ALMEIDA, 2005).

Para Black (1991), manutenção por Melhorias refere-se a todas as operações realizadas de forma controlada com equipamentos, componentes, grupos de peças, circuitos, dispositivos ou estruturas como alvo, retornando ou mantendo as condições de operação no momento de seu projeto, fabricação ou instalação. Considerando todas as condições operacionais, econômicas e ambientais enfrentadas pelo equipamento, o equipamento deve ser capaz de desempenhar as funções exigidas com segurança e eficácia.

Faria (1994), também acrescentou que a manutenção por Melhorias permite que o equipamento funcione conforme projetado.

Pinto e Xavier (1999), apontam que a manutenção por Melhorias está recebendo cada vez mais atenção, então os profissionais de manutenção precisam se tornar gradualmente mais qualificados e bem equipados para evitar possíveis falhas, não apenas consertá-las.

2.1.5 Gestão de materiais

A gestão dos materiais em estoque pode ser fundamental para não gerar custos adicionais referentes aos materiais parados ou sem utilização, ainda que temporariamente. O fluxo dos materiais deve ser dinâmico e constante, entendendo-se como o trânsito deste desde o almoxarifado até o depósito do carro do mecânico. Segundo Chiavenato (2002, p. 32), “o fluxo de materiais – também denominado movimentação de materiais, tráfego interno ou transporte interno de materiais – representa toda e qualquer movimentação de materiais desde a aquisição de MP até a chegada do produto acabado em um plano logístico”. Existe a chamada logística interna, que trata do fluxo interno de materiais dentro da empresa, enquanto a logística externa trata do fluxo externo de materiais fora da empresa, por meio ou a partir de suas fronteiras.

Bolgenhagen *et al.* (2011) ressaltam que a grande quantidade de equipamentos e a complexibilidade destes torna o processo de manutenção de difícil gerência, portanto a utilização de softwares e de mão de obra tecnicamente treinada é indispensável.

A gestão desses materiais auxilia no desempenho e produtividade, que está diretamente ligada à produtividade da operação como um todo, uma vez que a realização da manutenção de forma ágil e eficaz faz com que aumente o tempo entre falhas, conservando o equipamento na sua melhor condição, ou seja, a mais próxima do ideal. Quando a manutenção é ineficaz, mesmo que por atraso ou falha na gestão de materiais, aumenta os tempos de paradas do equipamento, conseqüentemente reduz a sua disponibilidade e prejudica a sua produtividade. Em última instância, poderá apresentar gastos inesperados e evitáveis à empresa, como horas extras com mão de obra e descumprimento de contratos (MARCORIN; LIMA, 2003).

Todos os materiais precisam ser adequadamente administrados. Suas quantidades devem ser planejadas e controladas para que não haja faltas que paralitem a produção, nem excessos que elevem os custos operacionais desnecessariamente. A Gestão de Materiais (GM) consiste em ter os materiais necessários na quantidade certa, no local certo e no tempo certo à disposição dos órgãos que compõem o processo produtivo da empresa. O volume de dinheiro investido em materiais faz com que as empresas procurem sempre o mínimo tempo de estocagem e o mínimo

volume possível de materiais em processamento capazes de garantir a continuidade do processo produtivo.

Segundo Chiavenato (2022, p. 39), “na prática, utilizam-se indistintamente vários termos para gestão de materiais – como suprimentos, fornecimento, abastecimento, logística etc. – a fim de designar os cargos e os órgãos com títulos diferentes, mas com as mesmas responsabilidades”.

2.1.6 Gestão de equipe

As empresas possuem diversas metas a serem alcançadas e suas equipes são fundamentais para se chegar ao máximo desempenho, performance e efetividade, fatores que podem ser avaliados de forma individual, em equipe, e da liderança (FIRMINO, 2021, p. 7). O capital humano, no atual cenário de globalização, apresenta-se como uma vantagem competitiva das organizações (MAÇÃES, 2018).

O alto desempenho de equipes está relacionado ao senso de propósito, pertencimento e trabalho coletivo. No contexto de trabalho coletivo, há forte senso de cooperação e os melhores resultados se apresentam quando o trabalho é coordenado em conformidade e em sintonia com os objetivos da empresa (FIRMINO, 2021, p. 33).

2.1.7 Principais indicadores

Alguns termos utilizados para designar indicadores de manutenção são avaliados de forma permanente pelas empresas e auxiliam na elaboração do plano de manutenção. Abaixo as definições destes termos, conforme Gregório (2008):

MTBF (Tempo Médio entre Falhas): indica, em média, quando poderá ocorrer uma falha em determinado item. Responde a seguinte questão: em média, de quanto em quanto tempo este equipamento falha?

MTTR (Tempo Médio de Reparo): indica, em média, quanto tempo o equipamento demora para ser reparado após uma falha. Responde a seguinte questão: em média, quanto tempo demora para reparar este equipamento após um episódio de falha?

Taxa de falhas: indica o número médio de falhas do equipamento em determinado período de tempo. Responde à questão: em média, quantas falhas este equipamento apresenta a cada unidade de tempo?

Backlog: representa a carga futura de trabalho da equipe de manutenção. Responde a seguinte questão: quanto tempo de trabalho a equipe de manutenção tem pela frente? (GREGÓRIO, 2018, p. 17).

A almejada confiabilidade refere-se à probabilidade de um sistema desempenhar suas funções quando requeridas em determinado período (LEEMIS, 1995 apud SAMPAIO; FERNANDES NETO, 2013). Já a disponibilidade refere-se ao percentual de tempo em que o equipamento se encontra disponível para realizar as atividades exigidas.

2.1.7.1 Tempo médio entre falhas

O MTBF (*Mean Time Between Failures* ou Tempo Médio Entre Falhas) tem várias razões pelas quais a reparabilidade de um item é levada em consideração. Isso pode ser feito dividindo-se o tempo médio de vida da população pelo número de vezes que o item precisa de reparos. A equação para este processo é a seguinte (Equação 01):

$$MTBF = \frac{TEMPO\ TOTAL\ DISPONÍVEL - TEMPO\ PERDIDO}{NÚMERO\ DE\ PARADAS} \quad (01)$$

O monitoramento do desempenho dos equipamentos por meio desse indicador fornece informações sobre a eficácia das ações corretivas. Isso significa que o aumento do MTBF indica maior tempo de operação à frente.

2.1.7.2 Tempo médio de reparo

O MTTR (*Mean Time to Repair* ou Tempo Médio para Reparo) tem o tempo médio de intervenções com manutenção preventiva ou manutenção corretiva, deve ser considerado no cálculo do parâmetro de tempo original. Isso é representado pela equação que fornece o valor MTTR (Equação 02):

$$MTTR = \frac{TEMPO\ TOTAL\ DE\ MANUTENÇÃO}{NÚMERO\ DE\ REPARAÇÕES} \quad (02)$$

Ao longo do tempo, diminuir o MTTR implica que a manutenção aumenta a eficiência, pois as correções não são tão necessárias.

Para Fogliato (2009):

A eficiência das ações de manutenção corretiva é medida através da disponibilidade do equipamento. A disponibilidade é dada pela probabilidade de o equipamento estar operante quando necessitado. Em contrapartida, a eficiência das ações de manutenção preventiva é avaliada pelo incremento resultante na confiabilidade do equipamento (p. 151).

2.2 A IMPORTÂNCIA DOS EQUIPAMENTOS NA LOGÍSTICA DA INDÚSTRIA DE CELULOSE

Logística envolve o movimento de matérias-primas em produtos acabados e serviços através de um ciclo. Esse ciclo começa com a extração de matérias-primas e termina com os serviços de pós-venda – o que permite que as empresas reduzam custos e ganhem vantagem sobre os concorrentes. Recentemente, a logística evoluiu para um forte componente nas estratégias competitivas das organizações. Eles não mais simplesmente transportam e armazenam materiais (OLIVEIRA, 2019).

Os equipamentos no processo de carregamento facilitam o transporte e o armazenamento dos eucaliptos desde o corte até o destino final na fábrica. Isso leva as empresas a oferecer aos clientes serviços diferentes a um preço razoável. A logística também desempenha um papel importante no gerenciamento de informações. Isso inclui o gerenciamento de informações sobre produtos e seus movimentos através da telemetria que ajudam os clientes a decidir em que escolher.

A partir daí, conecta as necessidades dos consumidores com os produtos dos produtores para atender a essas necessidades a baixo custo. A logística serve como criadora de tendências para o desenvolvimento econômico; também cria infraestrutura eficiente para diferentes modos de transporte.

Para que a logística funcione perfeitamente, é necessário que os equipamentos estejam disponíveis e em boas condições para atender a movimentações dos materiais. Para que isso ocorra, a manutenção tem de ser eficiente para atender às necessidades de entrega da matéria prima.

3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

O presente capítulo tem como objetivo descrever o perfil da operação, o ambiente de estudo, cenário atual, o detalhamento do problema e a aplicação da ferramenta FMEA para o atingimento do objetivo geral e objetivos específicos.

3.1 CENÁRIO ATUAL

Na operação de carregamento e transporte de eucalipto conta-se com 29 equipamentos divididos em 4 módulos, sendo 2 de malha viária e 2 do carregamento. Atualmente a disponibilidade mecânica dos equipamentos está muito baixa devido a problemas constantes de manutenção causando insatisfação do cliente e perdas de receita para a operação. Os modelos de equipamentos são representados, conforme Figura 4:

Figura 4 – Modelos de Equipamentos

Módulo 1	# Modelo de equipamento	# Máquinas
	-Moto niveladora 620 E (2 unidades) - Carregadeira 524K (1 unidade) -Escavadeira 210G (1 unidade) - Retro escavadeira (1 unidade) -Rolo compactador (2 unidades) -Trator esteira 750J (1 unidade) -Trator de pneu (1 unidade)	9
Módulo 2	# Modelo de equipamento	# Máquinas
	-Moto Niveladora 140k. (1 unidade) - Carregadeira 524k (1 unidade) -Moto Niveladora 120k (1 unidade) - Trator de pneu (1 unidade) -Rolo compactador (2 unidades) - Trator Esteira D5 (1 unidade) -Retro escavadeira (1 unidade) - Escavadeira 210G(1 unidade)	9
Carreg. 1	# Modelo de equipamento	# Máquinas
	-Escavadeira 336 (3 unidades) -Escavadeira 320 (1 unidade) -Garras (5 unidade)	5
Carreg 2	# Modelo de equipamento	# Máquinas
	-Escavadeira 336 (3 unidades) -Escavadeira 320 (1 unidade) -Garras (7 unidades)	6

Fonte: Adaptado BI – Ouro Verde (2023)

3.1.1 Estrutura de Manutenção

Os planos de manutenção preventiva dos equipamentos são elaborados de acordo com os manuais do fabricante.

As manutenções corretivas seguem de acordo com os *backlogs* gerados pelos técnicos de manutenção e chamados de manutenção vindos do cliente, conforme fluxo de manutenção representado na Figura 5. Nesta figura pode-se observar o fluxo de informações e as etapas desde o chamado do cliente até a liberação da máquina, envolvendo desde a manutenção interna até a contratação de terceiros e o uso de materiais para a realização da manutenção.

Figura 5 – Fluxo de Manutenção

Fluxo de Manutenção – Suzano



Fonte: Ouro Verde (2023)

3.1.2 Gerenciamento da manutenção

No sistema de gestão da Ouro Verde criou-se um desdobramento da Visão, Missão e Valores para todos os níveis da empresa, fortalecendo o atingimento de resultados para prosperar negócio da companhia. Por isso foi apresentado uma estrutura de processos que vai ajudar na aplicação da ferramenta FMEA na manutenção.

O pilar manutenção estabelece a padronização dos processos de manutenção da Ouro Verde, otimizando as operações nas Unidades e Matriz garantindo a visão de prosperar o negócio e fornece a base necessária para sustentar e impulsionar a melhoria de desempenho e

compartilhar as melhores práticas. A Figura 6 representa a pirâmide do sistema de gestão da Ouro Verde.

Figura 6 – Pirâmide de aplicação



Fonte: BEX – Ouro Verde (2023)

Diante da estrutura de manutenção, definiu-se que os processos serão base para a implantação da ferramenta FMEA. Esses processos sendo desenvolvidos atingirão os objetivos específicos desse trabalho e servirão como base para aplicação do FMEA, e estão definidos conforme Quadro 1:

Quadro 1 – Processos para aplicação do FMEA

Processo I	Ordem de serviço
Processo II	Gerenciamento de estoque
Processo III	Equipamento crítico
Processo IV	Procedimento de manutenção
Processo V	Checklist operacional
Processo VI	Histórico do equipamento
Processo VII	Custos de manutenção

- Processo I - Ordem de Serviço é a ferramenta utilizada para definir o trabalho que deve ser feito e dar início ao processo de realização das atividades de manutenção. É a formalização do trabalho que será prestado no ativo (veículo, máquina ou equipamento) pela manutenção, apresentando informações que detalham a necessidade do serviço e o que foi realizado. Posteriormente, ao lançar as informações no sistema, será possível tomar decisão referente a manutenção, estoques e gestão financeira. As Ordens de Serviço devem seguir um padrão para abertura, preenchimento, validação pela liderança, lançamento e encerramento no sistema. A Ordem de Serviço obrigatoriamente precisa passar pelo ciclo total citado acima
- Processo II - O Gerenciamento de Estoques visa estabelecer um formato padrão para administração dos almoxarifados e estoques da Ouro Verde, com objetivo de garantia no atendimento; gestão e controle de materiais; auxiliando assim, a manutenção na disponibilidade da frota e controle de custos com manutenção.
- Processo III - Este procedimento visa estabelecer critérios e padrões para definição de equipamentos classificados como críticos da frota Ouro Verde.
- Processo IV - Este procedimento visa estabelecer critérios e padrões para manutenção em veículos, máquinas e equipamentos da Ouro Verde Locação e Serviços SA e de suas subcontratadas, bem como o acompanhamento e implementação das ações de prevenção a acidentes de trabalho.
- Processo V - Este procedimento visa estabelecer critérios e padrões para aplicação do Checklist Operacional antes do uso de veículos, máquinas e equipamentos da Ouro Verde.
- Processo VI – Este procedimento consiste em checar o histórico de manutenções dos equipamentos dentro do sistema na empresa.
- Processo VII - Este procedimento consiste em checar os custos de manutenções dos equipamentos dentro do sistema na empresa.

3.1.3 Indicadores de manutenção

Com a consolidação dos indicadores de manutenção, a exemplo MTBF, MTTR alguns equipamentos figuram com números aceitáveis diante do planejado pela empresa. No entanto, os dados da operação são tratados de forma geral, ou seja, o resultado é alavancado por algumas máquinas que pouco ficam em manutenção, o que, em suma, pode haver grande possibilidade

de melhorias em alguns equipamentos em específico. De acordo com a literatura especializada, alguns desses indicadores, devem conter em seus números finais apenas os dados extraídos de um único equipamento ou, no máximo, de uma família de equipamentos, para que as ações de melhoria sejam mais assertivas. Na Ouro Verde, os indicadores de manutenção são demonstrados em gráficos conforme Figura 7.

Figura 7 – Indicadores de Manutenção



Fonte: BI Manutenção – Ouro Verde (2023)

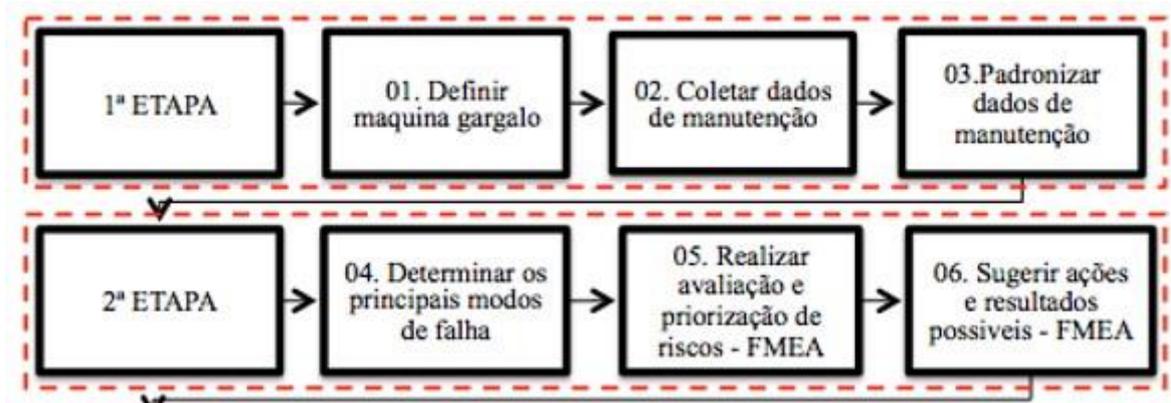
3.2 PROPOSTA DE TRABALHO

Com o objetivo de avaliar as causas das paradas dos equipamentos para propor melhorias de acordo com os dados analisados no FMEA.

3.2.1 Etapas para aplicação do FMEA

De acordo com os objetivos específicos, foram elaboradas algumas etapas para que no final do trabalho proposto o objetivo geral seja atingido, conforme Figura 8:

Figura 8 – Etapas do FMEA



Fonte: O autor (2023)

Na primeira etapa, delimitou-se o equipamento a ser utilizado nessa proposta de trabalho, levando em consideração a existência de possíveis gargalos na operação. Para dar seguimento, realizou-se a coleta de dados de manutenção dessa máquina e, por fim, a divisão dos dados nos modos de falhas apresentadas.

Na segunda etapa, é determinado os principais modos de falha, com suas definições, realiza-se a avaliação e priorização de riscos do FMEA, apresentando ações e resultados possíveis para minimizar ou eliminar a ocorrência dos modos de falha, que serão representadas conforme Figura 9:

Figura 9 - Análise do Modo e Efeito das Falhas

F.M.E.A. - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS														
Título:		APLICAÇÃO DE FMEA PARA RESOLVER PROBLEMA DE DISPONIBILIDADE DE MÁQUINAS												
Elaborado por:		DAVID DOMUCCI JUNIOR				Data:		09/05/2023		Folha:				
Aprovado por:						Número:				Revisão:				
Observações:														
Função e requisitos do processo ou equipamento	Modo de falha potencial	Efeito potencial de falha	Causa/Mecanismo Potencial da falha	Gravidade (G)	Ocorrência (O)	Detecção (D)	Índice de Risco (R)	Ações recomendadas	Responsável e prazo	Resultado das ações				
										Índices previstos				
										Ações tomadas	G	O	D	NPR

Fonte: Tabela FMEA Moki (2023)

Para cada função do equipamento deve ser levantado seus modos e efeitos de falhas e suas possíveis causas, e a partir daí realizar a pontuação de severidade, ocorrência e detecção visando obter o número de prioridade de risco. O NPR é obtido através da multiplicação dos valores encontrados para severidade, ocorrência e detecção.

Podendo-se então criar uma priorização de ações no equipamento para minimizar e eliminar as causas de indisponibilidade.

4 RESULTADOS

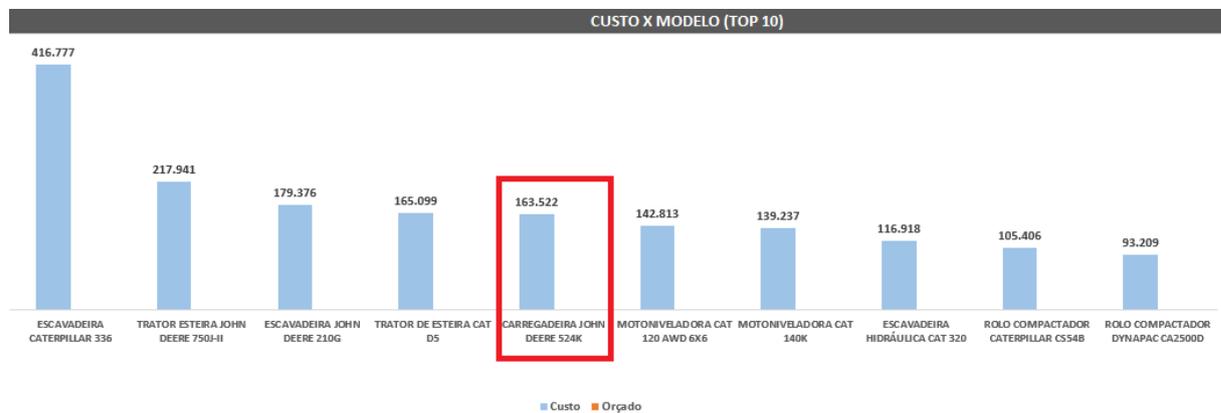
Nesse capítulo será tratado o desenvolvimento das etapas detalhadas na seção 3.2.1 do capítulo anterior, e com base na fundamentação teórica aprofundada no Capítulo 2 deste trabalho. O objetivo é seguir o passo a passo determinado para atingir os objetivos planejados com a aplicação do FMEA.

4.1 DEFINIR MÁQUINA GARGALO

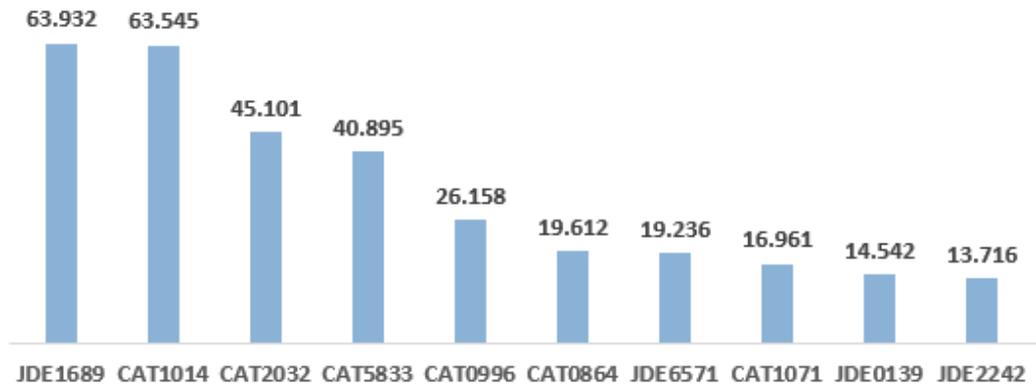
O primeiro passo para a execução desta etapa do trabalho, tratou de inventariar a estrutura de equipamentos utilizados na operação de transporte e carregamento de eucalipto, além de ter sido realizada uma reunião envolvendo as áreas de manutenção, central técnica e logística, onde foi analisado em conjunto os indicadores de custos e de manutenção onde observa-se que a máquina gargalo é a Pá Carregadeira.

A seguir pode-se observar as seguintes figuras onde foram apresentados o custo por grupo de modelos de equipamentos (figura 10), individualizados por placas de equipamentos (figura 11) e sua disponibilidade (figura 12). Nestes foram considerados os 10 equipamentos que mais comprometeram os resultados, conforme abaixo.

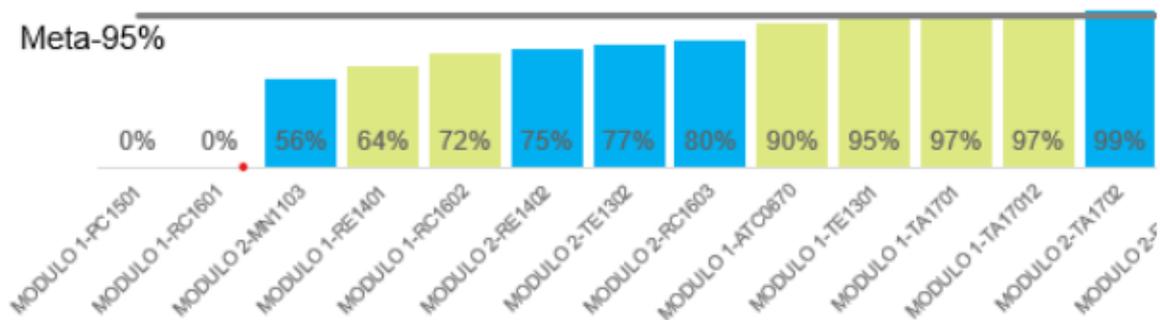
Figura 10 – Custo por modelo 2022



Fonte: BI Manutenção – Ouro Verde (2023)

Figura 11 – Custo por placa de equipamento

Fonte: BI Manutenção – Ouro Verde (2023)

Figura 12 – Disponibilidade

Fonte: BI Manutenção – Ouro Verde (2023)

Após reuniões entre as áreas para as análises e discussões dos indicadores que foram gerados em 3 meses de coleta, chegou-se à conclusão de que o equipamento Pá Carregadeira será o objeto da aplicação da ferramenta FMEA.

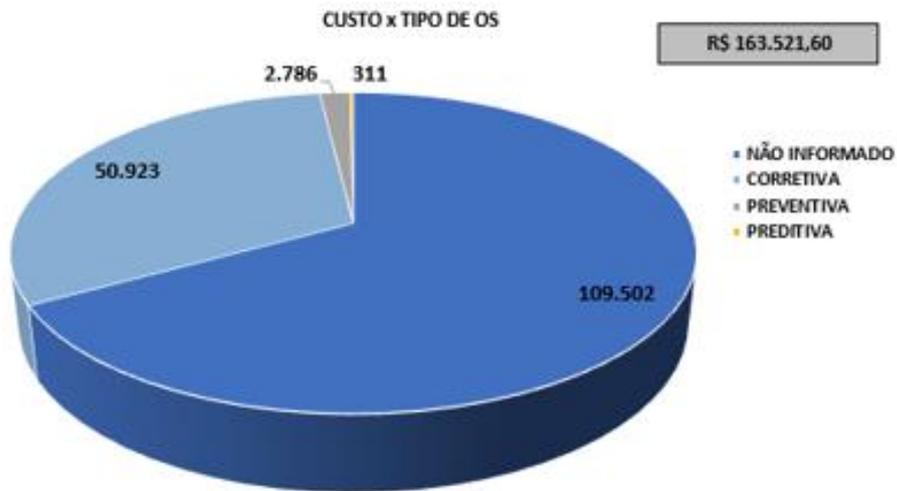
A Pá Carregadeira escolhida, denominada de JDE1501, tem o maior custo de manutenção dentre os demais equipamentos e está entre as quatro máquinas com menor disponibilidade, inclusive no período analisado para essa discussão ela ficou com 0% de disponibilidade.

4.2 COLETAR DADOS DE MANUTENÇÃO

Após a definição do equipamento a ser estudado, foram levantados todos os indicadores de manutenção durante o ano de 2022 para a Pá Carregadeira JDE1501. Nas figuras a seguir, é possível verificar os custos de manutenção estratificados para esta máquina, os tipos de ordens de serviços e os custos por item.

Inicialmente avaliou-se o custo pelo tipo de OS de manutenção: Corretiva, preventiva e preditiva, além de outros custos genéricos não informados. Ver figura 13, onde observou-se predominância do custo de manutenção por corretiva.

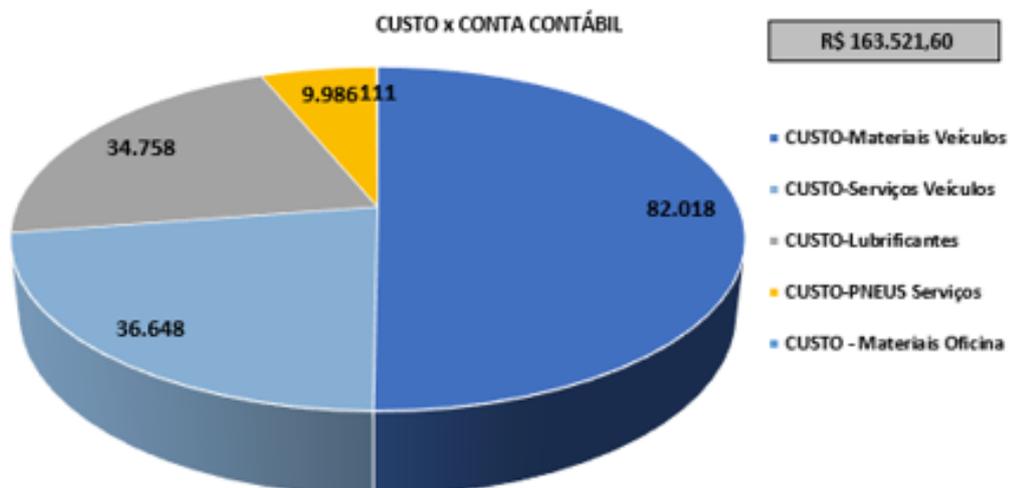
Figura 13 – Custo por ordem de serviço.



Fonte: BI Manutenção – Ouro Verde (2023)

Na figura 14, é possível observar que em torno de 50% dos custos foram com materiais como filtros, ferramentas de penetração do solo, lâmpadas, correias, alternadores, itens elétricos e outras peças. Em serviços foram consumidos 19% do custo, que contemplam deslocamentos de mão de obra de concessionárias e de outros terceiros, 21% em lubrificantes que são utilizados para preventivas ou reposição de nível e 10% em pneus.

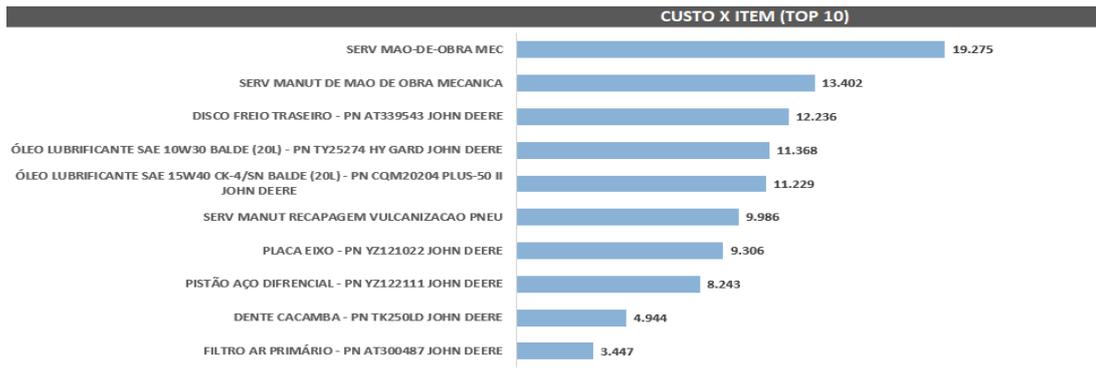
Figura 14 – Custo de Manutenção Pá Carregadeira



Fonte: BI Manutenção – Ouro Verde (2023)

Analisando-se criteriosamente as ordens de serviço, observa-se na figura 15 os 10 itens com maior valor gasto em troca de componentes. Os dois primeiros itens são equivalentes e são referentes a atendimentos da concessionária da fabricante John Deere, chamada de Delta Máquinas.

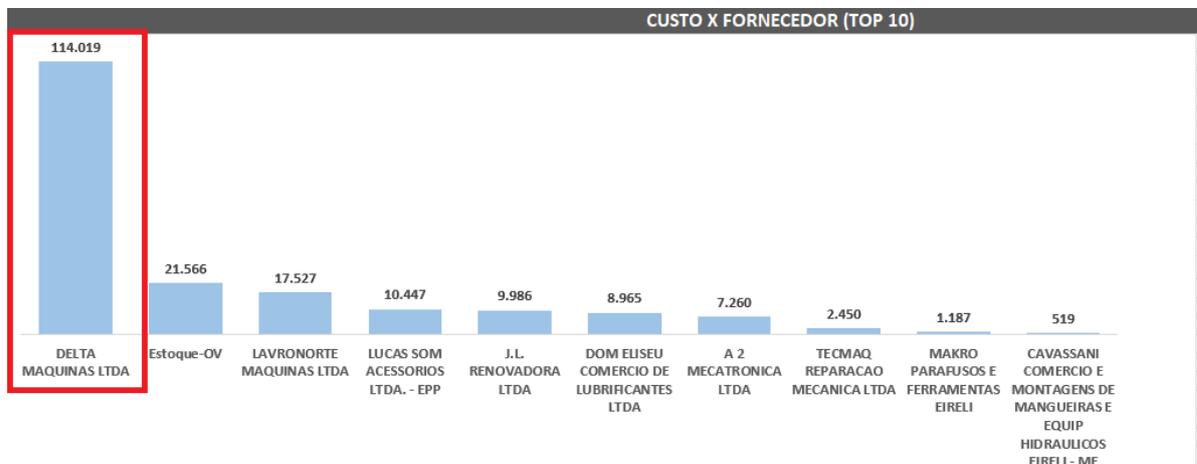
Figura 15 – Custo por item



Fonte: BI Manutenção – Ouro Verde (2023)

Na figura 16 é apresentado o fornecedor de origem dos materiais para a manutenção da Pá Carregadeira, selecionados os 10 com maior gasto em materiais e serviços, no ano de 2022.

Figura 16 – Custo por fornecedor



Fonte: BI Manutenção – Ouro Verde (2023)

Com o levantamento de dados acima, observa-se que as manutenções corretivas são a maioria dos casos nesse modelo de equipamento e que algumas dessas manutenções são obrigatórias serem realizadas na concessionária para obter a garantia dos materiais. Também pode se observar nos dados que a Delta Máquinas (concessionária JD) teve um destaque nos custos de manutenção com materiais e mão de obra especializada.

4.3 PADRONIZAÇÃO DOS DADOS DE MANUTENÇÃO

Para a sequência da aplicação da ferramenta FMEA no equipamento Pá Carregadeira (Modulo 1 – PC 1501), se faz necessário a utilização dos indicadores de eficiência e eficácia de manutenção. A seguir é demonstrado através destes indicadores como esta máquina impacta os resultados operacionais conforme apresentado na figura 17 onde o tempo é contabilizado em horas e a meta estabelecida pela central técnica da companhia.

Figura 17 – Tabela de Indicadores



Fonte: BI Manutenção – Ouro Verde (2023)

Conforme observado nos indicadores, o equipamento Pá Carregadeira tem uma quantidade de falha superior aos demais equipamentos bem como o tempo médio de reparo muito alto, ocasionando uma baixa disponibilidade e baixa produtividade na operação.

4.4 DETERMINAR OS MODOS DE FALHAS

Após análises dos principais motivos das paradas do equipamento Pá Carregadeira, os modos de falhas desse equipamento foram subdivididos em problemas elétricos, hidráulicos, ferramentas de penetração no solo e sistema de transmissão.

4.5 REALIZAR A AVALIAÇÃO E PRIORIZAÇÃO DOS RISCOS

Através de uma reunião com as gerências das áreas de logística, manutenção e operacional foi elaborado o preenchimento da planilha de FMEA. Com a pontuação da gravidade, ocorrência e detecção obteve-se o número de prioridade de risco NPR que pode ser verificado na figura 18.

Figura 18 – Tabela FMEA

F.M.E.A. - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS											
		APLICAÇÃO DE FMEA PARA RESOLVER PROBLEMA DE DISPONIBILIDADE DE MÁQUINAS									
Título:		DAVID DOMUCI JUNIOR						Data:		09/05/2023	
Elaborado por:								Número:			
Aprovado por:											
Observações:											
Função e requisitos do processo ou equipamento	Modo de falha potencial	Efeito potencial de falha	Causa/Mecanismo Potencial da falha	Gravidade (G)	Ocorrência (O)	Detecção (D)	Índice de Risco (R)	Ações recomendadas	Responsável e prazo		
Sistema elétrico	Falha na buzina, faróis ou sirene de ré	Equipamento opera somente durante a luz do dia.	Curto circuito, quebra de chicote	4	4	3	48	Utilização de ferramenta de diagnóstico	Imediato		
Linha hidráulica	Vazamento de mangueiras hidráulicas	Diminuição do nível de óleo hidráulico	Conexões soltas, rompimento de anéis o ring	3	5	4	60	Adicionar no checklist reaperto das principais mangueiras	29/05/2023		
Ferramentas de penetração no solo	Quebra de dentes e concha	Equipamento opera com carga reduzida e não realiza todas as atividades	Impactos brutos e má utilização do equipamento	3	4	4	48	Treinamentos operacionais	15/06/2023		
Falha de transmissão	Quebra das engrenagens da transmissão	Parada do equipamento	Excesso de temperatura de óleo	7	4	8	224	Reavaliação do projeto mecânico da transmissão.	15/07/2023		

Fonte: – Ouro Verde (2023)

4.6 SUGERIR AÇÕES E RESULTADOS POSSÍVEIS

Pode-se então, identificar o ponto mais crítico do equipamento, que apresenta o maior NPR, sendo esse o item a ser trabalhado para obter uma melhoria nos indicadores.

O sistema de transmissão apontado como o maior NPR passou por uma análise crítica da equipe de manutenção da empresa juntamente com a engenharia do fabricante de equipamento. As figuras 19, 20 e 21 demonstram respectivamente a Pá Carregadeira, o eixo de transmissão com a linha de óleo instalada e por fim o trocador de calor instalado na parte traseira do equipamento.

Figura 19 – Pá carregadeira John Deere 524



Fonte: Arquivo operação – Ouro Verde (2022)

Figura 20 – Eixo da transmissão com sistema de trocador de calor



Fonte: Arquivo operação – Ouro Verde (2023)

Figura 21 – Trocador de calor de fluido de transmissão



Fonte: – Ouro Verde (2023)

Após a aplicação do FMEA e a execução das ações os índices de riscos caíram drasticamente conforme demonstrado na figura 22.

Figura 22 – Tabela FMEA Preenchida

F.M.E.A. - ANÁLISE DE MODOS DE FALHAS E EFEITOS														
Título: APLICAÇÃO DE FMEA PARA RESOLVER PROBLEMA DE DISPONIBILIDADE DE MÁQUINAS														
Elaborado por: DAVID DOMUGI JUNIOR				Data: 09/05/2023		Folha:		Revisão:						
Aprovado por:				Número:										
Observações:														
Função e requisitos do processo ou equipamento	Modo de falha potencial	Efeito potencial de falha	Causa/Mecanismo Potencial da falha	Gravidade (G)	Ocorrência (O)	Detecção (D)	Índice de Risco (R)	Ações recomendadas	Responsável e prazo	Resultado das ações				
										Índices previstos				
										G	O	D	NPR	
Sistema elétrico	Falha na buzina, faróis ou sirene de ré	Equipamento opera somente durante a luz do dia.	Curto circuito, quebra de chicote	4	4	3	48	Utilização de ferramenta de diagnóstico	Imediato	Foi adquirido uma ferramenta de diagnóstico elétrico onde é identificado os códigos de falhas	3	2	2	12
Linha hidráulica	Vazamento de mangueiras hidráulicas	Diminuição do nível de óleo hidráulico	Conexões soltas, rompimento de anéis o ring	3	5	4	60	Adicionar no checklist respeito das principais mangueiras	29/05/2023	Adicionado no checklist diário o respeito e verificação da linha hidráulica.	2	4	3	24
Ferramentas de penetração no solo	Quebra de dentes e concha	Equipamento opera com carga reduzida e não realiza todas as atividades	Impactos brutos e má utilização do equipamento	3	4	4	48	Treinamentos operacionais	15/06/2023	Realizada a reciclagem do treinamento de operação de Pá Carregadeira.	2	3	3	18
Falha de transmissão	Quebra das engrenagens da transmissão	Parada do equipamento	Excesso de temperatura de óleo	7	4	8	224	Reavaliação do projeto mecânico da transmissão.	15/07/2023	Instalação um trocador de calor do fluido de transmissão do equipamento.	2	1	1	2

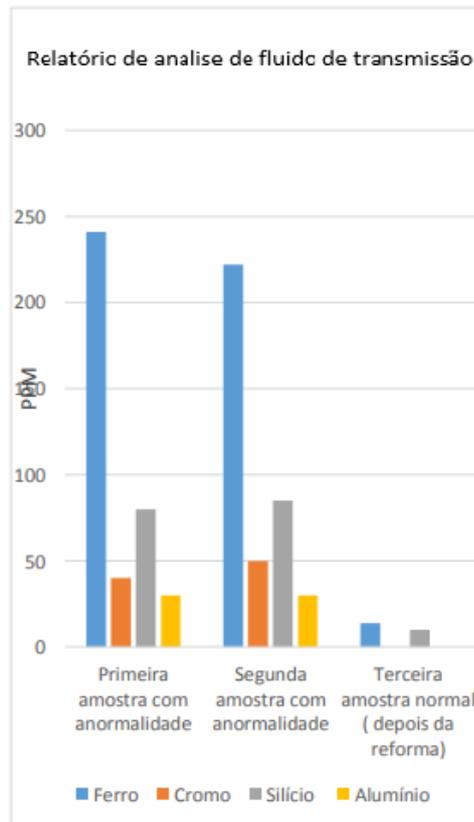
Fonte: – Ouro Verde (2023)

4.7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a instalação do trocador de calor do fluido de transmissão, o equipamento teve um acompanhamento diário na operação durante 3 meses. Nessa fase, o equipamento foi submetido a deslocamentos excessivos com a capacidade de carga perto do limite máximo de tolerância para que o teste fosse extremo para a Pá Carregadeira.

Nesse período foram feitas manutenções preditivas de análises de fluido para o acompanhamento da performance do óleo de transmissão com a temperatura de trabalho menor de quando a máquina operava sem o trocador de calor. Nesses relatórios não foi constatada anomalia nas propriedades do óleo da transmissão, conforme relatório da figura 23.

Por fim, nos testes realizados não ocorreu mais a quebra no componente, pois a temperatura do óleo que trabalhava na faixa de 78C antes da instalação do trocador de calor baixou para 50C em média. Após a alteração do sistema, o MTBF e o MTTR ficaram dentro da meta.

Figura 23 – Resultado da análise de fluído da transmissão**Gráfico 3 – Terceira amostra sem anormalidade**

Fonte: – Ouro Verde (2023)

5 CONCLUSÃO

Considerando que as empresas vêm buscando ser cada vez mais eficientes em suas operações, o objetivo geral deste trabalho veio ao encontro para atender essa necessidade de maior disponibilidade com menor custo. Utilizando ferramentas já consolidadas a respeito do planejamento de manutenção, a implementação dos objetivos específicos foi desenvolvida observando as particularidades do tipo de máquina aqui citada.

A partir da avaliação feita através de critérios, a determinação da máquina considerada crítica foi então estabelecida para ser contemplada com a aplicação da ferramenta FMEA. Com os resultados obtidos, foi possível determinar ações em um subsistema deste equipamento para que as falhas fossem reduzidas. Ainda neste sentido, propostas de melhorias estabelecidas com auxílio da ferramenta FMEA e planos de manutenção robustos, foram implementadas para convergir neste objetivo e assim contribuir para aumentar a disponibilidade do equipamento crítico.

Com o embasamento teórico abordado neste trabalho, é sabido que todas as ações de manutenção devem ser reavaliadas criticamente pelo time de manutenção a fim de obter maior assertividade nas atividades no equipamento.

Analisando o resultado dos indicadores implementados, foi possível verificar que há uma tendência de melhora na disponibilidade deste equipamento. Analisando unicamente a máquina selecionada e as ações desenvolvidas nesta, pode-se dizer que os objetivos propostos inicialmente foram atingidos, trazendo benefícios para esta máquina e com potencial abrangência aos demais equipamentos.

Com o aprendizado e desenvolvimento deste trabalho, observa-se que há inúmeras oportunidades de melhoria na operação de carregamento e transporte de eucalipto para a indústria de celulose, levantando como desafio para trabalhos futuros implementar TPM em equipamentos de linha amarela, elaborar checklists para operadores voltados à manutenção e desenvolver um modelo de entrega de peças no padrão Milk Run (modelo operacional de entrega de componentes do almoxarifado para a operação) para operações de transporte de eucalipto para a indústria de papel e celulose.

REFERÊNCIAS

- ABNT. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – NORMA TB-116 de 1975.
- ABNT. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – NORMA ISO 55000. Gestão de Ativos – Visão geral, princípios e terminologia, de 2014.
- ABNT. **ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS** – NORMA 5462. Confiabilidade e manutenibilidade, de 1994.
- ABREU, António; CALADO, João Manuel Ferreira; PÊGO, Eduardo. Planeamento da manutenção preventiva usando algoritmos genéticos. In: **ICEUBI 2015- International Conference on Engineering of University of Beira Interior**. Faculdade de Engenharia da Universidade da Beira Interior, 2015. p. 621-630.
- ALMEIDA, Adiel Teixeira de. Modelagem multicritério para seleção de intervalos de manutenção preventiva baseada na teoria da utilidade multiatributo. **Pesquisa Operacional**, v. 25, p. 69-81, 2005.
- BLACK, J. Temple. **O projeto da fábrica com futuro**. Bookman, 1991.
- BOLGENHAGEN, A.; SILVA, A. C. T. da; NEVES, L. A. P.; DIAS, A. de P. **Gestão da Manutenção de equipamentos em micro e pequenas empresas via web**. Revista Qualidade Emergente. v.2, n.1, p. 30-45, 2011.
- CAVALCANTE, Cristiano Alexandre Virgínio; ALMEIDA, Adiel Teixeira de. Modelo multicritério de apoio a decisão para o planeamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza. **Pesquisa Operacional**, v. 25, p. 279-296, 2005.
- DA CUNHA, Laira Melo et al. Proposta de plano de manutenção preventiva em equipamentos do Laboratório de farmácia–UFAM–ICET. **Proposta de plano de manutenção preventiva em equipamentos do laboratório de farmácia–UFAM–ICET**, p. 1-388–416, 2020.
- FARIA, José Geraldo de Aguiar. Administração de Manutenção. **São Paulo: Edgard Blucher**, 1994.
- FERREIRA, Lúcia Manuela Leite. **Normalização da manutenção preventiva numa empresa de mobiliário**. 2014. Tese de Doutorado.
- FIRMINO, Janaina Priscila R. **Gestão de equipas de alta performance**. São Paulo: Editora Saraiva, 2021. E-book. ISBN 9786589965824. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786589965824/>. Acesso em: 11 dez. 2022.

FOGLIATO, Flavio. **Confiabilidade e Manutenção Industrial**. Rio de Janeiro: Grupo GEN, 2009. E-book. ISBN 9788595154933. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595154933/>. Acesso em: 11 dez. 2022.

GREGÓRIO, Gabriela Fonseca P.; SANTOS, Danielle F.; PRATA, Auricélio B. **Engenharia de manutenção**. Porto Alegre: Grupo A, 2018. E-book. ISBN 9788595025493. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788595025493/>. Acesso em: 11 dez. 2022.

KARDEC, Alan e NASCIF, Júlio; **Manutenção: Função Estratégica**. 5a. ed. Rio de Janeiro, Editora Qualitymark, 2019.

MAÇANEIRO, Marlete Beatriz et al. A regulamentação ambiental conduzindo estratégias ecoinovativas na indústria de papel e celulose. **Revista de Administração Contemporânea**, v. 19, p. 65-83, 2015.

MAÇÃES, Manuel Alberto Ramos. **Pessoas e gestão de equipas. Vol. X**. Publisher Actual Editora, 2018.

MARCORIN, W. R.; LIMA, Ca. R. C. **Análise dos Custos de Manutenção e de Nãomanutenção de Equipamentos Produtivos**. Revista Ciência e Tecnologia. Santa Bárbara D'oeste (SP), 2003.

MARTIN, Caroline. Suzano Papel e Celulose inicia operações da Unidade Imperatriz. **O Papel**, v. 75, n. 1, 2014.

MARTINS, Carolina de Castro et al. Impacto da manutenção preventiva na experiência de cárie dentária em crianças de 12 anos de idade. **JBP, j. bras. odontopediatr. odontol. bebê**, p. 302-8, 2002.

MENDES, A. A. **Manutenção Centrada em Confiabilidade: Uma Abordagem Quantitativa**. 2011. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2011.

MIRSHAWKA, Victor; OLMEDO, Napoleao Lupes. Manutenção-combate aos custos da não eficácia: a vez do Brasil. In: **Manutenção-combate aos custos da não eficácia: a vez do Brasil**. 1993. p. xiii, 373-xiii, 373.

OLIVEIRA, Allison Bezerra. Indústria de celulose e o avanço da silvicultura do eucalipto na fronteira agrícola da Amazônia maranhense. **Geosul**, v. 34, n. 71, p. 301-327, 2019.

PINTO, Alan Kardec; XAVIER, Júlio Nascif. Manutenção classe mundial. In: **Congresso Brasileiro de Manutenção, Salvador**. 2000.

RAMÍREZ, Ernesto Fernando Ferreyra; CALDAS, Elizabeth Crestani; DOS SANTOS JÚNIOR, Paulo Rodrigues. **Manual hospitalar de manutenção preventiva**. Universidade Estadual de Londrina, 2002.

RESENDE, Maurício Marques. **Manutenção preventiva de revestimentos de fachada de edifícios: limpeza de revestimentos cerâmicos**. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

SECCO, Thairan Henrique. **Desenvolvimento de uma ferramenta de auxílio à gestão de manutenções preventivas da frota de uma agroindústria na região do oeste do Paraná**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SOARES, Fernando da Silva. **Introdução da manutenção preventiva sistemática nos SASUC**. 2015. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra.

TEIXEIRA, Matheus Antonio. **Gerenciamento de riscos na logística em uma empresa de papel e celulose**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

VILLANUEVA, Marina Miranda. A importância da manutenção preventiva para o bom desempenho da edificação. **Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do grau de Engenheira Civil. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2015.**

ZAIONS, Douglas Roberto. **Consolidação da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma planta de Celulose e Papel**. 2003. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.