



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA



MARIANA VIEIRA SILVA

VINÍCIUS DIAS PEREIRA

**ESTUDO DO SISTEMA DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO E
APLICAÇÃO DO RETROFIT EM UMA MULTINACIONAL
NA PRODUÇÃO DE MAQUINÁRIOS AGRÍCOLAS**

Uberlândia-MG

2024

MARIANA VIEIRA SILVA

VINÍCIUS DIAS PEREIRA

**ESTUDO DO SISTEMA DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO E
APLICAÇÃO DE RETROFIT EM UMA MULTINACIONAL
NA PRODUÇÃO DE MAQUINÁRIOS AGRÍCOLAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal de Uberlândia (UFU),
como requisito para a obtenção do diploma de
Graduação em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Luciano José Arantes.

Uberlândia-MG

2024

MARIANA VIEIRA SILVA

VINÍCIUS DIAS PEREIRA

**ESTUDO DO SISTEMA DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO E
APLICAÇÃO DE RETROFIT EM UMA MULTINACIONAL
NA PRODUÇÃO DE MAQUINÁRIOS AGRÍCOLAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Universidade Federal de
Uberlândia, como requisito parcial para a
obtenção do título de graduado em
Engenharia Mecânica.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr.

Prof.

Eng.

Uberlândia, 19 de junho de 2024.

AGRADECIMENTOS

Desde o início da graduação, minha família me apoiou com todo suporte necessário para que a conclusão do curso fosse possível, sou muito grata por toda ajuda. Agradeço meus professores da graduação e em especial ao meu orientador Luciano José Arantes na qual proporcionou toda sugestão e diretrizes para a realização do projeto e minha formação como engenheira.

Agradeço ao meu namorado, que é meu melhor amigo e parceiro neste projeto e forneceu diversos levantamentos da pesquisa. Também agradeço ao meu gato Tesla, meu companheiro de vida. Sou profundamente grata por todo apoio que me forneceram durante a realização dessa pesquisa, onde me apoiaram profundamente para que eu conclua a graduação e o projeto ocorresse.

Mariana Vieira

Agradeço a minha família, que me acompanhou em todos os passos que trilhei até esse momento, sem o apoio deles e carinho nada disso seria possível. Também agradeço a minha dupla e companheira por todos os momentos e experiências compartilhadas.

Gostaria de agradecer aos professores, especialmente o orientador Luciano Arantes, que serviram como pilares na construção dos conhecimentos e na minha formação como engenheiro.

Por fim, agradeço ao time de engenharia, especialmente ao engenheiro Cristiano Augusto, por compartilhar seus conhecimentos e experiências necessárias para o estudo realizado nesse presente artigo.

Vinicius Dias

SILVA, M.; PEREIRA, V. ESTUDO DO SISTEMA DE GESTÃO DA MANUTENÇÃO E APLICAÇÃO DE RETROFIT EM UMA MULTINACIONAL NA PRODUÇÃO DE MAQUINÁRIOS AGRÍCOLAS. 2024. 58 folhas. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

RESUMO

O agronegócio é considerado um dos pilares, para a economia brasileira, representando quase $\frac{1}{4}$ do Produto Interno Bruto do Brasil em 2023. Com o crescimento do agronegócio houve uma melhoria nos avanços das fabricações de máquinas agrícolas, desempenhando um papel fundamental na modernização e aumento da eficiência, gerando o crescimento desses equipamentos em solos nacionais. Com isso, esse trabalho apresenta um estudo referente ao sistema de gestão de manutenção, e a aplicação do Retrofit como ferramenta em uma unidade de fabricação de maquinários agrícolas. Se apresenta a integração entre as práticas de Manutenção Produtiva Total, que tem como base a melhoria contínua, e a Manutenção Centrada na Confiabilidade, que se utiliza das FMEAs para caracterização dos ativos da unidade. Nesse contexto, este trabalho também apresenta a implementação do modelo Retrofit para o equipamento de corte a plasma CNC EdgePro da Hypertherm da empresa localizada em Indaiatuba. Foi possível notar uma redução de custos de 76,3 % na utilização do Retrofit em comparação com a aquisição de um novo equipamento.

Palavras-chave: Retrofit; Maquinários Agrícolas; Manutenção Centrada na Confiabilidade; Manutenção Produtiva Total; FMEAs; Melhoria Contínua.

Silva, M.; Pereira, V. **STUDY OF THE MAINTENANCE MANAGEMENT SYSTEM AND RETROFIT APPLICATION IN A MULTINATIONAL COMPANY SPECIALIZING IN AGRICULTURAL MACHINERY PRODUCTION. 2024. 58 pages.** Final Course Project (Undergraduate in Mechanical Engineering) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, MG.

ABSTRACT

Agribusiness is considered one of the pillars for the Brazilian economy, representing $\frac{1}{4}$ of Brazil's Gross Domestic Product in 2023. With the growth of agribusiness there has been an improvement in advances in the manufacture of agricultural machinery, playing a fundamental role in the modernization and increased efficiency, generating the growth of this equipment on national soil. Therefore, this work presents a study regarding the maintenance management system, and the application of Retrofit as a tool in an agricultural machinery manufacturing unit. The integration between Total Productive Maintenance practices, which is based on continuous improvement, and Reliability Centered Maintenance, which uses FMEAs to characterize the unit's assets, is presented. In this context, this work also presents the implementation of the Retrofit model for Hypertherm's EdgePro CNC plasma cutting equipment from the company located in Indaiatuba. It was possible to notice a cost reduction of 76.3% when using Retrofit compared to purchasing new equipment.

Keywords: Retrofit; Agricultural Machinery; Reliability Centered Maintenance; Total Productive maintenance; FMEAs; Continuous Improvement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo da Revolução Industrial de acordo com a complexidade e tempo (COELHO,2016).	5
Figura 2 – Processo da evolução das manutenções em gerações (MARINELLE, 2021).	7
Figura 3 - Modelo da Engenharia de Manutenção (Adaptado de Kardec e Nascif, 2009).....	12
Figura 4 - Os pilares da Manutenção Produtiva Total (ENGEMAN, 2024)	13
Figura 5 - Estágio de TPM (Suzuki, 1994).....	15
Figura 6 - Análise de Modo e Efeito de Falha FMEA (RQP. Análise de Modo e Efeito de Falha FMEA, 2024).....	20
Figura 7 – Detalhamento da tabela de FMEA (Martins, 2008).	21
Figura 8 - Máquina de retrofit em processo de instalação da Toyo Advanced Technologies. Toyo Advanced Technologies (2000).	24
Figura 9– Detalhamento das etapas do Retrofit.....	26
Figura 10 - Tomadas de decisões em relação a aplicação Manutenção Centrada na Confiabilidade à empresa.	28
Figura 11 – Inspeção e Manutenção de Consumíveis de Tocha: LUP da empresa.	29
Figura 12 – Check List dos funcionários.....	30
Figura 13 – SAP PM aplicado na indústria. (Revista Manutenção, 2024).	31
Figura 14 - Fluxograma do ciclo do Retrofit.....	36
Figura 15 - Cortadora a Plasma CNC EdgePro da Hypertherm.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Participação do Agronegócio no PIB do Brasil entre 2000 e 2023 (CEPEA, 2024).	1
Tabela 2 - Detalhes da Ocorrência na coluna da FMEA aplicado na unidade.	32
Tabela 3 - Detalhes da Severidade na coluna da FMEA aplicado na unidade.	32
Tabela 4 - Detalhes da Detecção na coluna da FMEA aplicado na unidade.	33
Tabela 5 - Exemplo de FMEA aplicado a unidade.....	34
Tabela 6 - Orçamentos do Retrofit	39
Tabela 7 - Orçamento do equipamento novo	39

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
KPIs	<i>Key Performance Indicators</i>
LPP	Lição Ponto a ponto
LUP	Lição de Um Ponto
MASPs	Métodos de Análise e Solução de Problemas
NC	<i>Numerical Control</i>
PIB	Produto Interno Bruto
PM	<i>Plant Maintenance</i>
RCA	<i>Root Cause Analysis</i>
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i>
SAP	<i>System Applications and Products</i>
TDF	Teste de Detecção de Falhas
TPM	Total Productive Maintenance

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Objetivos.....	3
1.1.1. Objetivo Geral	3
1.1.2. Objetivo Específicos.....	3
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	4
2.1. Manutenção	4
2.2. Os Modelos de Manutenção	6
2.2.1. Manutenção Corretiva	7
2.2.2. Manutenção Preventiva	8
2.2.3. Manutenção Preditiva.....	9
2.2.4. Manutenção Detectiva	10
2.2.5. Engenharia de Manutenção	11
2.3. Ferramentas de Manutenção.....	12
2.3.1. Manutenção Produtiva Total	12
2.3.2. Metodologia 5S's.....	15
2.3.3. Manutenção Centrada na Confiabilidade	17
2.3.4. Análise do Modo e Efeitos de Falha.....	18
2.3.5. Análise Causa Raiz (RCA - Root Cause Analysis)	22
2.3.6. Retrofit.....	23
3. METODOLOGIA.....	27
3.1. Apresentação da empresa	27

3.2. Estudo de caso	27
3.2.1. Manutenção Produtiva Total aplicada à empresa	29
3.2.2. Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicada à empresa	31
3.3. Aplicação de Retrofit na Unidade	35
3.3.1. Ciclo de aplicação do Retrofit	36
4. RESULTADOS	38
4.1. Aplicação de Retrofit em uma Cortadora a Plasma.....	38
5. CONCLUSÃO.....	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43

1. INTRODUÇÃO

O agronegócio representa uma parcela importante da economia brasileira. De acordo com a publicação Sucesso no Campo (2024), em 2024 25% do PIB brasileiro vem do agronegócio, englobando agropecuária, agroindústria, insumos, distribuição e outros serviços.

Sendo um dos principais fatores de aumento do número de exportações nos últimos 20 anos. Segundo o Cepea (2024) a participação do agronegócio no PIB brasileiro mostra uma estabilidade relativa, oscilando em torno de um quarto do PIB total, conforme pode ser visto na tabela 1.

Tabela 1 - Participação do Agronegócio no PIB do Brasil entre 2000 e 2023 (CEPEA, 2024).

Ano	PIB Total Brasileiro	(A) Insumos	(B) Agropecuaria	(C) Indústria	(D) Serviços	Agronegócio Total (A+B+C+D)
2000	1.199.092	0,7%	3,9%	10,3%	15,6%	30,5%
2001	1.315.755	0,7%	4,4%	9,7%	15,2%	30,1%
2002	1.488.787	0,9%	5,1%	9,4%	14,7%	30,1%
2003	1.717.950	1,2%	5,8%	9,0%	14,4%	30,4%
2004	1.957.751	1,3%	5,1%	8,4%	12,8%	27,5%
2005	2.170.585	1,0%	4,0%	7,9%	11,6%	24,4%
2006	2.409.450	0,8%	4,3%	7,4%	10,9%	23,4%
2007	2.720.263	0,9%	4,3%	6,9%	10,6%	22,7%
2008	3.109.803	1,1%	4,5%	6,5%	10,4%	22,6%
2009	3.333.039	0,9%	3,8%	6,5%	10,1%	21,3%
2010	3.885.847	0,8%	4,3%	6,2%	10,1%	21,5%
2011	4.376.382	0,9%	4,8%	5,7%	9,3%	20,7%
2012	4.814.760	0,9%	4,2%	5,4%	8,6%	19,1%
2013	5.331.619	0,9%	4,2%	5,2%	8,4%	18,7%
2014	5.778.953	0,8%	4,2%	5,1%	8,5%	18,6%
2015	5.995.787	0,9%	4,3%	5,5%	9,3%	20,0%
2016	6.269.328	0,9%	5,0%	5,9%	10,2%	22,0%
2017	6.585.479	0,8%	4,5%	5,6%	9,6%	20,5%
2018	7.004.141	0,9%	4,3%	5,6%	9,3%	20,0%
2019	7.389.131	1,0%	4,4%	5,6%	9,5%	20,5%
2020	7.609.597	1,1%	7,0%	6,2%	11,6%	25,9%
2021	9.012.142	1,5%	7,8%	5,9%	11,4%	26,6%
2022	10.079.677	1,8%	6,8%	5,9%	10,8%	25,3%
2023	10.856.112	1,4%	6,7%	5,6%	10,4%	24,0%

Segundo a Embrapa (2024) a jornada ascendente da agricultura brasileira é resultado de múltiplos fatores. Os investimentos em pesquisa agrícola, trouxeram vários avanços nas ciências, tecnologia adequadas e inovações, que associando-se a abundância de recursos

naturais e extensas áreas agricultáveis resultou no atual cenário econômico .

Um dos principais campos de avanço tecnológico foi na produção de maquinários agrícolas que pudessem atender a demandas do agronegócio, sendo cada vez mais modernas. Em matéria da CNN, Eduardo Laguna (2022) apresentou os dados divulgados pela Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos (ABIMAQ), em 2022 o setor de maquinários agrícolas teve um aumento de 25,3 % em comparação com o ano anterior nas vendas no mercado interno, e nas exportações houve um aumento de 34,2 % no mesmo período.

Com isso, a indústria responsável pela fabricação de tais equipamentos sofreu uma extensa expansão de mercado, necessitando de modernização das linhas de produções para suportar as demandas crescente do mercado. Esses avanços no exigem a inserção de uma gestão de manutenção eficaz na produção de maquinários agrícolas para garantir a continuidade da produtividade. De acordo com Palmer (2016), uma organização eficaz da manutenção assegura o funcionamento adequado das máquinas, visando a melhor condição para o prolongamento da vida útil dos equipamentos.

Com isso, a eficácia da manutenção impacta diretamente nos custos gerais da empresa, influenciando a disponibilidade para produção. Por conseguinte, a otimização se apresenta como uma via viável para melhorar o desempenho operacional, resultando em uma produção mais eficiente e econômica. Adicionalmente, o incremento da confiabilidade, eficiência e segurança são aspectos fundamentais para a indústria.

Tais aspectos são pertinentes à fabricação de maquinários agrícolas, dada a alta competitividade e a importância de reforçar a imagem corporativa no mercado. A produção de maquinários agrícolas confiáveis e eficientes assegura um desempenho aprimorado, conferindo à empresa uma vantagem competitiva em relação aos concorrentes.

Este estudo foca nas estratégias adotadas pela abordagem de retrofit por uma multinacional na gestão de manutenção, visando à identificação e verificação de práticas que contribuam para melhorias no processo de produção de maquinários agrícolas. Serão explorados os desafios enfrentados e apresentados insights para o aprimoramento das práticas de gestão da manutenção e aplicação do retrofit no sistema em questão.

Na sequência, uma análise detalhada dos diversos segmentos permitirá uma compreensão mais aprofundada sobre a complexidade e dinâmica da gestão da manutenção com utilização do retrofit em relação à produção de maquinários agrícolas. A partir dos resultados obtidos pela investigação de parâmetros e análise de dados, será possível elaborar métodos de implementação, avaliando potenciais vantagens e desvantagens, e estabelecendo uma base sólida para o estudo.

1.1 Objetivos

1.1.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é um estudo de caso na empresa “X” a fim de analisar o desempenho do processo de Retrofit aplicado a gestão da manutenção nos ativos utilizados na fabricação de maquinários agrícolas. Com o propósito de apresentar conceitos gerais adotados pela empresa e aplicações que a companhia utiliza para que o Retrofit seja bem-sucedido.

1.1.2. Objetivo Específicos

Para alcançar as demandas em aplicação do Retrofit em manutenção do maquinário agrícola, os objetivos específicos do trabalho são:

- Analisar o processo produtivo das máquinas agrícolas para o estudo da linha de produção a ser utilizada no estudo;
- Comparar o antigo modelo de Manutenção Produtiva Total com o novo modelo de gestão de manutenção baseada na Manutenção Centrada na Confiabilidade, com a utilização da FMEA utilizada na empresa;
- Analisar o modelo de Retrofit aplicado na fábrica, passando pelo fluxograma do processo e suas interações;

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são exibidos conceitos teóricos que abordam o tema da pesquisa. Para facilitar a compreensão é demonstrado todo embasamento teórico e conceitos vinculados a manutenção no geral, para que posteriormente, seja analisado a aplicação do retrofit em ativos utilizados na produção de máquinas agrícolas na empresa abordada.

2.1. Manutenção

De acordo com Netto (2018), a palavra manutenção é derivada do latim, *manus tenere*, que significa "manter o que se tem". Assim, constata-se que a manutenção surgiu da necessidade de restabelecer as capacidades de trabalho de equipamentos ligados a produção.

Segundo Borlido (2017) podemos identificar que o conceito de manutenção sempre foi necessário em diversas ocasiões. Com a revolução industrial, houve várias mudanças relevantes em relação aos métodos de produção, na qual houve a necessidade de empregar uma economia industrial e mecanizada, já que anteriormente a economia agrária era predominante.

Conforme indicado por Lavor (2024), a partir desse momento, com uma maior mecanização das indústrias, houve a necessidade de execução de reparos iniciais em equipamentos, e até 1924, a manutenção era tratada como atividade secundária, sendo executada pela mesma equipe que executava a operação de produção.

Segundo o Conselho Federal de Administração (2024) na primeira revolução industrial ocorreu o primeiro paradigma na grande escala de produção, introduzindo modelos de trabalhos agrícolas e artesanais. Porém, a visão da época era; “todos os equipamentos se desgastavam com o passar dos anos, vindo a sofrer falhas ou quebras”. Não havia nenhuma manutenção sistematizada, fora as lubrificações e limpezas, era apenas realizado o reparo após a quebra (MAROCCO, 2013).

De acordo com o mesmo autor, na segunda revolução, envolve o desenvolvimento de indústrias com progressos dos automóveis e com a produção em massa. Conforme Abogado (2024), o modelo Taylorista, também conhecido como Administração Científica, denota que era empregado constantemente, na qual o trabalhador era adequado a máquina. Sua principal característica era a produção cronometrada e programada, agindo de modo repetitivo, com mínimo de interrupções e com subdivisões de tarefas.

Em seguida, com a aplicação do Fordismo, conforme Suno (2024) aponta em seu

artigo, foi um sistema de produção em massa que revolucionou a indústria automobilística e teve um impacto significativo na economia global. É derivado do desenvolvimento tecnológico e concebe-se trabalhos mais especializados. A adaptação da máquina ao trabalhador foi bastante importante, pois foi um dos fatores essenciais para o aperfeiçoamento do sistema. Com isto, foi possível produzir muito em pouco tempo, com padrões mais elevados, evitando gastos maiores em desperdícios, como indicado na matéria supracitada.

E na terceira revolução industrial há o marco de introdução de novas fontes de energia e novos métodos de agricultura são desenvolvidos por meio da produção. Mesmo que o Fordismo tenha sido um fator importante no desenvolvimento da produção em massa, muitas práticas industriais evoluíram, tendo abordagens mais flexíveis e adaptáveis. Mais avanços e mudanças tecnológicas continuaram ocorrendo e assim estes modelos ficaram ultrapassados, uma vez que não conseguiram suprir as novas exigências do mercado justamente por não se preocuparem com a qualificação dos trabalhadores. Se antes exigia-se especificidade, o mercado atual exige um conjunto de competências (MORO; AURAS, 2007).

Segundo Iberdrola (2024) a indústria 4.0 é começo de uma nova revolução, na qual é conhecida como Quarta Revolução Industrial. São enquadradas técnicas de produção com conceitos organizacionais. Na Figura 1 é possível observar o Processo da Revolução Industrial descrito nessa seção de acordo com a complexidade e tempo.

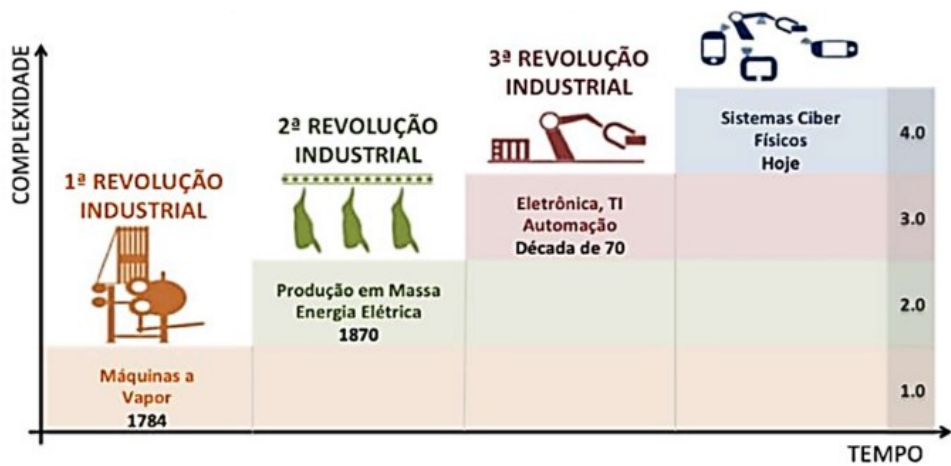


Figura 1 – Processo da Revolução Industrial de acordo com a complexidade e tempo (COELHO,2016).

De acordo com Schwab (2016), havia categorias de trabalho diferentes, envolvendo trabalhos mecânicos repetitivos. Em seguida, trabalhos manuais de precisão, sendo automatizados. Outras categorias surgem, enquanto a capacidade de processamento continua.

Com a necessidade de evoluir, as empresas intervieram para propor formas mais eficientes da organização do processo fabril, e com isso, os sistemas produtivos criados foram

adaptados para modelos mais eficazes. Ressalta-se que além de visar níveis maiores de produtividade, a qualificação do trabalhador em relação à máquina tem sido mais exigida atualmente, objetivando gastos menores por mal uso de equipamentos, exigindo menores recursos da empresa para a gestão e execução de manutenção, ressalta Adriano e Lima (2011).

A evolução dos processos de manutenção é bastante significativa, pois a transformação da industrialização e melhoramento da tecnologia são conceitos base para que a evolução do sistema ocorra. Com isto, a pesquisa é continua tendo como prioridade a eficiência em busca de uma abordagem mais holística para a gestão da manutenção.

No contexto, são utilizados diversos softwares que possam agregar a gestão da manutenção. Um deles, é o SAP (*System Applications and Products*) (sistemas, aplicativos e produtos para processamento de dados). A sigla é, ao mesmo tempo, o nome do sistema e da empresa que o criou e que é líder no mercado de softwares ERP (*Enterprise Resource Planning*) (TECNOENG, 2024).

De acordo com a Revista Manutenção (2024), o sistema SAP ERP auxilia na gestão da empresa, desde processos logísticos, estoques de matérias, até gestão de pessoas. Dentro desse sistema, existe um módulo denominado de PM (*Plant Maintenance*), na qual auxilia a gestão de manutenção, envolvendo parâmetros que possam ajudar: inspeções, avisos, manutenções preventivas e corretivas, entre outras ações que preservam os equipamentos.

2.2. Os Modelos de Manutenção

A progressão da geração de manutenção foi crucial para promover melhorias, na qual tem-se melhor garantia para uma maior eficiência operacional. Segundo o blog Sismetro (2024), a gestão da manutenção baseada em confiabilidade traz vários benefícios, consequentemente os equipamentos tem-se diminuição das falhas e o uso eficiente da tecnologia, na qual se aliaram às demandas da indústria, garantindo operações mais eficientes para os processos.

De acordo com Lavor (2024) foram feitos departamentos de manutenção. Com isso, a situação da Primeira fase são as intervenções corretivas. Com o objetivo central de além de corrigir avarias e quebras, também tem se a finalidade de as evitar na Segunda fase. Já na terceira fase do processo evolutivo, a manutenção passa a ser feita com análise de casos de falhas de equipamentos, com uma maior estudos e investigações. A seguir, na Figura 2 é possível observar a divisão de cada uma das gerações de manutenção.

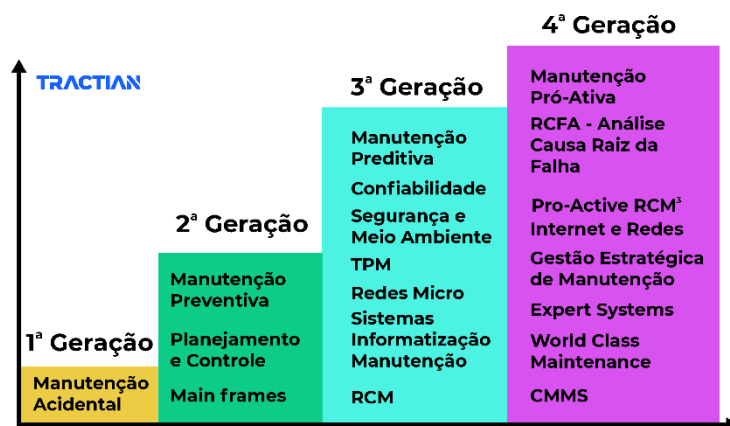


Figura 2 – Processo da evolução das manutenções em gerações (MARINELLE, 2021).

Em seguida, será mais bem esclarecido os tipos de manutenção, que se estabeleceram em determinadas gerações e foram contribuindo para a formação de uma melhor eficiência operacional. Cada abordagem dos tipos de manutenção, traz benefícios e desafios, sendo a escolha determinada através de análise profunda do monitoramento e técnicas que são empregadas em departamentos da manutenção.

2.2.1. Manutenção Corretiva

Por definição estabelecida pela NBR 5462:1994, da norma estabelecida em relação à confiabilidade e manutenibilidade, “manutenção corretiva é aquela efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida”. Assim, destaca-se a principal característica desse tipo de manutenção, na qual a atuação não é planejada, sendo sempre de forma reativa à falha ou queda de desempenho.

Conhecida como manutenção emergencial, pode ser separada em duas classificações, a manutenção corretiva não planejada e a manutenção corretiva planejada.

Como dito Kardec e Nascif (2009), “a manutenção corretiva não planejada é a correção da falha de maneira aleatória”, ou seja, sem qualquer planejamento prévio. Assim, vale destacar os altos custos associados a esse modelo de manutenção, pois além de contabilizar o custo direto da manutenção, soma-se o custo indireto da parada do equipamento.

De acordo com a TOTVS (2024) a manutenção corretiva planejada ou programa é realizada logo no início de uma falha crítica. Ou seja, é solucionado o problema, antes da falha funcional. A manutenção corretiva não planejada ou não programada, constitui-se em problemas

que surgem uma parada forçada. Em outras palavras, o funcionamento dos equipamentos é comprometido, sendo uma manutenção mais cara de se resolver.

Kardec e Nascif (2009) ressaltam que a manutenção planejada representa menores custos associados a parada da produção e ao retrabalho, além de amplificar a segurança e confiabilidade associada aos equipamentos quando aplicada. Um importante aspecto desse tipo de manutenção é a qualidade da informação obtida a partir do monitoramento do equipamento.

Porém, mesmo com a redução de custo associada à manutenção corretiva planejada, não é justificável a utilização única desse modelo de manutenção devido a necessidade de investimento elevado para alcançar os parâmetros de desempenho necessário em uma organização competitiva no mercado.

2.2.2. Manutenção Preventiva

De acordo com a NBR 5462/1994, a manutenção preventiva é efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

Ou seja, uma abordagem que envolve múltiplas ações planejadas e programadas, com o principal objetivo de evitar falhas em equipamentos e prolongar a vida útil dos ativos. Com a otimização da eficiência operacional empregada, o ideal é evitar paradas não planejadas e garantir inspeções regulares com controles de peças em estoque.

Há uma divisão da manutenção preventiva, podendo ser baseada no tempo ou na condição. A primeira, consiste em ser realizada de acordo com período estabelecido pelo plano de manutenção, periodicamente. Já a manutenção baseada na condição, diferentemente de ser realizada apenas em períodos determinados, ela consiste em avaliar a condição real do equipamento, assim como a manutenção preditiva.

De acordo com Soares (2020), todas as ações voltadas para evitar falhas, panes e quebras são consideradas manutenção preventiva. Inspeções, reapertos, substituição de peças desgastadas, limpeza, lubrificação e ajustes, são exemplos.

Gurski, em seu livro "Curso de formação de operadores de refinaria", aborda as noções essenciais de confiabilidade e manutenção industrial, destacando critérios para a aplicação da manutenção preventiva. Ele destaca certas condições particulares onde, mesmo não havendo uma análise apropriada de custo *versus* benefício, recomenda-se a adoção da manutenção preventiva.

A manutenção preventiva requer: um almoxarifado enxuto e mais eficiente possível, ou

seja, ter a noção mínima de materiais, de forma que se tenham apenas os itens necessários para manter a máquina em perfeitas condições e saber usá-los no momento correto. (SOARES, 2020).

Por múltiplas razões, realizar manutenções periódicas é considerado mais vantajoso, destacando-se, entre elas, a redução de custos. A identificação de problemas mínimos antes de se tornarem graves, é bastante relevante, visto que reduz consequentemente os custos emergenciais. Com isto, a prolongação da vida útil dos equipamentos se estende, reduzindo a necessidade de substituição de maquinário.

2.2.3. Manutenção Preditiva

De acordo com a NBR 5462/1994, a manutenção preditiva é a garantia de qualidade de serviço desejada, baseado na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para a redução da manutenção preventiva e a manutenção corretiva.

Somado a isso, a manutenção preditiva, é também conhecida como Manutenção Sob Condição ou Manutenção com Base no Estado de Equipamento, que foi definida por Kardec e Nascif (2009) como aquela em que a atuação é realizada com base na alteração de parâmetros de condição ou desempenho, cujo monitoramento obedece a uma sistemática.

Com isso, pode-se dizer que a manutenção preditiva tem como foco a prevenção de falhas através do acompanhamento de indicadores diversos associados com as condições e desempenho dos ativos, assim é possível a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível.

Esse modelo de manutenção, como dito por Gurski (2002), “privilegia a disponibilidade à medida que não há intervenção nos equipamentos ou sistemas, devido ao fato das análises serem feitas durante o funcionamento da máquina”. Em vista disso, quando a decisão de intervenção tende a ser tomada quando há aproximação ou alcance do limite previamente estabelecido.

Através de técnicas preditivas é feito o monitoramento da condição e a ação de correção, quando necessária, sendo realizada através de uma manutenção corretiva planejada. (KARDEC E NASCIF, 2009).

De acordo com a TOTVS (2024) na indústria 4.0 esse ponto é ainda mais vital, visto que as fábricas se inclinam a trabalhar para atender inúmeras demandas. O autor cita vários pontos importantes que a manutenção preditiva busca:

- Impedir paradas forçadas;
- Ampliar a confiabilidade no maquinário;
- Eliminar a necessidade de manutenção corretiva;
- Incrementar mais tempo de disponibilidade do maquinário;
- Potencializar a vida útil de máquinas e equipamentos;
- Evitar necessidade de reparos ou desmontagem de equipamentos;
- Descobrir potenciais falhas que possam interromper a produção.

Com a análise supradita, vale ressaltar as melhorias nas condições de segurança pessoal e operacional, na qual diminuem falhas catastróficas ou inesperadas, reduzindo significativamente o número de acidentes. Além disso, verifica-se a redução de custos devido à eliminação das intervenções desnecessárias, e, por fim, o prolongamento da vida útil em geral.

Entretanto esse modelo apresenta o ônus da necessidade de investimentos nos sistemas de monitoramento e na especialização da mão de obra devido à necessidade constante de medir, analisar e formular diagnósticos.

2.2.4. Manutenção Detectiva

A manutenção detectiva é atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar falhas ocultas ou não perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção (KARDEC E NASCIF, 2009). É bastante importante a análise de falhas ocultas pois é necessário garantir a confiabilidade dos sistemas.

De acordo com Gurski (2002) outro exemplo simples e objetivo é o botão de teste de lâmpadas de sinalização e alarme de painéis. Sendo a manutenção detectiva a verificação caso um sistema de proteção ainda esteja funcionando.

Há várias vantagens na utilização deste tipo de manutenção. É possível citar, por exemplo, a redução de imprevistos e equipe capacitada, visto que a manutenção detectiva exige mão de obra qualificada para garantia de realização dos problemas. Entretanto, umas das desvantagens desse método, ressalta-se o alto custo de operação, em função de um alto investimento e uso de ferramentas adequadas para tais serviços, conforme a TOTVS (2024).

Em sistemas mais complexos, essas ações só devem ser levadas a efeito por pessoal da área de manutenção, com treinamento e habilitação para tal, assessorado, pelo pessoal de

operação (GURSKI, 2002). Em virtude de que a equipe responsável deve ser apta para o propósito da aplicação dos quesitos supracitados, juntamente com a equipe de técnicos.

O teste de detecção de falhas (TDF) é um tipo de manutenção detectiva que detecta falhas ocultas. De acordo com a TOTVS (2024) esse teste reduz o desperdício de recursos e aumenta a vida útil dos equipamentos e sistemas.

Por conseguinte, para um plano de ação que tenha uma gestão qualificada da manutenção detectiva, reforça a disponibilidade de tempo e investimento em um plano de manutenção. Além disso, definir uma rotina para cada ativo levando suas características e necessidades, é de extrema relevância. Visando assim uma redução de gastos, identificando os problemas antes de falhas graves.

2.2.5. Engenharia de Manutenção

A Engenharia de Manutenção pode ser definida como o conjunto das atividades desenvolvidas no ambiente industrial, que focam no aumento da confiabilidade e na garantia da disponibilidade dos ativos.

Como é dito por Gurski (2002), A prática da Engenharia de Manutenção implica em abandonar a atividade de consertar constantemente, buscando as causas fundamentais e modificando as situações recorrentes de mau desempenho.

Desse modo, a Engenharia de Manutenção tem como objetivos aumentar confiabilidade e disponibilidade, melhorar a manutenibilidade e segurança, eliminar problemas crônicos, capacitar a mão de obra, gerir materiais e sobressalentes, e por fim, participar de novos projetos, suportando a execução e realizando estudos e análises de falhas, assim atuando também na elaboração de planos de manutenção e de inspeção. Com isso, faz a utilização de todo mecanismo empregado nos tipos de manutenções, como visto na Figura 3.

Um aspecto interessante a se destacar é a utilização dos dados do monitoramento de indicadores colhidos e guardados no sistema de acompanhamento preditivo para tomadas de decisão na Engenharia de Manutenção, assim manuseando-os para as análises de estudo e proposição de melhorias. Como é citado em Kardec e Nascif (2009), a Engenharia de Manutenção utiliza dados adquiridos pela Manutenção, para melhorar.

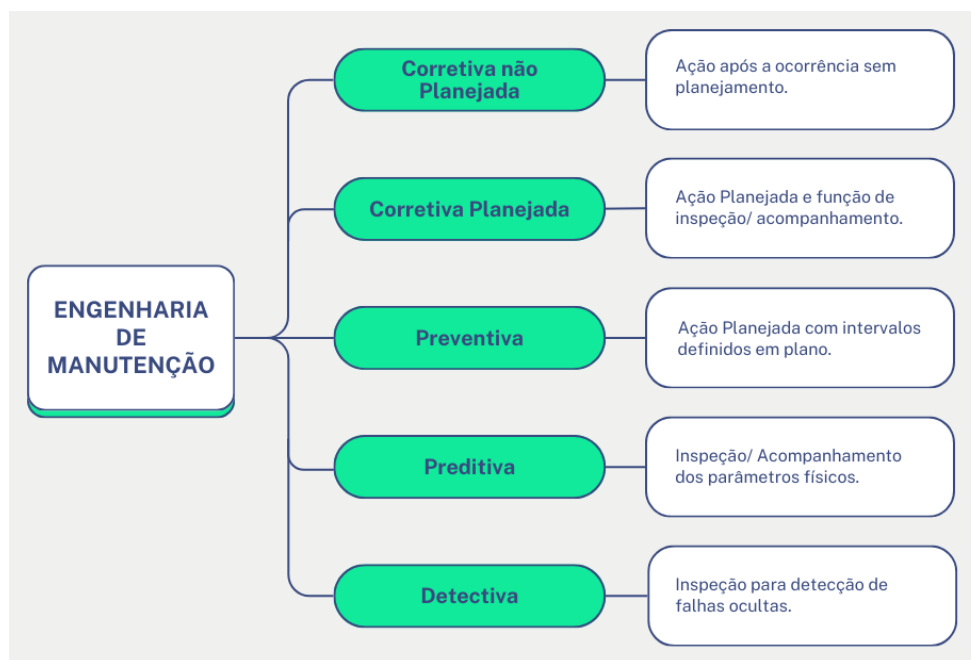


Figura 3 - Modelo da Engenharia de Manutenção (Adaptado de Kardec e Nascif, 2009).

2.3. Ferramentas de Manutenção

2.3.1. Manutenção Produtiva Total

Como explicado por Nascimento (2006), TPM é uma sigla em inglês para *Total Productive Maintenance* que traduzindo livremente significa Manutenção Produtiva Total. Esta metodologia visa melhorar a “performance” (desempenho) e a produtividade dos equipamentos de uma fábrica. Todos na fábrica, em qualquer nível, devem se envolver na cultura e nas atividades; por isso da palavra Total em seu nome (MAROCCO, 2013).

Conforme a TOTVS (2024), com o objetivo de minimizar erros e gargalos de processo, implementa-se uma espécie de acompanhamento voltado à produtividade da organização como um todo.

Segundo Marrocco (2013) é uma gestão que aborda conceitos de eficiência geral dos sistemas e processos de manufatura. Com origem no Japão, por volta dos anos 70, a metodologia consiste em integrar os setores de manutenção, em conjunto, para técnicas de prevenção sistemática de perdas e defeitos.

Segundo o site da Engeman (2024) ela é formada por oito pilares como mostrado na Fig.

4:



Figura 4 - Os pilares da Manutenção Produtiva Total (ENGEMAN, 2024)

Ainda de acordo com a mesma fonte, na manutenção autônoma os funcionários são capacitados para realizarem atividades com autonomia e conhecimento. Este conceito aborda a capacitação de operadores de máquinas e equipamentos para realizarem tarefas de manutenção, inspeções, lubrificações, entre outros parâmetros.

Suzuki (1994) aborda que os empregados de indústrias de processo estão cada vez mais escassos, crescentemente extintos, e mais habilitados, por isso, o treinamento deve ser uma parte integral da carreira de um sistema de desenvolvimento.

A Manutenção planejada ou programa, é bastante relevante ao contexto do TPM, visto que ela engloba os três principais tipos de manutenção: de parada, preventiva e preditiva. Suzuki (1994) destaca-se que como outras atividades do TPM, construir um sistema de manutenção planejada deve ser sistematicamente feita um passo de cada vez.

Na manutenção da qualidade tem-se a garantia de inspeção dos sistemas. TOTVS (2024) indica que a qualidade dos processos industriais depende de diversos fatores, e são consideradas as melhores tecnologias, metodologias e novas ideias que possam aumentar o valor de cada tarefa.

As melhorias específicas são atividades orientadas que maximizam a eficiência global do equipamento, através da eliminação sistêmica de perdas. Melhorias específicas são necessárias devido à baixa eficiência de ações de melhoria contínua (MARTINS, 2024).

Já no controle inicial é feita a análise para a instalação dos produtos. O controle da qualidade de suas ferramentas de trabalho também é determinante para o aumento de produtividade e redução de erros (ENGEMAN, 2024).

O pilar de educação e treinamento no TPM conforme Martins (2024), o desenvolvimento contínuo dos recursos humanos da organização tem como objetivo o aperfeiçoamento contínuo dos talentos. Isso é alcançado mediante a identificação do nível de conhecimento, tecnologia,

capacidade e competência dos operários e técnicos envolvidos no processo.

Ainda de acordo com o mesmo autor, no que concerne o TPM, o pilar de educação e treinamento busca a disseminação de conhecimentos e habilidades entre líderes, supervisores e operários. A ferramenta fundamental para esse propósito é a Lição de Ponto a Ponto (LPP ou LUP), que permite registrar, transmitir e verificar o *know-how* da fábrica de maneira simples e visual. As LPPs cobrem uma ampla gama de atividades, como qualidade, segurança, operação e função dos equipamentos, estrutura, resolução de problemas e melhorias.

Segundo a matéria de Fracttal (2024) O monitoramento e a avaliação de desempenho em segurança, higiene e meio ambiente são essenciais para o sucesso contínuo do TPM. Isso envolve revisões de incidentes, auditorias internas e a medição do desempenho por meio de indicadores-chave de desempenho (KPI).

O mesmo autor indica que, os indicadores podem abranger, por exemplo, a taxa de acidentes de trabalho, o número de incidentes relacionados à exposição a substâncias químicas, a quantidade de resíduos gerados ou a redução das emissões de gases de efeito estufa. Ao monitorar e avaliar esses indicadores de forma sistemática, as empresas podem identificar áreas a serem aprimoradas, estabelecer metas de desempenho e assegurar que as práticas de segurança, higiene e meio ambiente estejam de acordo com os objetivos do TPM.

Áreas administrativas são aplicadas com intuito de melhorar estratégias na TPM objetivando a redução de desperdício em áreas gerenciais. Isso abrange departamentos como planejamento, engenharia, desenvolvimento, RH e outros ligados à produção, responsáveis pela administração de bens ou serviços que impactam os lucros ou prejuízos da empresa.

Segundo Suzuki (1994) além das oito atividades principais do TPM, incluem:

- Manutenção de Diagnóstico e Preditiva
- Gerenciamento de Equipamento
- Desenvolvimento de Produtos e Projeção de Equipamento e Construção

Deste modo, o mesmo autor conclui que quando o foco é estritamente no equipamento, os times seguem métodos semelhantes aos desenvolvidos nas indústrias de fabricação e montagem. Eles documentam e analisam as maiores perdas relacionadas ao equipamento, depois estudam o equipamento cuidadosamente para identificar as condições de processo que serão requeridas para assegurar o cumprimento de sua função.

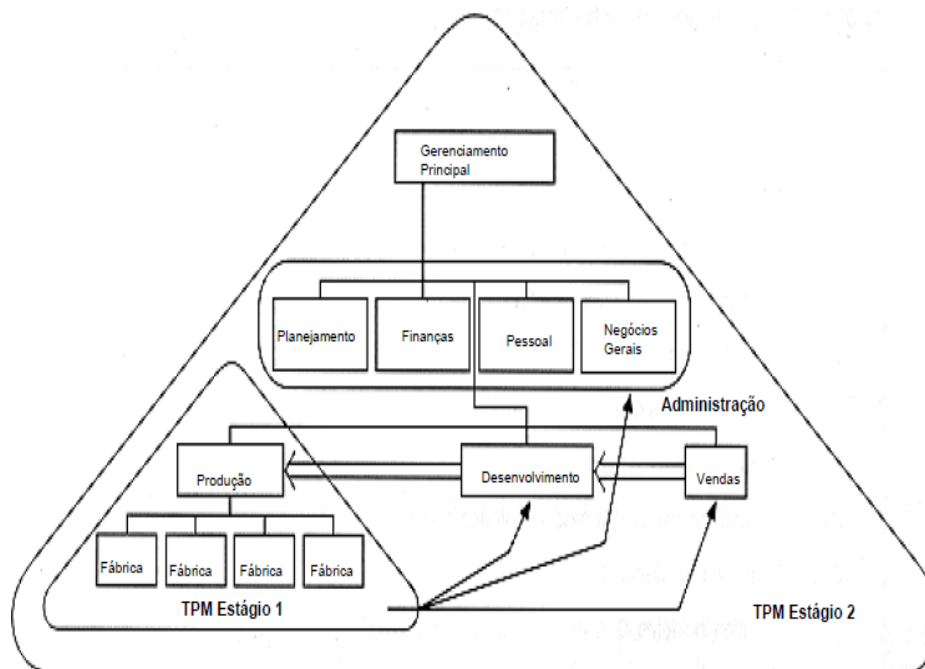


Figura 5 - Estágio de TPM (Suzuki, 1994).

A Figura 5 a ser analisada, representa uma abordagem holística estruturada, e em fases para a implementação da TPM. Esta abordagem envolve a manutenção e produção, com técnicas que abordam a redução de custos, objetivando a melhoria na produtividade e qualidade indústria, para promover melhor eficiência com a integração dos processos de negócios.

Conforme relatado por Costa (2021), o primeiro estágio do TPM está ligado apenas à função produção. O segundo estágio está ligado às áreas de apoio à função produção, o que significa que a manutenção amplia seu campo de atuação, ou seja, além de atender e estabelecer a manutenção preventiva, ela estende a gestão para outras áreas, de modo a assegurar a eficiência das operações em todos os níveis da organização.

2.3.2. Metodologia 5S's

A metodologia 5S é uma abordagem de gestão de qualidade que visa otimizar o ambiente de trabalho, melhorando a eficiência operacional e criando uma cultura de disciplina e organização contínua nos processos.

Originária do Japão, a metodologia é baseada em cinco princípios fundamentais, cada uma começando com a letra "S" do alfabeto japonês. Reyes, Aguilar, Hernandez, Acosta e Piñero(2017) definem como: Seiri (Senso de Utilização), Seiton (Senso de Organização), Seiso

(Senso de Limpeza), Seiketsu (Senso de Padronização) e Shitsuke (Senso de Disciplina). Segue uma explicação mais detalhada:

- **Seiri (Senso de Utilização):** Refere-se à prática de separar o necessário do desnecessário e descartar o que não é utilizado. Isso ajuda a reduzir a desordem e a otimizar o espaço de trabalho.
- **Seiton (Senso de Organização):** Envolve a organização de todos os itens necessários de maneira que sejam facilmente acessíveis e identificáveis. Isso reduz o tempo de procura e aumenta a eficiência no trabalho.
- **Seiso (Senso de Limpeza):** Enfatiza a importância de manter o ambiente de trabalho limpo e arrumado. Isso não só melhora a segurança e saúde no local de trabalho, mas também promove um ambiente de trabalho mais agradável.
- **Seiketsu (Senso de Padronização):** Trata-se da implementação de padrões nos processos de trabalho para manter a ordem, a limpeza e a eficiência. Isso ajuda a manter a consistência e a qualidade do trabalho.
- **Shitsuke (Senso de Disciplina):** Refere-se à prática de manter procedimentos e seguir as regras estabelecidas. Isso incentiva uma cultura de disciplina e responsabilidade entre os funcionários.

O 5S pode ser representado como um sistema que permite a criação das condições necessárias para a implementação de novas soluções técnicas; baseia-se em ideias inovadoras. Também são realizadas otimizações do espaço de trabalho e do processo produtivo; adotar uma abordagem sistemática que envolve trabalho em equipe, incluindo a participação de todos. (REYES et al, 2017).

De acordo com Salazar *et al.* (2022) O principal benefício proporcionado pela implementação da metodologia 5 S nas empresas é o aumento da produtividade, pois haverá menos produtos defeituosos, por outro lado, haverá menos acidentes, menos transferências ou movimentações desnecessárias e menos tempo para troca de ferramentas. Haverá uma melhoria na qualidade e finalmente o ambiente de trabalho será o adequado.

Além disso, a implementação eficaz da metodologia 5S resulta também a promoção de uma cultura organizacional positiva. Empresas de diversos setores adotam a metodologia 5S como uma ferramenta fundamental para a gestão da qualidade e a melhoria contínua dos processos.

Com isso, denota-se que a aplicação da metodologia 5S envolve toda a equipe da organização. As empresas que adotam essa prática relatam não apenas melhorias operacionais, mas também um impacto positivo na cultura organizacional, com um ambiente de trabalho mais

agradável e produtivo, quando empregam as metodologias sobreditas.

2.3.3. Manutenção Centrada na Confiabilidade

A Manutenção Centrada na Confiabilidade, ou também, chamada *Reliability Centered Maintenance*, é definida por Moubray em seu livro RCM II: Manutenção Centrada em Confiabilidade, publicado em 2000, como “um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que os seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional presente”.

A Manutenção Centrada na Confiabilidade pode ser considerada o programa racional e sistemático, formado por um conjunto de técnicas de engenharia, essas tendo a função de assegurar que os ativos de uma planta fabril continuarão realizando suas funções.

Para Fogliatto e Duarte, em seu livro Confiabilidade e Manutenção Industrial, publicado em 2011, uma das principais características que garantem ao modelo RCM são seus pilares de base. Entre esses pilares, podem ser citados: (i) envolvimento constante de engenheiros, técnicos de manutenção e operadores, formando um ambiente de engenharia simultânea; (ii) tarefas de manutenção direcionadas pelo estudo das consequências de falhas; (iii) amplo leque de análises, tendo em conta aspectos de segurança, meio ambiente, operações e custos; (iv) enfoque nas tarefas preditivas e preventivas, sendo uma abordagem proativa; (v) aumento na confiabilidade através do trabalho nas falhas escondidas.

Para Moubray (2000), o processo RCM baseia-se em sete questões:

- Quais são as funções e padrões de desempenho esperados de um ativo no contexto fabril?
- Quais as formas de falhas no cumprimento de sua função os equipamentos estão expostos?
- Quais as causas de cada falha funcional?
- Quais as consequências das falhas quando essas ocorrem?
- De que forma a falha importa?
- Quais ações podem ser tomadas para prevenir e predizer cada falha?
- Quais ações devem ser tomadas se não for possível aplicar uma tarefa proativa apropriada?

A primeira ação realizada no processo RCM, seria a identificação das funções e padrões de desempenho dos equipamentos fabris. Assim, todos devem entender o que é esperado do ativo, além de assegurar que ele seja capaz de realizar as tarefas desejadas durante sua vida útil.

As funções esperadas pelos usuários podem ser divididas em duas categorias, conforme definido por Moubray (2000):

- **Funções primárias:** São aquelas que levaram a aquisição dos ativos, contendo especificações como velocidade, quantidade, qualidade do produto, entre outras.
- **Funções secundárias:** São aquelas esperadas além das principais, sendo principalmente relacionado as expectativas como segurança, proteção, conformidade com regulamentos ambientais e até os aspectos visuais.

Para a questão seguinte, o RCM foca na identificação dos modos de falha, analisando como os equipamentos podem falhar em cumprir suas funções. Como é dito em Moubray (2000), a ocorrência responsável pelo item para de realizar a sua função seria a existência de uma falha, assim ao adotar uma abordagem focada no gerenciamento de falhas, a manutenção atinge seus objetivos.

Os modos de falhas podem ser definidos como eventos, passíveis de ocorrer, caracterizados pela ocorrência de falha afetando o cumprimento das funções específicas para o componente (FOGLIATTO; DUARTE, 2011). Para o RCM, aos estados de falha são chamados de falhas funcionais, e estão associadas a incapacidade de um componente atender suas funções em um padrão de desempenho aceitável pelo usuário.

Vale ressaltar que os modos de falha sujeitos à análise incluem aqueles que já ocorreram no passado, bem como os que, embora ainda não tenham ocorrido, são considerados pela equipe como possíveis de acontecer no futuro. Portanto, faz-se necessário a participação ativa do pessoal de manutenção e operacional durante a identificação dos modos de falha associados aos equipamentos em análise.

Com os modos de falha identificados, o passo seguinte seria identificar todos os possíveis eventos razoáveis de acontecer e causarem os diferentes estilos de falhas (MOUBRAY, 2000). Assim, o foco seria na identificação das causas de cada falha funcional, atendo-se aos detalhes necessários para assegurar que as ações atuem na raiz do problema, e não corrigindo somente os sintomas.

2.3.4. Análise do Modo e Efeitos de Falha

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), na norma NBR 5462 (1994),

adota a sigla originária do inglês FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*) e a traduz como sendo Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos. Observa-se que a norma utiliza o termo pane para expressar falha. Ainda segundo a norma, o FMEA é um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas que podem existir para cada item, e a determinação dos efeitos de cada modo de falha sobre os outros itens e sobre a função específica do conjunto NBR 5462 (1994).

De acordo com Mikulak *et al.* (2008) os FMEAs estão focados na prevenção de defeitos, melhorando a segurança e aumentando a satisfação do cliente. Idealmente, os FMEAs são conduzidos nos estágios de projeto do produto ou desenvolvimento do processo, embora a realização de um FMEA em produtos e processos existentes também possa gerar benefícios substanciais.

O objetivo de um FMEA é procurar todas as maneiras pelas quais um processo ou produto pode falhar. Uma falha do produto ocorre quando o produto não funciona como deveria ou quando apresenta mau funcionamento de alguma forma. Mesmo os produtos mais simples apresentam muitas oportunidades de fracasso, segundo os mesmos autores.

Com origem da engenharia de qualidade, por volta da década de 50, com estudos de falhas em sistemas militares, a FMEA é uma das primeiras técnicas sistemáticas para análise de falhas. Tais abordagens possuem várias vantagens, como: Redução de riscos e custos, melhorias da qualidade, aumento da confiabilidade e segurança, apoio a tomada de decisões e satisfação do cliente.

De acordo com a apostila “Análise de Modo e Efeito de Falha FMEA” da RQP, tem se a metodologia com a finalidade de:

- Identificar, priorizar e agir em relação a falhas potenciais do produto e processo.
- Aumentar a confiabilidade, disponibilidade e a manutenção dos requisitos estabelecidos para o produto e o processo.
- Mudar o paradigma de relação interdepartamental, integrando as equipes, saindo do conceito.

Segue uma abordagem mais detalhada, dividida em 5 fases, como mostrado na Fig. 6:

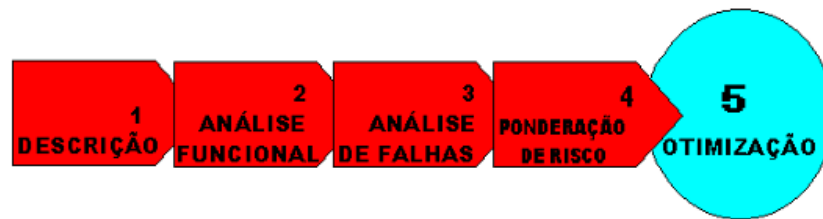


Figura 6 - Análise de Modo e Efeito de Falha FMEA (RQP. Análise de Modo e Efeito de Falha FMEA, 2024)

A análise é feita com base na experiência ou na física da lógica da falha, identificando potenciais falhas nos processos e produtos. Há diferentes tipos de FMEA, como funcional, design e processo. Os diferentes tipos de FMEA são adaptados para avaliar riscos em várias fases do ciclo de vida de um produto ou processo. Para os tipos mais comuns de FMEA Borselli (2021) afirma que:

- **FMEA de design ou de produto:** é usado para precaver problemas no projeto do produto antes de fabricá-lo.
- **FMEA de processo:** Seu objetivo é identificar e avaliar potenciais falhas que podem ocorrer durante a execução ou alteração de um processo, propondo ações corretivas para mitigar esses riscos. Essa metodologia é utilizada para prevenir problemas em diversas etapas de um processo, como fabricação, montagem, venda ou serviço.
- **FMEA de sistema, serviço ou software:** são usados para prevenir problemas em sistemas complexos, serviços prestados ou programas de computador.

Em diversos sistemas são utilizados a FMEA, envolvendo software, hardware, processos, interfaces. Tais sistemas podem ser adaptados de acordo com possíveis objetivos específicos. Ou seja, pode ser utilizada em qualquer sistema, com detalhes dos componentes de um sistema ou etapas de um processo. A técnica permite priorizar os modos de falha, baseados na gravidade ou medidas de importância.

Conforme apontado por Martins (2008) a tabela de FMEA (Fig. 8) é usada para avaliar, de forma sistemática, potenciais falhas em produtos ou processos e para identificar ações que poderiam eliminar ou reduzir a chance de falhas ou mitigar seus efeitos. Esta análise pode ser aplicada em diferentes fases do ciclo de vida de um produto ou serviço, desde o design até a produção e o uso final. Segue abaixo um exemplo da tabela para análise de processo.

Sistema Sub-sistema Componente		POTENTIAL FAILURES MODE AND EFFECTS ANALYSIS (FMEA)		FMEA Nº: _____		1 / 1
Modelo(s) Programa(s) _____		Responsável p(Pro)jecto _____		Página _____ de _____		
Equipa: _____		Data Crítica _____		Elaborado por _____		
		Data FMEA Original + (Rev.) _____		_____		

[illegible]

Figura 7 – Detalhamento da tabela de FMEA (Martins, 2008).

De acordo com Leal *et.al* (2006) os fatores que auxiliam na definição de prioridades de falhas são: ocorrência, severidade e detecção. A ocorrência define a frequência da falha, enquanto a severidade é associada à gravidade do efeito da falha. A detecção é a capacidade de detectar a falha. Para a avaliação de criticidade das causas de uma possível falha, é utilizado o RPM.

Segundo a Nortegubisian (2024), o cálculo do Número de Prioridade de Risco (NPR) (do inglês "*Risk Priority Number*"), é crucial para determinar a ordem de prioridade na intervenção das falhas identificadas. Após a classificação dos modos de falha de acordo com a prioridade estabelecida pelo RPN a equipe responsável pela FMEA deve dedicar-se a esforços de melhoria. Essas ações visam atenuar a severidade, a frequência de ocorrência ou a capacidade de detecção das falhas, iniciando pelas consideradas mais críticas. Esta abordagem sistemática assegura que os recursos sejam aplicados de maneira eficaz na mitigação dos riscos mais significativos identificados no processo.

De acordo com a Escola DNC (2024), os tópicos mais importantes do RPN são:

- É ferramenta essencial que ajuda a identificar e priorizar os modos de falha no processo;
- É calculado multiplicando a severidade, ocorrência e detecção de cada modo de falha, indicando a criticidade do problema;
- Modos de falha com um RPN mais elevado são vistos como mais críticos e devem ser priorizados nos planos de ação para melhorias.

2.3.5. Análise Causa Raiz (RCA - *Root Cause Analysis*)

A análise de causa raiz (RCA) é um método para auxiliar e descobrir a causa inicial de problemas que geram impactos aos processos, partindo do princípio de que a prevenção é mais útil para ser implementada primeiramente, do que tratar causas que podem gerar impactos maiores, conforme a matéria em Tableau (2024).

Para esta análise é utilizada várias técnicas que auxiliam uma visualização holística e detalhada, permitindo a localização exata da conformidade e os impactos gerados, para posteriormente ter tomada de ações corretivas.

De acordo com Cabral Aguiar (2014) a RCA é um processo que envolve várias etapas e que demanda homem-hora de especialistas e trabalhadores que estão diretamente envolvidos no problema, ou seja, recursos que, ao invés de estarem desempenhando suas atividades cotidianas e rotineiras, estão temporariamente e exclusivamente dedicados à resolução definitiva do problema.

Há vários métodos para a implementação da RCA, tais métodos destacam-se vantagens e desvantagens. A orientação da escolha apropriada do método, é importante para a reparação imediata e definitiva de uma conformidade. Tais métodos serão mais bem descritos ao longo do estudo.

Vale mencionar que há uma diferença entre a análise de causa raiz e os Métodos de Análise e Solução de Problemas (MASPs). Os MASPs buscam a resolução de problemas como um todo, mas seus fundamentos e a maneira de aplicá-los numa organização não focam especificamente em encontrar a causa raiz do problema. Esta é apenas uma etapa do processo, e em muitos MASPs, qualquer método para analisar a causa raiz pode ser utilizado, conforme Cabral Aguiar (2014).

Há vários passos a seguir para a implementação da RCA, sendo a definição do problema, o primeiro tópico a ser levantado, visto que precisa ser analisado qual a conformidade que precisa ser resolvida. Em seguida, a identificação de causas e o levantamento das causas reais. Posteriormente, uma análise de listagem de possíveis soluções é determinada, e por fim, a execução e análise de resultados.

A Análise de Causa Raiz é um método estratégico para resolver problemas em variados campos, incluindo ciência, engenharia, manufatura e assistência médica. Este processo implica seguir passos específicos para identificar e compreender os elementos centrais que contribuem para falhas em sistemas.

Ammerman (1998) lista os seguintes objetivos para RCA:

- Eliminar causas presumíveis relacionadas a problemas de performance, tais como procedimentos, pessoas, equipamentos, processos;
- Eliminar causas presumíveis e aparentes, não sustentadas por dados coletados do problema;
- Selecionar causas que requerem verificação;
- Determinar causa raiz e causas que contribuíram para o problema e que necessitam de ações corretivas.

De acordo com Rooney e Heuvel (2004), outro benefício eficaz de uma RCA é que ao longo do tempo, causas raízes identificadas em toda a gama de ocorrências podem ser usadas para atingir grandes oportunidades de melhoria.

2.3.6. Retrofit

A palavra “Retrofit” é utilizada em muitos meios, segundo Barrientos (2004 apud TAMBASCO; QUELHAS, 2012, pg. 449) "Retrofit é a conjunção dos termos “retro”, oriundo do latim, cujo significado é "movimentar-se para trás", e “fit” do inglês, que significa adaptação, ajuste". Ou seja, o retrofit é o processo de modificar um objeto para restaurar ou até mesmo aprimorar as características para as quais ele foi originalmente projetado.

De acordo com Costa (2018), diversos são os fatores que devem ser levados em consideração antes da decisão pela execução ou não de um processo de retrofit, pois antes de tudo, é necessário que haja uma avaliação criteriosa a ser feita no imóvel e nos anseios do cliente, nos custos estimados e a viabilidade logística para a execução.

Retrofit significa aprimorar o equipamento existente com uma solução IoT que melhore ou adicione novos recursos, como monitoramento sempre ativo, análise de dados, detecção de produtos defeituosos ou manutenção preditiva. Preferencialmente, estas soluções deverão ser não invasivas, de forma a simplificar a implementação da solução e os processos de manutenção (ZERYNTH, 2023).

A Figura 8 apresenta uma comparação visual de uma máquina antes e depois de um processo de retrofit. À esquerda, a máquina T-118A, fabricada em 1973, é mostrada em seu estado original, sendo uma tecnologia disponível à época, com sistemas mais básicos e simples de componentes mecânicos básicos. À direita, a mesma máquina é apresentada após o retrofit, atualmente denominada T-118CNCR.

O processo de retrofit envolveu uma revisão completa e a substituição do Sistema De Controle Numérico ou *Numerical Control* (NC). Com modernização de novos componentes na máquina, com melhorias visíveis, na qual possuem uma interface de controle digital que facilita a operação.

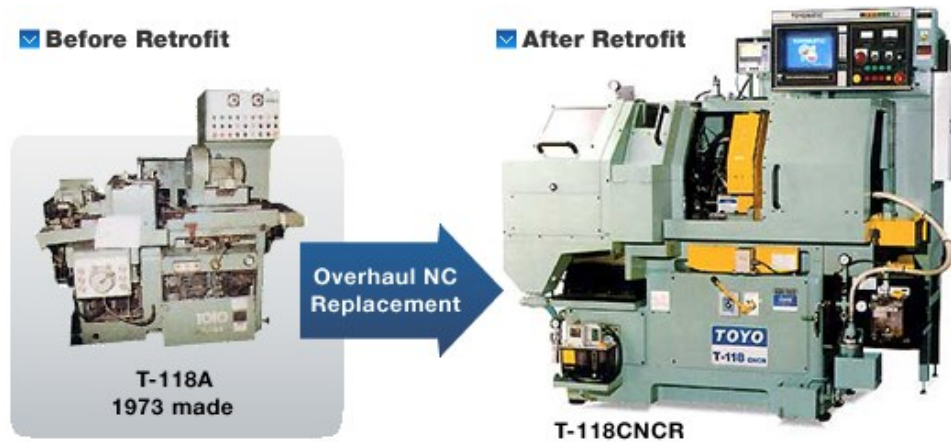


Figura 8 - Máquina de retrofit em processo de instalação da Toyo Advanced Technologies. Toyo Advanced Technologies (2000).

Tal abordagem é estabelecida como uma alternativa econômica à aquisição de novas máquinas, que pode evitar os altos custos, dependendo da aplicação. Para isso, essa abordagem requer treinamento e qualificações específicas às adaptações locais que a compra de equipamentos novos frequentemente necessita, aponta Vicentin (2021).

Considerando os desafios e necessidades de inovação na manutenção destacados e analisados anteriormente, o retrofit pode ser uma solução estratégica e viável. A princípio, foi abordado a evolução dos processos de manutenção, esclarecendo a importância da modificação de não planejadas às estratégias mais eficazes como a manutenção preditiva, detectiva e preventiva, e com a inserção do retrofit, isso, poderá ser mais compreendido, com perspectiva holística.

Vicentin (2021) aborda que o retrofit é um complemento às práticas de manutenção preventiva e preditiva, na qual tem se a possibilidade de melhorar a capacidade do controle dos sistemas, tendo um maior direcionamento à manutenção. Este método pode responder às necessidades imediatas, na qual busca soluções que minimizam o tempo disponibilizado, para maximizar a eficiência operacional.

A integração de novas funcionalidades aos mecanismos, permite a modernização desses equipamentos, permitindo estender a vida útil das máquinas existentes, diminuindo o investimento em novos equipamentos, reduzindo custos. A eficiência, confiabilidade e sustentabilidade são critérios que devem ser inseridos à análise do retrofit.

Segundo Ferreira *et. al* (2018) há vários benefícios do Retrofit que podem ser citados, uma delas é a atualização das máquinas existentes, garantindo uma economia em relação a aderir a novos equipamentos, garantindo uma economia de custos. Outro fator importante é que as tecnologias atualizadas podem ser aderidas para promover o aumento da produtividade, assegurando uma maior vida útil do equipamento.

Porém, conforme apontado por Cassiano André Grams e Enrique Cetnarowski (2014), a adoção do retrofit em máquinas industriais por algumas empresas é percebida como arriscada. Essa precaução se deve ao potencial de alterações no projeto original da máquina, que poderiam levar à perda de suporte dos fabricantes em caso de falhas. Essa abordagem conservadora não apenas implica custos financeiros elevados, mas também pode prejudicar a credibilidade, a confiança e a moral da empresa, impactando negativamente seu desempenho geral.

De acordo com Ferreira *et. al* (2018) Ao utilizar estruturas existentes, há uma contribuição nas práticas industriais visando meios sustentáveis. Visto que é uma minimização do descarte dos equipamentos, reduzindo quantidades de resíduos industriais e eletrônicos. A reutilização de muitos componentes se torna viável, pois podem ser reaproveitados, diminuindo a necessidade de fabricação.

De acordo com o mesmo autor, a modernização tecnológica, aliada à sustentabilidade dos componentes arquitetônicos, mecânicos ou elétricos, para aumentar a eficiência do sistema, é conhecida como retrofit. Com o decorrer dos anos, este conceito foi ganhando espaço no mercado brasileiro. A preocupação com a sustentabilidade contribui para a disseminação desse conceito e torna-se crucial o desenvolvimento de uma metodologia que oriente o processo de retrofit.

Uma abordagem estratégica para modernizar a agricultura com o objetivo de aumentar a produtividade, a eficiência e a sustentabilidade das operações agrícolas é o retrofit de máquinas agrícolas. Os agricultores podem aumentar seus rendimentos e ajudar na conservação dos recursos naturais e na mitigação das mudanças climáticas ao adotar tecnologias modernas e práticas sustentáveis.

De acordo com um artigo publicado no site Thomasnet, muitos agricultores estão modernizando seus equipamentos antigos com novas tecnologias de retrofit, visando melhorar a eficiência e reduzir custos operacionais. O Wall Street Journal traçou recentemente o perfil das empresas e explorações agrícolas que adotam o mercado de retrofit agrícola, que permite aos agricultores adicionar tecnologia em constante evolução a equipamentos que, de outra forma, poderiam durar décadas – por uma fração do custo (Thomasnet, 2023).

Toda análise do retrofit aplicado à causa, deve ser analisado. Há contras e prós, e no caso

desse estudo, o retrofit pode ser uma solução eficaz para sistemas obsoletos ou ineficientes, o que será abordado posteriormente. Com verificação do custo-benefício dessa abordagem relacionada ao equipamento, juntamente com todas as abordagens mencionadas anteriormente, os resultados ajudar e auxiliar as partes envolvidas.

Como é citado em uma matéria disponibilizada em Nevatio Engineering (2024), os principais benefícios se resumem ao aumento de eficiência do equipamento em relação ao estado original, maior produtividade, mais funcionalidades ligadas a novas tecnologias e otimizações de engenharia além de se utilizar de uma estratégia mais ecologicamente correta devido a economia de custos com novos equipamentos e reutilização de um equipamento já em uso.

Como discutido na Chemical Engineering (2023), retrofits são estratégias para tornar instalações industriais mais eficientes e modernas, mas podem exigir grande investimento. Assim, um ponto a se levar em consideração é se a aplicação necessita de uma alteração do tipo de equipamento, impossibilitando a realização do retrofit e trazendo a necessidade da aquisição de um novo equipamento capaz de cobrir as novas especificações.

Outro ponto seria em relação à confiabilidade do equipamento antigo, sendo necessário entender se ele é capaz de cumprir os requisitos operacionais necessários, atuando em cenários de operação normal e em momentos de pico.

Por fim, temos como fator relevante na decisão de aplicação de retrofit a equipamentos a possível necessidade de atualização de outros sistemas do maquinário para que a tecnologia trazida a esse maquinário funcione sem danificar a máquina.

Como dito Grams e Cetnarowski (2014) as etapas de um retrofit (Fig. 9) são: avaliação do equipamento, desenvolvimento do projeto, compra de materiais, implementação do projeto e testes. A validação desta pesquisa será sustentada por um estudo de caso, onde serão explorados os impactos positivos e negativos do retrofit. Onde será exposto uma estratégia integral, que pode ser utilizada em estudos de casos futuramente.

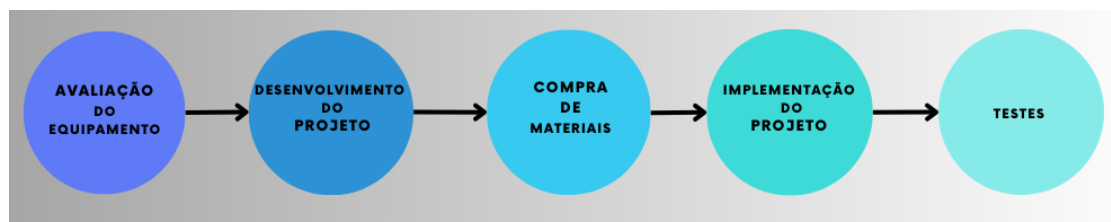


Figura 9– Detalhamento das etapas do Retrofit.

3. METODOLOGIA

3.1. Apresentação da empresa

Como dito anteriormente, esse trabalho foca no estudo do sistema de gestão da manutenção e aplicação de retrofit em uma multinacional. Sendo esta empresa uma das principais multinacionais com unidade localizada na cidade de Indaiatuba, no estado de São Paulo. Além disso, a instituição possui foco na produção de equipamentos agrícolas e construção de grande porte.

A unidade em questão existe a cerca de 10 anos no Brasil, se distribuindo em diversos setores como quatro linhas de produção para quatro maquinários diferentes. Durante o desenvolvimento do estudo foi possível entender o funcionamento do processo produtivo da unidade analisada, identificando a aplicação de diversos processos, se iniciando no setor de conformação mecânica, passando pela soldagem de componentes e posteriormente pela usinagem. Além desses, a unidade conta com o setor de pintura, tratando a superfície dos itens manufaturados, finalizando no setor de montagem, responsável por agregar os componentes do maquinário agrícola.

3.2. Estudo de caso

A empresa em questão passa por uma situação transitória, onde há um sistema de gestão de manutenção com foco em aplicação de conceitos de Manutenção Produtiva Total, desenvolvidos anteriormente na seção 2.3.1, com introdução de um sistema com práticas de Manutenção Centrada na Confiabilidade.

Com a inserção do RCM, explicitada na seção 2.3.3, ocorre um decréscimo de perdas decorrentes a quebras de equipamentos, devido a característica analítica dos possíveis modos de falhas antes que os mesmos ocorram. Esses princípios de RCM, associados aos conceitos da TPM já aplicados na fábrica, consistem em um ciclo de estratégias robustas quando se trata de possibilitar a análise, ação e prevenção da parada dos ativos na unidade, sendo o Retrofit uma das técnicas à tomada de decisão que impacta diretamente na vida útil do maquinário.

A gestão de ativos tem como elemento central o RCM, devido sua função de mapeamento das diferentes características dos equipamentos, identificando desde os padrões de funcionamento, defeitos e operação das medidas de prevenções, se baseando nas sete questões

mencionadas na seção 2.3.3.

As diferentes estratégias de manutenção são associadas ao RCM, que atua como base para o planejamento de ações. Desse modo, pela existência de uma ampla gama de ferramentas, o sistema garante um suporte de manutenção sólido, proporcionando a disponibilidade, confiabilidade e desempenho dos equipamentos. Assim, de acordo com a figura 10, vemos que as estratégias ligadas ao RCM, como por exemplo a FMEA utilizada pela unidade, temos uma atuação mais precisa a partir da aquisição até o fim da vida útil do ativo.

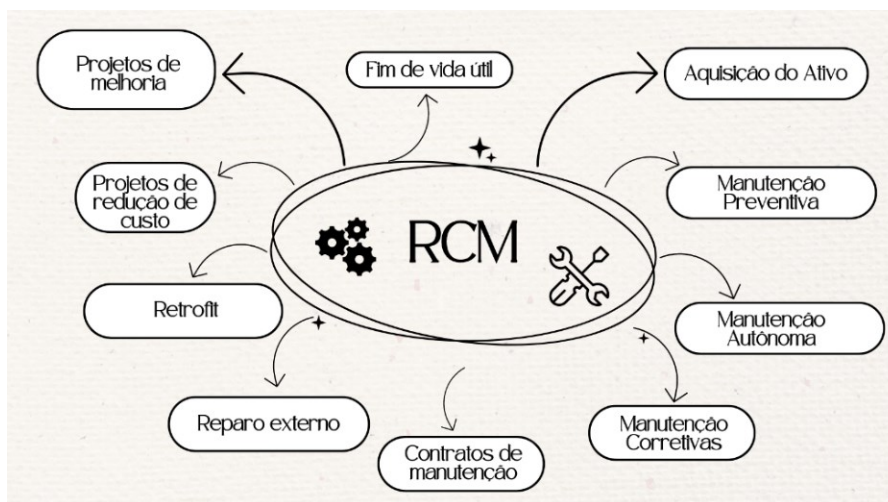


Figura 10 - Tomadas de decisões em relação a aplicação Manutenção Centrada na Confiabilidade à empresa.

Com a introdução de um sistema com práticas de Manutenção Centrada na Confiabilidade, é importante observar que o RCM terá uma contribuição grande, para tomada de decisões, selecionando quais abordagens serão mais apropriadas para cada ativo e suas funções esperadas, analisada na Figura 10.

Com isso, essa integração das diferentes práticas dos sistemas RCM e TPM é bastante viável, visto que pequenos ajustes podem ser feitos nos sistemas para que esses métodos contribuam para iniciativas melhores. Com isso, um dos ganhos a associação dos sistemas citados seria a diminuição de perdas em custo diretos e indiretos, devido a um melhor planejamento de atuação sobre os ativos, evitando ações desnecessárias e preservando o funcionamento do maquinário.

3.2.1. Manutenção Produtiva Total aplicada à empresa

Uma das principais ferramentas da Manutenção Produtiva Total, como explicado na seção 2.3.1, aplicada pela unidade seria a manutenção autônoma, na qual o operador tem a responsabilidade sobre manutenção de rotina nas máquinas e equipamentos que ele utiliza.

Dessa maneira, a metodologia 5S dos cinco princípios fundamentais, se associa a manutenção autônoma, trazendo organização, limpeza, e disciplina para a operação. Consequentemente, gera uma gestão de qualidade, com uma otimização do trabalho, buscando a prevenção de falhas e maximização de eficiência operacional.

Como supradito na seção 2.3.1, vemos a importância fundamental da LUP. Somado a isso, observa-se a mesma exposta na fábrica de máquinas agrícolas, conforme figura 11:

LUP - LIÇÃO DE UM PONTO

Nº	Descrição	Equipamento
LUP CCR01-01	Inspeção dos consumíveis da tocha	CP001

EPIs: Luva, óculos de segurança, protetor auricular, sapato de segurança e boné de segurança.

Ferramentas: Inspeção Visual e troca se necessário

Frequência de inspeção: A cada início de turno de trabalho.

Verificação dos consumíveis das cochas, você deve em prime o lugar Posicionar o cabeçote na posição de manutenção. Verificar os seguintes pontos: a) Desgaste ou material ausente, b) Material detrito, agregado, c) Orifícios de gás obstruídos, d) Orifício central deve ser redondo, e) Anéis retentores danificados e f) Lubrificantes

No item distribuição de gás: Verificar os seguintes pontos: a) Lascas ou fissuras, b) Orifícios de gás obstruídos, c) Sujas ou detritos, d) Anel retentor danificado e e) Lubrificante

No item : Eletrodo verificar o desgaste do orifício, caso esteja acima de 1,5 mm trocar o eletrodo. No item tubo de água verificar se o mesmo não está com nenhum desgaste.

Elaborado:	Barbara M./ Jean G.	Depto.:	Manutenção	Data:	03/09/2020
Revisado:	Livia Ferreira da Cruz	Depto.:		Data:	
Aprovado:	José Mauro Silva	Depto.:	Eng. Manutenção	Data:	03/09/2020
Ass:	[Assinatura]	Data da revisão:	17/05/2021	Revisão:	1

Figura 11 – Inspeção e Manutenção de Consumíveis de Tocha: LUP da empresa.

Com a inserção da LUP, tem-se a padronização de procedimentos de manutenção, visando a eficácia e em conjunto com as práticas do 5S ocorre a organização no ambiente de trabalho como um todo. É importante ressaltar que o uso de EPIs também faz parte desse

processo.

A TPM e os 5S envolvem todos os níveis de funcionários, aumentando o senso de responsabilidade e a melhoria constante. A integração dessas metodologias proporciona uma interação que contribui significativamente para a manutenção preventiva, organização, segurança e eficiência no ambiente de trabalho.

Check List Plasma 1
SAP N° 147055 - CCP001
ABRIL/2024

Caso algum item não esteja OK, deverá ser aberto uma ordem de serviço para a manutenção e escrever no verso do check list o número da ordem.

Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
LUP Nº	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S	A
LUP 0001-01																															
LUP 0001-02																															
LUP 0001-03																															
LUP 0001-04																															
LUP 0001-05																															
LUP 0001-06																															
LUP 0001-07																															
LUP 0001-08																															
LUP 0001-09																															
LUP 0001-10																															
LUP 0001-11																															
LUP 0001-12																															
LUP 0001-13																															
LUP 0001-14																															
Assinatura																															
Data																															

Figura 12 – Check List dos funcionários.

Depois da visualização e entendimento da LUP, os funcionários e operadores assinam um documento, na qual se encontram no verso da LUP, conforme Figura 12. Esse registro significa que os colaboradores estão cientes e poderão exercer suas funções no equipamento.

De acordo seção 2.1 para organizar as ferramentas necessárias, com a minimização de redução de custos desnecessários e maximizando a melhoria na produtividade é necessário alinhar-se aos princípios e práticas da TPM. Com isso, é utilizado o sistema SAP PM. Esse método gerência todo o ciclo de vida dos ativos da empresa, desde a aquisição até a disposição, permitindo registrar problemas e planejar atividades de mão de obra e materiais, registrando e documentando toda análise, como supracitado na seção 2.1.



Figura 13 – SAP PM aplicado na indústria. (Revista Manutenção, 2024).

Com isso, os planejamentos das tarefas de manutenções são bastante utilizados na empresa, gerenciando notificações de fluxos de trabalho e ordens de serviços sob a coordenação de ordens de manutenção.

Dessa forma, o sistema SAP PM facilita a inserção da TPM permitindo criações de gestão de planos de manutenção. O sistema pode registrar falhas e monitoração de equipamentos, documentando as manutenções preditivas. Para as preventivas, o sistema operacional pode ser guiado por um funcionário para solicitar manutenções preventivas aos técnicos.

Com análise do RCA, tem-se maior garantia de coleta de dados sobre falhas e defeitos, identificando causas raízes. Com isso, é possível que com a aplicação de RCM ocorre a consideração de funcionalidades para análise detalhada dos equipamentos e implementação de estratégias de manutenção baseadas na confiabilidade, pois com dados registrados ele pode guiar uma maior análise da FMEA.

Este processo da execução da plataforma do SAP é essencial para incluir atividades de melhoria nos processos, o programa visa integrar com outros processos de negócios e gestão de produtos, além de compras, fazendo com que a execução tenha uma abordagem abrangente de toda situação referente a manutenção da empresa.

3.2.2. Manutenção Centrada na Confiabilidade aplicada à empresa

A introdução do sistema de manutenção centrada na confiabilidade na unidade aborda os princípios de diversos métodos que possam agregar a empresa, preservando a função dos ativos. Com o estudo do FMEA tem-se a descoberta de possíveis falhas dentro dos processos e produtos. Para cada coluna da FMEA, existe ocorrência, severidade, detecção e RPN. Segue a análise de cada tópico aplicados na companhia:

Tabela 2 - Detalhes da Ocorrência na coluna da FMEA aplicado na unidade.

OCORRÊNCIA		
Probabilidade de Falha	Taxas de falha possíveis	Índice de Ocorrência
Remota: Falha é improvável	Chance Remota de Falha	1
Baixa: Relativamente poucas falhas	Frequência muito baixa: 1 vez a cada 5 anos	2
	Pouco Frequente: 1 vez a cada 2 anos	3
Moderada: Falhas ocasionais	Frequência baixa: 1 vez por ano	4
	Frequência ocasional: 1 vez por semestre	5
	Frequência moderada: 1 vez por mês	6
Alta: Falhas frequentes	Frequente: 1 vez por semana	7
	Frequência elevada: algumas vezes por semana	8
Muito Alta: Falhas Persistentes	Frequência muito elevada: 1 vez ao dia	9
	Frequência máxima: várias vezes ao dia	10

É de importância fundamental para a construção da FMEA a Tabela 2, visto que o índice de ocorrência, explicitado seção 2.3.4, analisa os níveis de frequências de casos que necessitam de manutenções. Como analisado, a frequência máxima muito elevada, uma vez ao dia e a frequência máxima de várias vezes ao dia, correspondem índices nove e dez respectivamente, na qual são falhas persistentes e precisam de manutenções que possam ser corretivas emergenciais e precisam de uma visibilidade maior.

Tabela 3 - Detalhes da Severidade na coluna da FMEA aplicado na unidade.

SEVERIDADE		
Severidade	Efeito da Severidade	Índice de Severidade
Nenhum	Sem efeito identificado.	1
Muito menor	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por clientes acurados (menos que 25%).	2
Menor	Itens de ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito evidenciado por 50% dos clientes.	3
Muito baixo	Itens de Ajuste, Acabamento/Chiado e Barulho não-conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais que 75%).	4
Baixo	Equipamento operável, mas item(s) de Conforto/Conveniência operável(is) com níveis de desempenho reduzidos.	5
Moderado	Equipamento operável, mas item(s) de Conforto/Conveniência inoperável(is). Cliente insatisfeito.	6
Alto	Equipamento inoperável, mas com níveis de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito.	7
Muito alto	Equipamento inoperável (perda das funções primárias).	8
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do equipamento com aviso prévio.	9
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do equipamento sem aviso prévio.	10

A Tabela 3 descreve níveis de severidade, explicada anteriormente na seção 2.3.4. A classificação é feita de “nenhum” a “perigo sem aviso prévio”. Esta inclusão de análise é de importância para integrar à FMEA, visto que essa classificação permite a indicação de níveis de severidades e problemas de desempenhos de equipamentos ou produtos.

Com essa análise é possível compreender que o tópico “Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afeta a segurança na operação do equipamento sem aviso prévio.” tem o índice maior, devido seu nível de indicando um risco extremamente alto à segurança na operação do equipamento sem qualquer aviso prévio, com um índice de severidade de dez.

Tabela 4 - Detalhes da Detecção na coluna da FMEA aplicado na unidade.

DETECÇÃO						
Detecção	Critério	Tipos de Inspeção			Faixas Sugeridas dos Métodos de Detecção	Índice de Detecção
		A	B	C		
Quase impossível	Certeza absoluta da não detecção.			x	Não pode detectar ou não é verificado.	10
Muito remota	Controles provavelmente não irão detectar.			x	Controle é alcançado somente com verificação aleatória ou indireta.	9
Remota	Controles têm pouca chance de detecção.			x	Controle é alcançado somente com inspeção visual.	8
Muito Baixa	Controles têm pouca chance de detecção.			x	Controle é alcançado somente com dupla inspeção visual.	7
Baixa	Controles podem detectar.		x	x	Controle é alcançado com métodos gráficos, tais como CEP (Controle Estatístico do Processo).	6
Moderada	Controles podem detectar.		x		Controle é baseado em medições por variáveis depois que as peças deixam a estação, ou em medições do tipo passa/não-passa feitas em 100% das peças depois que deixam a estação.	5
Moderadamente alta	Controles têm boas chances para detectar.	x	x		Detecção de erros em operações subsequentes, OU medições feitas na preparação de máquina e na verificação da primeira peça (somente para casos de preparação de máquina).	4
Alta	Controles têm boas chances para detectar.	x	x		Detecção de erros na estação, ou em operações subsequentes por múltiplos níveis de aceitação: fornecer, selecionar, instalar, verificar. Não pode aceitar peça discrepante.	3
Muito alta	Controles quase certamente detectarão.	x	x		Detecção de erros na estação (medição automática com dispositivo de parada automática). Não pode passar peça discrepante.	2
Quase certamente	Controles certamente detectarão.	x			Peças discrepantes não podem ser feitas porque o item foi feito a prova de erros pelo projeto do processo/produto.	1

A Tabela 4 descreve níveis de detecção, conceito explicado anteriormente na seção 2.3.4. A classificação é feita de “Não pode detectar ou não é verificado.” a “Peças discrepantes não podem ser feitas porque o item foi feito a prova de erros pelo projeto do processo/produto.” Esta inserção de análise também é importante para integrar à FMEA, visto que essa classificação permite a indicação de níveis de detecção de acordo com critérios na qual explicita o quão pode ser detectado por operador ou controles.

A unidade segue que o RPN será calculado pela Eq. (1):

$$\text{RPN} = \text{Índice de ocorrência} \times \text{Índice de severidade} \times \text{Índice de detecção} \quad (1)$$

Tabela 5 - Exemplo de FMEA aplicado a unidade.

Ponto da Falha			Análise da Falha			Avaliação de Risco				Ação Preventiva Recomendada
Equipamento	Função do Equipamento	Componente	Modos de Falha	Efeitos de Falha	Causa da Falha	Ocorrência	Severidade	Detecção	RPN	
Esteira	Transportar resíduos	Esteira	Esteira travada	Acúmulo de resíduos	Peças do corte travando a esteira	9	9	10	810	Manutenção corretiva no módulo de corte

Nesse exemplo apresentado na Tabela 5, a empresa utilizou como análise a esteira, sendo o modo de falha o travamento dela, como efeito tem-se o possível acúmulo de resíduos. Nessa análise, o RPN:

$$\text{RPN} = 9 \times 9 \times 10 = 810$$

No atual momento, o time de manutenção ainda atua no desenvolvimento das análises FMEAs dos ativos contidos na unidade, caracterizando-se as funções e possíveis modos de falhas e seus efeitos, conforme explicitado na seção 2.3.3.

3.3. Aplicação de Retrofit na Unidade

De acordo com o time de Manutenção, a unidade toma como padrão as modificações feitas nos componentes mecânicos, componentes de instalações elétricas e no sistema hidráulico. Ou seja, são classificados em: mecânico, elétrico e hidráulico.

A avaliação física da máquina, é um dos primeiros passos à aplicação do Retrofit, possibilitando identificar peças que necessitam de atualização durante o reparo. A seleção para melhorias, envolve as tecnologias apropriadas, para definir metas de desempenho e dessa forma, desenvolver um plano de ação para garantir e implementar mudanças que são essenciais.

Outro dos principais métodos de tomada de decisão à aplicação do Retrofit em ativos, consiste em o fornecedor promover o laudo de *Health Check* (Exame de Saúde), feito na unidade, na qual refere-se a uma avaliação exercida pelo fornecedor especializado, analisando detalhadamente o estado da máquina, para qualificar e definir possíveis melhorias que possam ser feitas.

O fato é que esse método pode prolongar a vida da máquina, visto que esta verificação possibilita melhorias qualificadas com uma visão holística do estado atual das máquinas. Tais sugestões podem envolver a substituição de componentes, instalação de novas tecnologias e entre outras implementações visando a melhoria da eficiência útil das máquinas.

Além disso, outro momento que a fábrica identifica como oportunidade para aplicação do Retrofit em seus ativos é quando ocorre a descontinuação de peças de manutenção pelo fornecedor do equipamento, assim sendo necessário o estudo de atualização dos sistemas do equipamento para se adequar com os novos passivos fornecidos ao maquinário.

Por fim, outra justificativa para aplicação de retrofit é o número de falhas associadas aos equipamentos, sendo avaliada a frequência de falha dos componentes e identificação de possíveis alterações nos sistemas. Vale ressaltar a importância dada a identificação da causa raiz, assim buscando atuar não nos sintomas, mas na causa, com isso eliminando os custos de manutenção desnecessários desse ativo.

Na empresa supracitada, além dos quesitos expostos para aplicação do processo de Retrofit, é mantido um banco de dados, a planilha *Five Years Plan Sheet* (Planilha dos Planos para 5 Anos), que contém os projetos mapeados e estudados para os próximos cinco anos, visando o planejamento do desenvolvimento e adequação dos ativos em longo prazo.

3.3.1. Ciclo de aplicação do Retrofit

O ciclo do Retrofit aplicado na unidade pode ser visto na Figura 14, que representa um diagrama de fluxo que descreve o processo de identificação de falhas e oportunidades em um sistema ou equipamento.

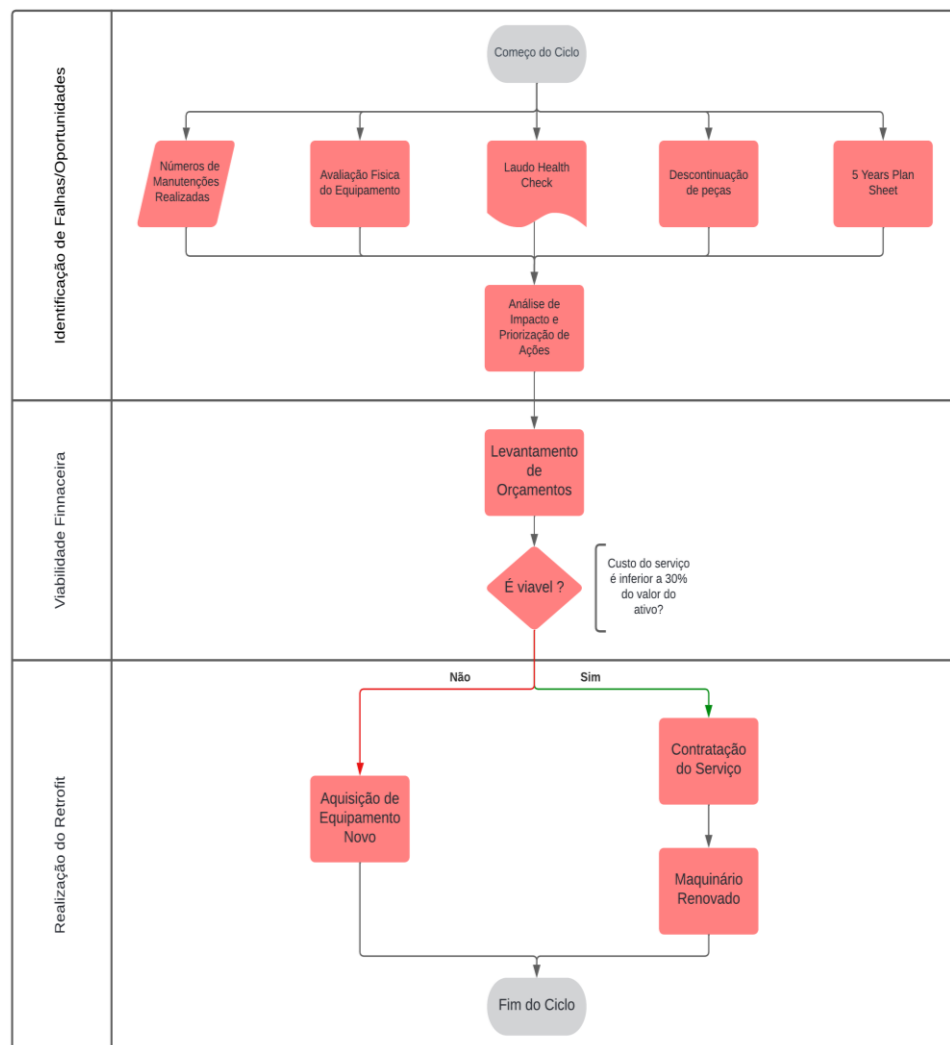


Figura 14 - Fluxograma do ciclo do Retrofit.

A primeira etapa no ciclo de aplicação do retrofit utilizado pela empresa em estudo se inicia com a identificação de falhas, sendo uma parte fundamental para a designação do que representa alto custo a manutenção dos ativos. Para a caracterização das falhas ou possíveis oportunidades, o setor se utiliza dos métodos citados no tópico anterior.

Após a identificação, realiza-se a análise de dados, com a intenção de entender os impactos positivos que a realização do retrofit pode trazer em relação aos parâmetros de controle

da unidade. Neste momento, a utilização da estratégia de Pareto é útil, pois promove prioridade às falhas mais comuns para intervenções direcionadas, entendendo se tal melhoria gera impacto real aos custos de manutenção.

Posteriormente a determinação das etapas anteriores, é necessário envolver fornecedores para o processo de avaliação do equipamento, e quais soluções são cabíveis ao retrofit. Essa que consiste em uma análise minuciosa em relação a condição atual do ativo, determinação das atualizações requeridas, e planejamento da realização do Retrofit.

Subsequentemente a escolha do fornecedor e análise do equipamento, ocorrem as definições de quais alterações serão realizadas. Com isso, tem-se a análise dos custos e viabilidade técnica para aplicação, avaliando os custos e riscos associados, impacto na vida útil do ativo, retorno financeiro do investimento, entre outras. O ciclo se conclui com a contratação dos serviços do fornecedor após aprovação de capital financeiro para a realização do retrofit.

São várias as etapas de ciclo do Retrofit, sendo interligadas desde a identificação de falhas e terminam com a aquisição de serviços. Para garantir que as soluções implementadas melhorem a eficiência e a confiabilidade dos equipamentos indústrias, é bastante importante que tenha uma abordagem sistemática baseada em análise de dados e avaliação criteriosa.

4. RESULTADOS

4.1. Aplicação de Retrofit em uma Cortadora a Plasma

Como exemplo temos a aplicação do processo de retrofit realizado em um maquinário de corte a laser com sistema CNC EdgePro da Hypertherm representado na Figura 15.

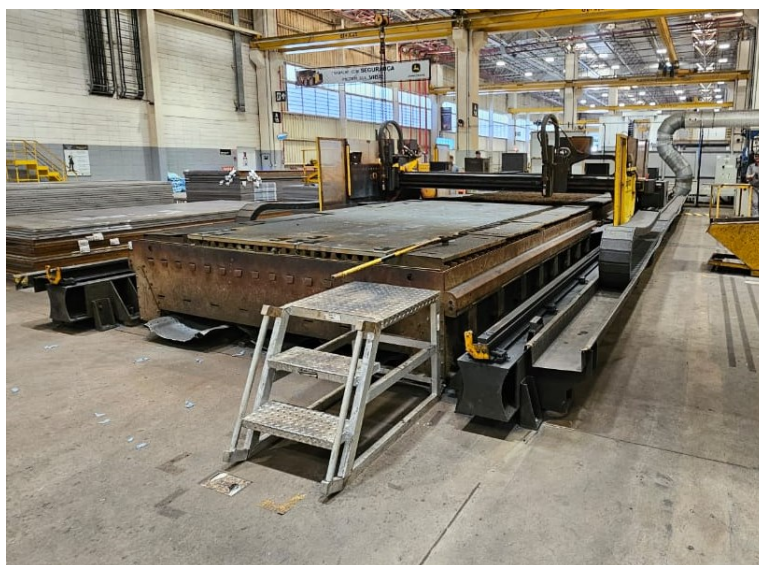


Figura 15 - Cortadora a Plasma CNC EdgePro da Hypertherm.

A oportunidade de aplicação do retrofit para o equipamento em questão surgiu devido a descontinuação do CNC EdgePro pelo fornecedor, assim sendo necessário a modernização do sistema. Com isso, também se observou outras oportunidades devido ao alto custo identificado com itens de manutenção para reparo da grelha superior do ativo.

De acordo com os valores levantados durante a análise de custos de manutenção, teve-se um custo de aproximadamente dois milhões de reais entre 2022 e 2023. Além disso, foram identificados custos de aproximadamente R\$ 800.000,00 em manutenção do sistema hidráulico.

Com isso, solicitou-se orçamentos para modernização do sistema para o CNC Edge Connect, além de substituições de componentes da mesa. A análise seguiu conforme os valores apresentados na Tabela 6:

Tabela 6 - Orçamentos do Retrofit

Sistema	Substituições	Valores
Modernização 4.0	• Pórtico • Motores de acionamento • Cabos • Consoles • Fontes	R\$ 603.832,00
Mesa	• Travessas • Dutos	R\$ 63.249,23
Total		R\$ 667.081,23

Simultaneamente avaliou-se a possibilidade de aquisição de um maquinário novo para a substituição do modelo corrente, assim a Tabela 7 contém os valores dele:

Tabela 7 - Orçamento do equipamento novo

Maquinário	Valores
TerraBlade 4.0 4000, com 2 Fonte Plasma HPR	R\$ 1.549.800,30
Mesa	R\$ 666.065,16
Filtragem dos Fumos	R\$ 600.000,00
Total	R\$ 2.815.865,46

Com a análise de viabilidade de custos para a realização do retrofit temos que comparar os custos dos serviços de renovação do maquinário atual com a aquisição de um novo equipamento. Considerando que:

$$R\$ 2.815.865,46 - - - 100 \% e R\$ 667.081,23 - - - X$$

$$X \cong 23,7 \%$$

Com isso,

$$100 \% - 23,7 \% = 76,3 \%.$$

Com isso temos que o custo de aquisição de um novo equipamento será 76,3 % maior que o custo de aplicação do retrofit, assim sendo uma decisão viável para seguir com a aplicação do retrofit ao equipamento de corte a laser.

5. CONCLUSÃO

A priori, foi realizada pesquisa sobre funcionamento do processo produtivo da unidade analisada. Com base na existência de diversos processos nos setores de conformação mecânica, usinagem, soldagem, montagem e pintura, selecionou-se o equipamento de corte a plasma CNC EdgePro para estudo do presente trabalho, sendo um aparelho de bastante relevância para a linha de produção do maquinário agrícola.

Em relação a gestão de manutenção temos a fábrica passando por um momento transitório, com a inclusão de princípios de Manutenção Centrada na Confiabilidade, e mantendo-se a utilização de técnicas de Manutenção Produtiva Total.

Assim, é relevante citar os pilares de Manutenção Autônoma onde pequenas manutenções dos equipamentos são de responsabilidade dos operadores. Além disso, a gestão utiliza-se do software SAP PM para a gestão de suas ordens, sendo visível a organização em relação a tratativa de suas manutenções preventivas e corretivas.

Em adição como citado anteriormente, a aplicação de FMEAs para os ativos contidos nos setores citados anteriormente, passa a dar uma visão mais precisa das necessidades de controle e manutenção dos equipamentos, sendo possível estar preparado para as possíveis falhas antes dessas ocorrerem.

Porém, vale ressaltar que no quadro atual esse trabalho de qualificação dos ativos promovida pelo RCM ainda está em desenvolvimento, não sendo possível avaliar o real impacto que a ferramenta trará em relação a custos de manutenção, vida útil dos equipamentos e suas performances.

Por fim, temos como parâmetro estratégico utilizado amplamente pela unidade, o retrofit, que se trata de processos de modernização, proporcionando uma base sólida para a excelência operacional e a inovação contínua em equipamentos obsoletos. Dessa forma, vimos que a empresa busca modernizar as instalações, sem a necessidade de aquisição de novos equipamentos, fortalecendo assim as manutenções preventivas e preditivas, prolongando vida útil desses ativos.

Como supradito na seção 2.3.6, a utilização de retrofit carrega consigo algumas concisões, como por exemplo o fato de um que um equipamento retrofitado não entregar a mesma

eficiência e confiabilidade que um equipamento novo. Além disso temos que levar em consideração as limitações de um equipamento em atender cenários de alta de produção, assim optar pela substituição do equipamento antigo seja a opção mais adequada.

Foi possível analisar que com a inclusão do ciclo e fluxograma do retrofit aplicado na unidade, houve considerações de custos bastante significativas, visto que proporciona uma atualização no equipamento de corte a plasma CNC EdgePro conforme exemplo apresentado, na qual tem se o plano de garantir sua funcionalidade com 76,3 % de custo menor em relação a aquisição de uma máquina nova.

Estudos posteriores são recomendados em relação a gestão de dados de custos de manutenção diversos associados a cada equipamento individualmente ao invés do modelo generalista utilizado que impossibilita análise de cada maquinário ao longo de sua vida útil, buscando análises mais precisas de viabilidade financeira e outros parâmetros de eficiência, tornando a gestão de manutenção da unidade mais eficaz como um todo.

Além disso, se tem a necessidade de padronização das tratativas em relação a aplicação de Retrofit, criando um fluxo de processos mapeado e documentações contendo normativas e sugestões de boas práticas para análises de efetividade, buscando aprimorar a utilização dessa ferramenta pelo setor de Manutenção.

Com isso, sugere-se uma profunda análise em toda organização da manutenção, destacando princípios com dados financeiros mais completos de cada equipamento e diretrizes de produtividade, com todo relatório e arquivo que contém toda movimentação de processos, para que suceda normas de excelência e padrões ideais para o ciclo e aplicação do Retrofit.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADRIANO, Valdir Fernando; LIMA, Carlos Camello. Gestão da capacitação dos profissionais da manutenção frente à inovação tecnológica. In: CONGRESO LATINO-IBEROAMERICANO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA, XIV, 2011, Lima, Peru. Anais [...]. Lima: ALTEC, 2011
- AGUIAR, M. C. Análise de causa raiz: levantamento dos métodos e exemplificação. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.
- AMMERMAN, M. The root cause analysis handbook: a simplified approach to identifying, correcting, and reporting workplace errors. Nova Iorque: Taylor & Francis, 1998.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade*. RJ, 1994. UFSB, <https://ufsb.edu.br/propa/images/dinfra/coman/Legisla%C3%A7%C3%B5es/NBR-5462.pdf>. Acesso em 29 maio 2024.
- BARRIENTOS (2004 apud TAMBASCO e QUELHAS, 2012, pg. 449) MORAES, Virgínia; QUELHAS, Osvaldo. O desenvolvimento da metodologia e os processos de um retrofit arquitetônico. Revista Sistema & Gestão, Volume 7. Nº3, Niterói, Rio de Janeiro, RJ, 2000.
- BORSELLI, Bruna. FMEA: aprenda como fazer uma Análise de Efeitos e Modos de Falha. SoftExpert Blog, 20 set. 2021. Disponível em: <https://blog.softexpert.com/fmea-como-implementar/>. Acesso em: 29 maio 2024.
- CEPEA. PIB do agronegócio brasileiro. Disponível em: <https://www.cepea.esalq.usp.br/br/pib-do-agronegocio-brasileiro.aspx>. Acesso em: 2 jun. 2024.
- CHEMICAL ENGINEERING. Revamps and retrofits: A path to evergreen facilities. Chemical Engineering, 2023. Disponível em: <https://www.chemengonline.com/revamps-and-retrofits-a-path-to-evergreen-facilities/?pagenum=1>. Acesso em: 2 nov. 2024.
- COELHO, P. M. N. Rumo à indústria 4.0. 2016. Tese de Doutorado. Universidade de Coimbra. 2016.
- CONSELHO FEDERAL DE ADMINISTRAÇÃO. As outras revoluções industriais. Disponível em: <https://cfa.org.br/as-outras-revolucoes-industriais/>. Acesso em: 29 maio 2024.

- COSTA, D. A utilização do retrofit como técnica sustentável para reabilitação de edifícios históricos. In: Fórum Maranhense de Urbanismo, 2018. Artigo – Curso de Arquitetura e Urbanismo, UNDB.
- COSTA, Rita de Kássia Andrade da. Utilização da ferramenta CAPDO derivada do PDCA para aumento de performance de máquina. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Pernambuco, Centro Acadêmico do Agreste, Núcleo de Tecnologia, Caruaru, 2021.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Trajetória da agricultura brasileira. Disponível em: <https://www.embrapa.br/visao/trajetoria-da-agricultura-brasileira>. Acesso em: 29 maio 2024.
- ENGEMAN. Manutenção produtiva total. Disponível em: <https://blog.engeman.com.br/manutencao-produtiva-total/>. Acesso em: 29 maio 2024.
- ESCOLA DNC. RPN: priorize ações com Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA). Disponível em: <https://www.escoladnc.com.br/blog/rpn-priorize-acoes-com-analise-de-modos-de-falha-e-efeitos-fmea/>. Acesso em: 5 mai. 2024.
- FERREIRA, José Haroldo Gemaque; BENTO, Letícia Ferreira; MORALES, Israel Mazaira. Aplicação de retrofit em sistema de comando e controle de um chiller. Revista Científica, 2018.
- FOGLIATTO, F. S.; DUARTE, R. Confiabilidade e Manutenção Industrial. Rio de Janeiro: Elsevier; ABEPRO, 2011.
- FRACCTAL. Ambiente de trabalho seguro e ecológico TPM. Disponível em: <https://www.fracttal.com/pt-br/blog/ambiente-de-trabalho-seguro-e-ecologico-tpm#desarrollo-competencias>. Acesso em: 28 maio 2024.
- GRAMS, C. A.; CETNAROWSKI, E. Retrofit em máquinas industriais: estudo de caso. Curitiba, 2014.
- GURSKI, C. A. Noções de confiabilidade e manutenção industrial. Curso de Formação de Operadores de Refinaria. Curitiba: UN's: Repar, Regap, Replan, Refap, RPBC, Recap, SIX, Revap, 2002.
- IBERDROLA. Quarta Revolução Industrial. Disponível em: <https://www.iberdrola.com/inovacao/quarta-revolucao-industrial>. Acesso em: 28 maio 2024.
- KARDEC, A.; NASCIF, J. Manutenção, função estratégica. Curitiba: Qualitymark, 2009.
- LAGUNA, Eduardo. Indústria de máquinas fecha 2021 com alta de 21,6% na receita líquida, diz associação. *CNN Brasil*, 2022. Disponível em:

- <https://www.cnnbrasil.com.br/economia/abimaq-industria-de-maquinas-fecha-2021-com-alta-de-216-na-receita-liquida/> . Acesso em: 01 de junho de 2024
- Lavor, André. "Manutenção Mecânica." SlideShare, 2024, <https://pt.slideshare.net/AndreLavorLavor/manuteno-mecnica-257688026>. Acesso em 29 maio 2024.
- LEAL, Fabiano; PINHO, Alexandre Ferreira de; ALMEIDA, Dagoberto Alves de. Análise de falhas através da aplicação do FMEA e da teoria Grey. Revista Gestão Industrial, v. 2, n. 4, p. 120-135, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unifei.edu.br/bitstream/123456789/53901/1/ADRIEL_DOS_SANA_TOS_VERZA.pdf>. Acesso em: 28 maio 2024.
- MARINELLI, I. Da preventiva à preditiva, a evolução da gestão da manutenção. 2021. Disponível: <https://revistamanutencao.com.br/literatura/tecnica/manutencao/entenda-a-evolucao-da-manutencao-preditiva.html>. Acesso em: mar. 2024.
- MAROCCO, Gustavo Salomão. A importância da manutenção produtiva total na melhoria contínua do processo: um estudo de caso. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2013.
- MARTINS, J. Análise de modos e efeitos de falha potenciais. Aveiro: GIAGI - Consultores em Gestão Industrial, Lda., 2010.
- MARTINS, Túlio. Melhorias específicas. Disponível em: <https://tuliomartins.com.br/melhorias-especificas/>. Acesso em: 29 maio 2024.
- MIKULAK, R. J.; McDERMOTT, R.; BEAUREGARD, M. The Basics of FMEA. 2. ed. New York: Productivity Press, 2008.
- MORO, N.; AURAS, A. Introdução à gestão da manutenção. Curso Técnico de Mecânica Industrial. Florianópolis: Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina (CEFET-SC), 2007.
- MOUBRAY, J. Manutenção centrada em confiabilidade. São Paulo: Aladon Ltda., 2000.
- NASCIMENTO, Rodrigo Coutinho. Manutenção Produtiva Total – Uma abordagem teórica. Monografia (Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Juiz de Fora) - Juiz de Fora: UFJF, 2006.
- NETTO, A. P. Manutenção Industrial. Indaial: UNIASSELVI, 2018.
- NEVATIO. Machine retrofits: What you need to know. Nevatio. Disponível em: <https://www.nevatio.com/resources/machine-retrofits#:~:text=The%20term%20%22retrofitting%22%20refers%20to,more%20modern%20model%20becomes%20available>. Acesso em: 2 nov. 2024

- NORTEGUBISIAN. Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA). Disponível em: <https://www.nortegubisian.com.br/blog/analise-de-modos-de-falha-e-efeitos-fmea/>. Acesso em: 29 maio 2024.
- PALMER, D. Maintenance Planning and Scheduling Handbook. 2. ed. New York: McGraw Hill, 2006.
- REVISTA MANUTENÇÃO. Implementação do SAP PM: uma visão detalhada dos códigos e funcionamento do módulo. Disponível em: [https://revistamanutencao.com.br/literatura/tecnica/gestao-de-ativos/implementacao-do-sap-pm-uma-visao-detalhada-dos-codigos-e-funcionamento-do-modulo.html#:~:text=SAP%20PM%20\(Plant%20Maintenance\),bom%20funcionament o%20de%20sistemas%20t%C3%A9cnicos](https://revistamanutencao.com.br/literatura/tecnica/gestao-de-ativos/implementacao-do-sap-pm-uma-visao-detalhada-dos-codigos-e-funcionamento-do-modulo.html#:~:text=SAP%20PM%20(Plant%20Maintenance),bom%20funcionament o%20de%20sistemas%20t%C3%A9cnicos). Acesso em: 2 jun. 2024.
- REY ABOGADO. O que é o modelo Taylorista? 2024. Disponível em: https://reyabogado.com/brasil/o-que-e-o-modelo-taylorista/#google_vignette. Acesso em: 28 maio 2024.
- REYES, A.; AGUILAR, H.; HERNANDEZ, A.; ACOSTA, P.; PIÑERO, E. A metodologia 5S como estratégia de melhoria contínua nas indústrias no Equador e seu impacto na saúde e segurança no trabalho. 2017.
- ROONEY, J. J.; VANDEN HEUVEL, L. N. Root cause analysis for beginners. Quality Basics, 2004.
- RQP. Análise de Modo e Efeito de Falha FMEA. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglefindmkaj/https://www.jorgestreet.com.br/wp-content/uploads/2019/03/apostila_fmea.pdf. Acesso em: abr. 2024. Apostila.
- SALAZAR, K. I.; CASTILLON, S. C.; CÁRDENAS, G. A. M. Metodología 5S: una revisión bibliográfica y futuras líneas de investigación. Qantu Yachay, 2022.
- SCHWAB, Klaus. A quarta revolução industrial. 1. ed. São Paulo: Edipro, 2016.
- SILVA, João. *Indústria 4.0 - Aplicação a Sistemas de Manutenção*. 2016. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglefindmkaj/https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/102740/2/181981.pdf>. Acesso em: 28 maio 2024.
- SISMETRO. Os benefícios da gestão de manutenção baseada em confiabilidade. Blog Sismetro, 2024. Disponível em: <https://blog.sismetro.com/post/93/os-beneficios-da-gestao-de-manutencao-baseada-em-confiabilidade>. Acesso em: 29 maio 2024.
- SOARES, L. F. A importância da manutenção preventiva no processo industrial. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Norte do Paraná (Unopar), Bandeirantes, 2020.

- SUNO. Fordismo. Disponível em: <https://www.suno.com.br/artigos/fordismo/>. Acesso em: 28 maio 2024.
- SUZUKI, T. TPM in process industries. Portland: Productivity Press, 1994.
- SUCESSO NO CAMPO. 25% do PIB brasileiro vem do agronegócio. Disponível em: <https://www.sucessonocampo.com.br/25-do-pib-brasileiro-vem-do-agronegocio-agrobrasil-2024/>. Acesso em: 5 mai. 2024.
- TABLEAU. Análise de causa raiz: definição, exemplos e um guia passo a passo. Disponível em: <https://www.tableau.com/pt-br/learn/articles/root-cause-analysis>. Acesso em: 29 maio 2024.
- TECNOENG. O que é SAP e para que serve? Disponível em: <https://tecnoeng.me/2014/11/10/o-que-e-sap-e-para-que-serve/>. Acesso em: 2 jun. 2024.
- THOMASNET. Farmers upgrade old equipment with new retrofit technology. 2023. Disponível em: <https://www.thomasnet.com/insights/farmers-upgrade-old-equipment-with-new-retrofit-technology/>. Acesso em: 23 mai. 2024.
- TOTVS. Manutenção corretiva: o que é, vantagens e desvantagens. Blog TOTVS, 2024. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-para-rotas/manutencao-corretiva/>. Acesso em: 29 maio 2024.
- Toyo Advanced Technologies. Retrofit Service. Disponível em: <https://www.toyo-at.co.jp/en/products/kousakuki/retrofit.html>. Acesso em: 23 mai. 2024.
- VICENTIN, Alexandre. Implementação de retrofit em máquinas industriais legadas para a inserção no contexto da Indústria 4.0. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Centro Universitário FEI, São Bernardo do Campo, 2021.
- ZERYNTH. Why you need to retrofit your machines and how to do it efficiently. 2023. Disponível em: <https://zerynth.com/blog/why-you-need-to-retrofit-your-machines-and-how-to-do-it-efficiently/>. Acesso em: 23 mai. 2024.