



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA - AM.
DEPARTAMENTO DE ENSINO SUPERIOR



RAPHAEL LELES VITAL

**Elaboração e Aplicação de uma Metodologia para Melhoria da
Disponibilidade de uma Linha de Produção Industrial**

MANAUS
2021

RAPHAEL LELES VITAL

**Elaboração e Aplicação de uma Metodologia para Melhoria
da Disponibilidade de uma Linha de Produção Industrial**

Monografia apresentada ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Centro, Departamento de Produção Industrial como requisito parcial, para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador professor: MSc. Sávio Raider Matos Sarkis.

MANAUS – AM

2021

Biblioteca do IFAM – Campus Manaus Centro

V836e Vital, Raphael Leles.

Elaboração e aplicação de uma metodologia para melhoria da disponibilidade de uma linha de produção industrial / Raphael Leles Vital. – Manaus, 2021.

51 p. : il. color.

Monografia (Engenharia Mecânica). – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus Manaus Centro*, 2021.

Orientador: Prof. Me. Sávio Raider Matos Sarkis.

1. Engenharia mecânica. 2. Manutenção. 3. Linha de produção. 4. Análise estruturada. I. Sarkis, Sávio Raider Matos. (Orient.) II. Bezerra, Alexandre Campos. (Coorient.) III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. IV. Título.

CDD 621

FOLHA DE APROVAÇÃO

RAPHAEL LELES VITAL

Esta monografia de Conclusão de Curso Superior de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, Campus Manaus Centro, foi julgada e Aprovada pela Banca Examinadora:

(Assinado digitalmente em 11/05/2021 14:16)

SAVIO RAIDER MATOS SARKIS
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

Matrícula: 1243800

Prof. MSc. Sávio Raider Matos Sarkis

(Assinado digitalmente em 11/05/2021 13:24)

MARCELO MARTINS DA GAMA
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

Matrícula: 1348424

Prof. Esp. Marcelo Martins Gama

(Assinado digitalmente em 11/05/2021 09:24)

SIDNEY ASSIS CHAGAS
PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO

Matrícula: 1015898

Prof. M.Sc Sidney Assis Chagas

Trabalho apresentado em: 07/04/2021

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus, por sempre guiar todos os meus passos e proporcionar meios para trilhar um caminho próspero.

Agradeço aos meus pais, Edilson e Ana Ruth e, ao meu irmão Gabriel, por todo incentivo voltado à educação, proporcionando todo o suporte necessário para a conclusão dessa graduação, não medindo esforços para a realização dos meus sonhos.

Agradeço ao Insituto Federal do Amazonas e a todos os professores que ao longo da graduação, puderam agregar conhecimento para que eu me tornasse um profissional qualificado para o mercado de trabalho. E ao meu professor de TCC Ailton Reis e meu orientador Sávio Sarkis, que deram todo o auxílio para a elaboração desse trabalho.

E por fim, agradeço a todos os colegas de faculdade pelo convívio e apoio em todas as etapas deste curso.

RESUMO

A elevada disponibilidade de uma linha de produção industrial é o desejo de todas as grandes, médias e pequenas empresas. Pois se a linha opera em sua capacidade máxima, irá entregar uma quantidade maior de produtos para o mercado, dentro de todas suas especificações de qualidade, menores custos, gerando o lucro esperado pela fábrica. Mas, com o passar dos anos, os equipamentos da linha de produção vão se deteriorando, até chegar em um ponto em que não é possível entregar a demanda esperada. Com isso, esse trabalho apresenta uma metodologia que busca restaurar a disponibilidade dessa linha de produção, buscando a identificação do problema, tratamento de causas raiz, solução de anomalias, visando deixar a linha de produção com uma elevada eficiência, minimizando os custos de produção, melhorando ambiente de trabalho para o operador, gerando lucro para a empresa atendendo as necessidades do consumidor com qualidade. Então, a partir desse projeto, foi possível a elaboração do padrão, descrevendo o passo a passo a ser seguido, para que o objetivo proposto seja alcançado, na qual é a melhoria da disponibilidade de uma linha produtiva. Onde foi aplicado esse padrão e constatado sua eficiência de análise e solução de problemas.

Palavras-chave: Análise Estruturada; Manutenção; Linha de Produção.

ABSTRACT

The high productivity of an industrial production line is the desire of all large, medium and small companies. Because if the line operates at its maximum performance, it will deliver a larger quantity of products to the market, within all its quality specifications, lower costs, generating the profit expected by the factory. But, over the years, the equipment on the production line deteriorates, until it reaches a point where it is not possible to deliver the expected demand. With that, this work will present a methodology that seeks to restore the performance of this production line, seeking to identify the problem, treat root causes, solve anomalies, aiming to leave the production line with a high efficiency, minimizing production costs, improving the work environment for the operator, generating profit for the company and meeting consumer needs with quality. Then, from this project, it was possible to elaborate the standard, describing the step-by-step to be followed, so that the proposed objective is achieved, which is to improve the availability of a production line. Where this standard was applied and its efficiency of analysis and problem solving was verified.

Keywords: Structured Analysis; Maintenance; Production Line.

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

HHT – Homem Hora Trabalhados

MTBF (TMPF) – Tempo Médio para Falhar

MTTR (TMPR) – Tempo Médio Para Reparo

RCM (MCC) - Manutenção Centrada na Confiabilidade

NBR - Norma Brasileira

SAE - Sociedade dos Engenheiros Automotivos

TPM – Manutenção Produtiva Total

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	13
2.1 CONCEITOS DE MANUTENÇÃO	13
2.2 METODOLOGIAS DE MANUTENÇÃO.....	14
2.3 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO	16
2.4 TIPOS DE FALHAS	17
2.5 TIPOS DE DETERIORAÇÃO.....	18
2.6 CUSTO DE MANUTENÇÃO	19
2.7 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM)	21
2.8 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE	23
2.9 METODOLOGIAS DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS	24
2.9.1 Diagrama de Ishikawa	24
2.9.2 ANÁLISE DE 5 PORQUÊS	25
3 METODOLOGIA.....	27
3.1 PADRÃO DE DISPONIBILIDADE	27
3.2 ANÁLISE DE INDISPONIBILIDADES	28
3.3 ESTRATIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS.....	28
3.4 ESTRATIFICAÇÃO DE DESCRIÇÃO DE PARADAS.....	28
3.5 APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS	29
3.5.1 Diagrama de Ishikawa	29
3.5.2 Análise de 5 Porquês.....	30
3.6 PLANO DE AÇÃO.....	31
3.7 REVISÃO DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO.....	32
3.8 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE	32
3.8.1 Função do Equipamento.....	33
3.8.2 Peças de Desgaste Natural	33
3.8.3 Modo de Falha	33
3.8.4 Análise FEC (Efeitos e Consequências)	34
3.8.5 Decisão Lógica	35
3.8.6 Definição de Frequências	36
3.8.7 Valorização dos Planos de Manutenção	36
3.9 MANUTENÇÃO AUTÔNOMA.....	37
3.10 SETUP E PEQUENOS REPAROS	37

3.11 LIMPEZA.....	38
3.12 LUBRIFICAÇÃO.....	38
3.13 CHECKLIST DE LIMPEZA, INSPEÇÃO E LUBRIFICAÇÃO (CIL).....	39
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	40
4.1 ANÁLISE ESTRUTURADA DA LINHA DE PRODUÇÃO	40
4.2 ANÁLISE DE CAUSA.....	42
4.3 IMPLEMENTAÇÃO DO RCM.....	45
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
6 REFERÊNCIAS.....	48
APÊNDICE A – PLANILHA DE RCM	50

1 INTRODUÇÃO

Quando uma linha de produção é iniciada, ela opera em sua capacidade de produção máxima, todos os equipamentos da linha funcionam na velocidade de produção que foram projetados. Mas, no entanto, ao passar dos anos, devido ao carregamento cíclico da linha, a eficiência da produção tende a diminuir devido ao aumento da probabilidade de falhas de diversas naturezas e, principalmente, as fraturas mecânicas e os danos durante as partidas e paradas não previstas. Portanto, as maiores frequências de falhas se tornam um incômodo aos técnicos de manutenção, pois geram de pequenas a grandes intervalos de tempo para intervenção e correção, causando paradas indesejadas e o aumento do custo de produção. Essas falhas podem ser apenas de um equipamento específico que, quando tratados pelas boas práticas e técnicas de manutenção, a linha pode volta a funcionar em sua capacidade máxima. Porém, muitas vezes, não é o que ocorre, pois vários equipamentos podem apresentar problemas simultaneamente, os quais impedem a linha de apresentar uma boa eficiência global de produção.

Vários fatores contribuem para que uma linha de produção perca sua eficiência, umas das principais, cita-se as falhas no plano de manutenção, que podem acontecer pela não previsibilidade por exemplo, de desgastes naturais ou forçados, ou seja, quando não se respeita o tempo de vida útil de um componente e, como consequência danificam outros componentes. Há também a falha operacional, quando o equipamento funciona de uma maneira diferente da qual foi projetado e nem previsto no plano.

A grande dificuldade das empresas é como proceder para que esses equipamentos possam funcionar bem aos longos dos anos sem perder eficiência. Nesse, sentido uma boa gestão dos programas de manutenção não deve levar apenas os aspectos teóricos do planejamento, mas, também a praticidade voltada para resultados eficazes. Uma vez que há dificuldade em se ter um plano de manutenção bem assertivo, e que padrões operacionais e manutenção eficientes não garante a função da disponibilidade e nem a redução da probabilidade de falha de um equipamento. No entanto, é necessário que outras ações estratégias como a redução dos tempos de reparo, otimização de custo da manutenção, segurança, preservação do

ambiente, motivação, bem-estar social e a confiabilidade sejam consideradas. Nesse contexto, o aperfeiçoamento de práticas e processos que realmente auxiliem a operação e possam manter um planejamento estratégico bem definido na gestão moderna da manutenção é de suma importância. Portanto, pode-se fazer a seguinte pergunta: Como uma análise bem estruturada focada na disponibilidade, podem ser aplicados em um plano de gerência de manutenção, garantido que uma linha de produção volte a funcionar em sua capacidade máxima nominal no menor tempo possível? É necessário realizar uma série de tarefas como investigação, identificação, classificação e uma estratificação em todos os parâmetros que influenciam a baixa eficiência dessa linha, na qual é a grande dificuldade das empresas.

Portanto, considerando esse cenário, esta pesquisa se justifica pelo fato de poder contribuir com um estudo de caso de disponibilidade de equipamentos que podem ocorrer em diversas empresas industriais. A consequência disso é que haverá mais produtos ofertados ao mercado, com a qualidade assegurada, menores custos, além de garantir a empregabilidade de milhares de pessoas. Além disso, aumenta a confiabilidade do equipamento industrial, que é um indicador bastante relevantes num processo. De acordo com a NBR-5462, “é a capacidade de um item estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado.” Quanto maior a capacidade do equipamento funcionar sem quebras, melhor. Sendo assim, o objetivo geral deste trabalho, é analisar a aplicação de um protocolo padrão de estratégias como ferramenta para análise da melhoria da disponibilidade de uma linha de produção industrial aplicado em um estudo de caso fictício.

Desse objetivo decorrem outros três específicos, quais sejam: a) Fazer revisão bibliográfica acerca do tema objeto de estudo, b) apresentar um padrão para a implementação de um projeto de melhoria da disponibilidade de uma linha de produção e c) aplicar o padrão estabelecido em uma linha de produção para verificação de sua eficácia.

Este trabalho tem como princípio norteador a Norma Brasileira - NBR N° 5462 de 30 de novembro de 1994; Sociedade dos Engenheiros Automotivos

- SAE JA1011 *Evaluation Criteria for Reliability Centered Maintenance Process*¹; ALMEIDA (2000).

Esta é uma pesquisa de natureza qualitativa realizada por meio bibliográfico com fins exploratórios. Durante os quatro anos, atuando nas empresas, foram coletadas informações acerca das metodologias internas que as empresas utilizavam. A partir da observação, verificou-se que as metodologias das empresas não eram tão assertivas para a análise e solução de problemas das linhas de produção. Para a elaboração do padrão, foram realizados ajustes de acordo com as necessidades encontradas, baseado nas deficiências das metodologias das empresas, aplicaram-se os conceitos teóricos adquiridos ao longo da graduação de Engenharia.

A partir das leituras, elaborou-se um padrão para a melhoria da disponibilidade de uma linha de produção. Fez-se uma simulação da aplicação do passo a passo para verificar sua eficiência. Considera-se que esta metodologia é eficiente na identificação dos problemas que impactam a disponibilidade dessa linha de produção.

Espera-se que este trabalho possa contribuir na vida acadêmica de estudantes da área, para outros pesquisadores interessados no assunto, assim como para as empresas de um polo industrial que tenham problemas de baixa eficiência em suas linhas de produção.

Este trabalho de conclusão de curso está dividido em 5 capítulos: o primeiro capítulo é a própria – Introdução, na qual apresenta-se todas as características da pesquisa, como por exemplo: tema, delimitação do tema, problemática, hipóteses, justificativa, objetivos.

O segundo capítulo trata-se da fundamentação teórica, na qual são abordados os assuntos relevantes que embasam a pesquisa. O terceiro capítulo refere-se à metodologia aplicada na pesquisa para o alcance dos resultados, no quarto capítulo apresentam-se os resultados encontrados e por último as considerações finais.

¹ Em uma tradução livre: Critérios de avaliação para a manutenção centrada em confiabilidade

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem por objetivo apresentar e definir os principais termos e conceitos relacionados a manutenção industrial. Definição dos tipos de manutenção, tipos de falhas e principais análises de causa relacionado a maquinários industriais.

2.1 CONCEITOS DE MANUTENÇÃO

A manutenção industrial, embora não muito notada, sempre existiu desde o início da indústria produtiva. Mas começou a ser realmente percebida por volta do século XVI na Europa central, tomou maiores proporções durante a Revolução industrial e se firmou como essencial após a segunda guerra mundial. Desde então, foram surgindo diversos conceitos e metodologias de manutenção, buscando sempre o aprimoramento dessas ferramentas.

Há, por exemplo, os tipos de manutenção como a corretiva, preventiva e preditiva. Para Almeida (2000) baseado na Norma Brasileira - NBR N° 5462 de 30 de novembro de 1994, preconizada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) a corretiva é a manutenção executada após a ocorrência e percepção de uma falha ou pane, ou seja, são aquelas manutenções realizadas nos equipamentos que foram detectadas durante a produção, na qual essa corretiva pode ser planejada na próxima manutenção de oportunidade, tem-se também a manutenção emergencial em que há quebra de equipamento, que é o caso mais grave e caro, que requer custos altíssimos associados a: estoque de peças sobressalentes, trabalho extra, custo de ociosidade de máquina e baixa disponibilidade de produção (ALMEIDA, 2000).

A preventiva é a realizada em intervalo de tempos predeterminados ou em relação a critérios prescritos, com a finalidade de redução de falhas ou degradação de ativos de acordo com a NBR 5462 (1994). Ela visa antecipar as falhas, normalmente seguem um cronograma seguindo um plano de manutenção. Elas normalmente são lubrificações, reaperto, inspeções, limpezas técnicas e trocas mandatórias.

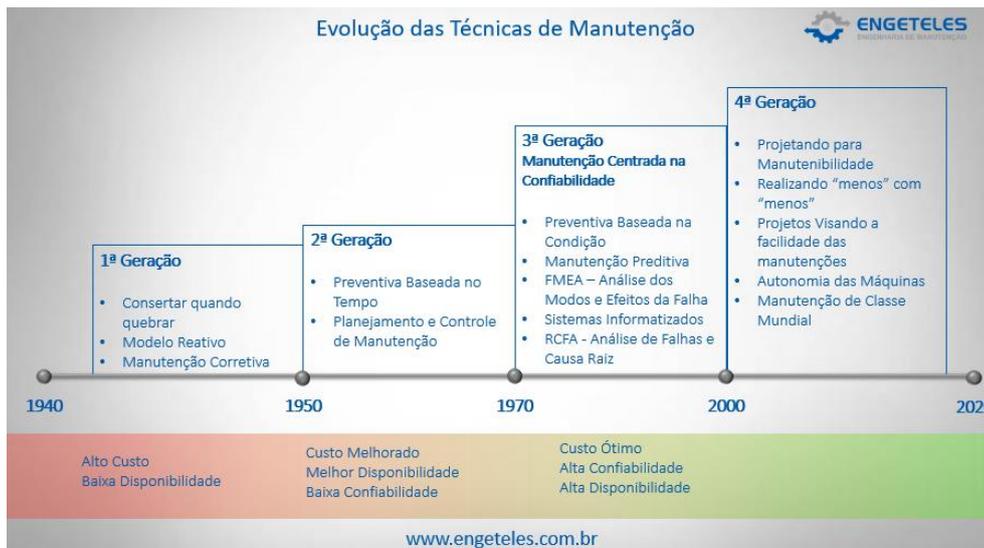
Enquanto a manutenção preditiva que também busca antecipar falhas, é responsável por acompanhar parâmetros de indicadores e verificar se há necessidade de realizar algum tipo de manutenção. Dentre elas estão as análises de vibração, termografias, análise de óleo, ultrassom etc. Baseado na condição ou estado que o equipamento se encontra, onde o equipamento segue uma sistemática através de técnicas e análises (KARDEC; NASCIF, 2012).

2.2 METODOLOGIAS DE MANUTENÇÃO

Ao longo dos anos, foram surgindo várias metodologias que visam otimizar a produção de uma linha industrial. Dentre elas, as mais usadas são o fordismo, taylorismo, TPM (manutenção produtiva total). Apesar de escolas diferentes, elas possuem conceitos bem similares que buscam um aumento da produtividade e, em consequência, uma maior quantidade de produto acabado entregue para o mercado. Mas para acompanhar essas metodologias de produção, a manutenção industrial teve que inovar para garantir que as máquinas funcionem em sua eficiência desejada. Logo, ao longo das décadas foram surgindo várias técnicas de manutenção (ENGETELES, 2020)

Podemos classificar essas evoluções em gerações, as quais podem ser observadas na figura 1.

Figura 1 Evolução das técnicas de manutenção



Fonte: Engeteles (© 2020)

Pode-se observar na figura 1, que na primeira geração, o conceito de manutenção não era muito falado, só era aplicado quando havia quebras de equipamento. Na segunda, que ocorreu após a segunda guerra mundial, manutenções pontuais já estavam sendo executadas, foram analisadas certas recorrências em quebras de maquinários industriais. Na terceira, acelerada pela terceira revolução industrial, nasceu o conceito de RCM (manutenção centrada em confiabilidade), na qual o foco passou a preservar as funções do equipamento e focar nos modos de falha. A chegada de instrumentos de preditivos também marcou essa geração. E, a quarta geração da manutenção, pode-se ser considerada como uma continuação da terceira geração. Nela há uma busca pela melhoria da disponibilidade e confiabilidade. O conceito de disponibilidade, segundo a NBR 5462, pode ser entendido como:

[...] Capacidade de um item de estar em condições de executar uma certa função em um dado instante ou durante um intervalo de tempo determinado, levando-se em conta os aspectos combinados de sua confiabilidade, manutenibilidade e suporte de manutenção, supondo que os recursos externos requeridos estejam assegurados. (ABNT, 1994, p. 2)

Portanto, a disponibilidade é a capacidade que um equipamento tem de estar disponível para a produção sem ocorrer impactos de produtividade. A

confiabilidade é a probabilidade de ocorrer zero falhas ao longo de um intervalo de tempo.

A partir desses indicadores, podemos saber aproximadamente quanto tempo temos esse equipamento para operação, e realizar cálculos de produção e programação de manutenções preventivas. Além de ser um indicador que podemos acompanhar a evolução e a efetividade do planejamento ao longo do tempo. A disponibilidade pode ser calculada através de dois indicadores da manutenção, que são:

- MTBF: Tempo médio entra as falhas, na qual consiste em quanto tempo o equipamento consegue funcionar sem apresentar falhas;
- MTTR: Tempo médio para reparo, que é o tempo necessário para que o problema seja solucionado quando ocorre alguma falha.

Então, a disponibilidade pode ser descrita pela seguinte fórmula:

Equação 2 Fórmula da disponibilidade

$$DISPONIBILIDADE = \frac{100TMEF}{TMEF + TMPR}$$

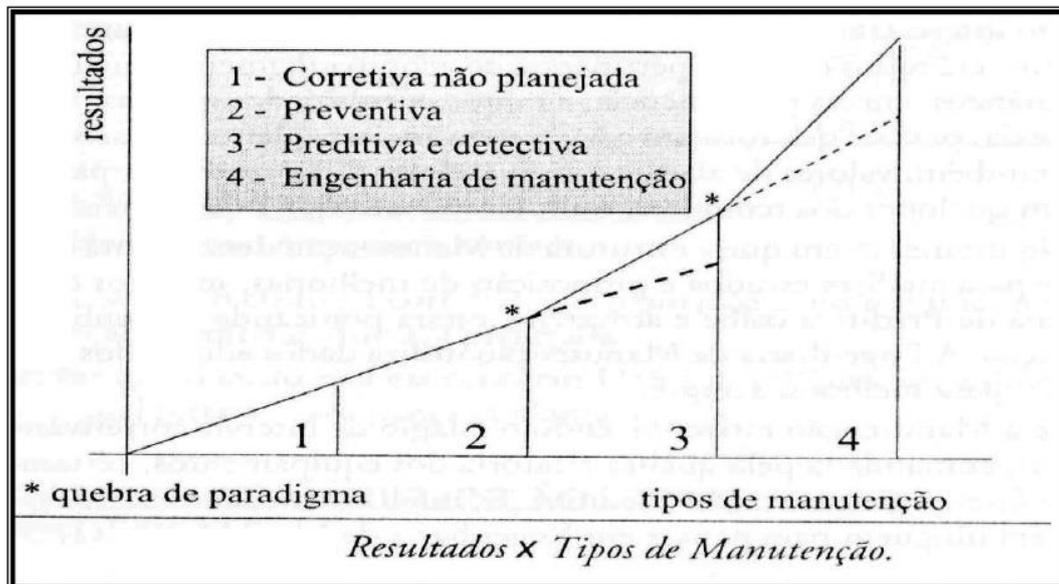
Fonte Próprio autor (2021)

2.3 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

A engenharia de manutenção é um conceito bastante usado atualmente. Segundo mencionado por Kardec e Nascif (2012), praticar a engenharia de manutenção significa uma mudança cultural. Ou seja, uma mudança no cenário da manutenção, visando o tratamento de causas raízes dos problemas, melhorando padrões de manutenção e ambiente do trabalho. Buscando sempre a aplicação de metodologias de trabalho modernas.

A figura 3 apresenta a correlação do resultado alcançado, baseado no tipo de manutenção realizada.

Figura 3 Resultados x Tipos de Manutenção



Fonte Kardec e Nascif (2001)

Podemos observar a melhoria no resultado à medida que implementamos uma gestão de manutenção na área determinada.

2.4 TIPOS DE FALHAS

Segundo Siqueira (2005), uma falha consiste na interrupção ou alteração da capacidade de um item desempenhar uma função requerida ou esperada. Ou seja, o componente não atua dentro do esperado. Grande parte das quebras dos equipamentos industriais não ocorrem de forma repentina. Sempre aparecem alguns sinais de que apresentarão alguma falha. Então, levando em consideração a definição contida na norma NBR 5462 – Confiabilidade e Manutenibilidade temos os principais tipos de falhas:

- **Falha potencial:** É quando o equipamento começa a apresentar sinais de perda de desempenho, é aqui que a manutenção preditiva atua, através de análises comparativas para identificar problemas que possam se agravar no futuro.
- **Falha funcional:** É o próximo estágio da falha potencial, quando o equipamento apresenta problemas que o tornam incapaz de desempenhar a sua função como esperado.

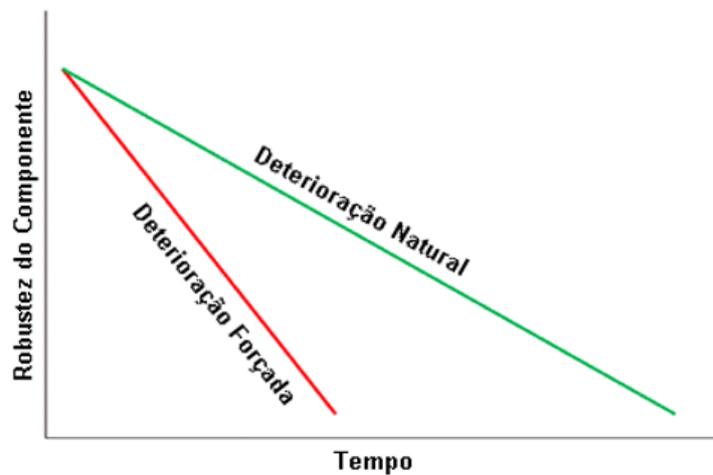
- **Falha oculta:** É uma falha em que o operador ou a equipe técnica ainda não detectou e que ainda não apresentou falhas no equipamento, na qual posteriormente, pode-se tornar uma falha potencial.
- **Falha total:** É o último estágio da falha potencial e funcional, quando o problema é detectável, mas não são realizadas manutenções para solucionar, ocorre a quebra do equipamento, não sendo possível dar continuidade na produção.

2.5 TIPOS DE DETERIORAÇÃO

Um outro conceito que nos ajuda a entender os tipos de falhas em um equipamento industrial citados por Tokutaro Suzuki (1995), são as deteriorações forçadas e naturais. A **deterioração natural** ocorre quando o equipamento opera em condições de projeto, na velocidade certa, temperatura certa, limpeza correta, lubrificante certo, painel refrigerado, se executa os planos de manutenção na frequência definida etc. Já a **deterioração forçada** ocorre quando o equipamento opera em condições que não foram projetadas como velocidade incorreta, muita vibração, temperatura alta no painel, lubrificante incorreto, contaminações, não se executa as manutenções na frequência correta etc.

A figura 4 mostra a diferença entre as duas deteriorações, na qual o eixo vertical representa a capacidade do equipamento funcionando sem falhas, enquanto o eixo horizontal representa o tempo. À medida que o tempo avança, a deterioração do equipamento ocorrerá até que chegue o ponto de falha.

Figura 4 Deterioração Forçada x Natural



Fonte Próprio autor 2021

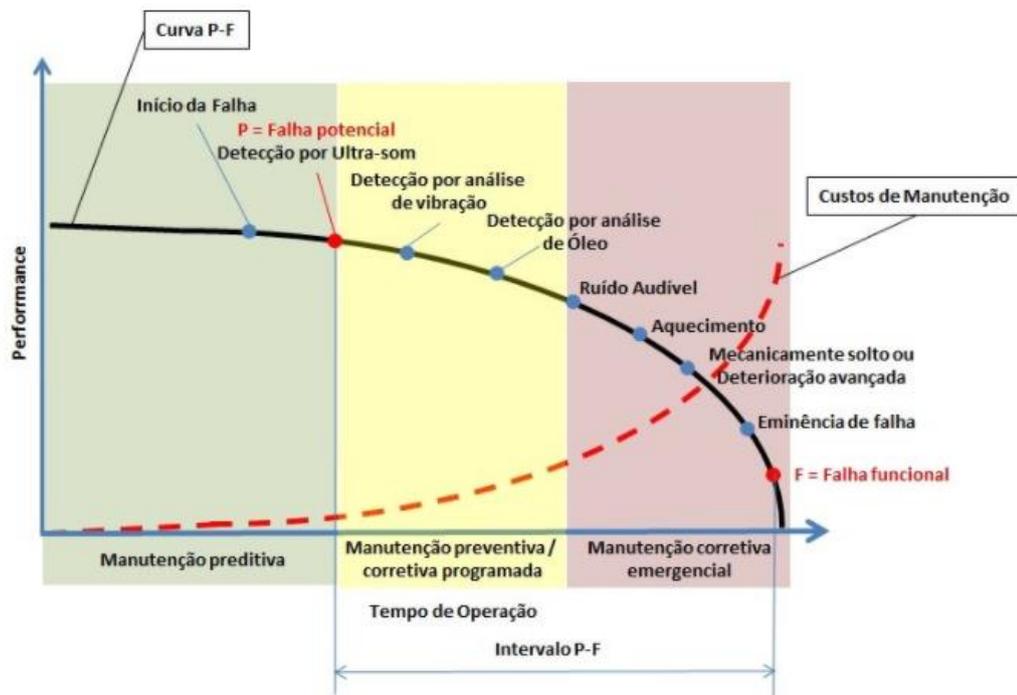
Logo, com a deterioração forçada, o equipamento deteriora-se a um ritmo muito mais rápido, resultando em falhas que ocorrem mais rapidamente em comparação com a deterioração natural. A deterioração forçada ocorre quando certas condições não são atendidas (painéis elétricos abertos, rolamentos sem lubrificação, subconjuntos desalinhados, operando com sobrecarga, falta de manutenção etc.). Por isso, a deterioração natural é tratada com planos de manutenção e a deterioração forçada é tratada com solução de causa raiz.

2.6 CUSTO DE MANUTENÇÃO

O custo das manutenções é um dos principais itens que são levados em conta na hora de uma tomada de decisão, pois se não for realizada a tomada de decisão de forma correta, os custos tendem a aumentar (ALMEIDA, 2000). É necessário que haja um planejamento em que possa ser analisado todos os fatores que entre eles estão: tempo de parada da linha de produção, demanda de produtos a serem entregues para o mercado, custo de manutenção, qualidade do produto etc. Pois, algumas vezes, é mais economicamente viável deixar ocorrer uma quebra ao parar a linha de produção e realizar a manutenção necessária. Temos uma análise na manutenção que é chamada curva P-F, na qual é levado em conta as falhas

potencial e funcional. A seguir vemos o gráfico da curva PF elaborado por Ricardo Vilar, em seu artigo chamado Curva P-F.

Figura 5 Curva P-F



Fonte Ricardo Vilar - Curva PF (2018)

Por meio desse gráfico, podemos identificar como funciona as etapas de uma quebra de um equipamento industrial. Inicialmente, ocorre a falha potencial, na qual, é nessa etapa, que pode ser detectada através de análises preditivas como vibrações, análise de óleo, ruídos etc. Após isso, quando não tratada, evolui para uma falha funcional, quando o equipamento começa a apresentar sinais de perda de eficiência até se tornar uma falha total, sendo necessário uma manutenção emergencial.

Ao longo desse gráfico, podemos observar um aumento do custo de manutenção, o quanto mais cedo conseguimos detectar a falha, menos gasto com manutenção teremos. Mas se deixarmos chegar na falha total, o custo com manutenção aumenta, uma vez que será necessária a compra de peças emergenciais, mão de obra específica, além do tempo que a máquina deixará de produzir. Então, o gasto com manutenções preventivas e preditivas acabam

tendo um retorno positivo para empresa, conforme visto no gráfico da curva P-F.

2.7 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM)

A manutenção produtiva total é um conceito bastante utilizado nos dias de hoje nos polos industriais. Ela teve seu início no Japão em 1970, vindo da necessidade da instalação de novos sistemas de gestão que atendessem os padrões de produtividade requerida pelo mercado e então, foi desenvolvida por Stan Nowlan e Howard Heap, em 1978, a partir da necessidade de aumento da confiabilidade das aeronaves civis americanas (NETHERTON, 2001). Foi desenvolvido o TPM com base em cinco pilares do programa 5s, programa elaborado no Japão em 1950, pelo professor Kaoro Ishikawa. O objetivo dessa ferramenta é o aumento da disponibilidade dos equipamentos, lucratividade e dentro dos padrões de qualidade. Tais pilares são:

- a) Seiri (Uso);
- b) Seiton (Organização);
- c) Seiso (Limpeza);
- d) Seiketsu (Padronização);
- e) Shitsuke (Disciplina).

Segundo Kardec e Nascif (2012), o objetivo global da TPM é a melhoria da estrutura da empresa em termos materiais (máquinas, equipamentos, ferramentas, matéria-prima, produtos etc.) e em termos humanos (aprimoramento das capacitações pessoais, habilidades e atitudes. Ou seja, é uma mudança de patamar em melhorias nos equipamentos industriais e uma mudança de cultura dos funcionários da empresa. Evitando desperdícios de tempo, dinheiro e trabalho. Tendo esses 5 pilares principais do TPM, é dividido ainda em 8 pilares de atividades suportes.

Esses pilares, segundo Coelho (2008), podem ser assim apresentados:

- a) **Manutenção da qualidade:** esse pilar buscar assegurar a qualidade do produto, assim evitando perdas de produção, retrabalhos e um produto

entregue ao cliente dentro dos padrões estabelecidos. Nesse pilar são utilizadas várias ferramentas estatísticas que auxiliam a gestão desse pilar.

- b) **Manutenção planejada:** esse pilar busca a estruturação bem definida do plano de manutenção preventiva e preditiva do equipamento. Tendo esse item bem definido, teremos uma boa eficiência do equipamento evitando grandes partes das falhas de manutenção que possam surgir no equipamento.
- c) **Manutenção autônoma:** é um do pilar que busca ter operadores mantenedores, ou seja, aquele que faz rotinas de lubrificação, pequenos reparos e são capazes de relatar potenciais falhas no equipamento. Uma equipe operacional autônoma e bem engajada com o processo é capaz de ter um resultado surpreendente na produtividade do equipamento.
- d) **Melhoria específica:** esse pilar busca avaliar e identificar a melhor forma que um equipamento trabalha dentro do processo. Assim identificando a realidade da linha de produção e fazendo os ajustes necessários, seja de velocidade do equipamento, eficiência do equipamento, ambiente de trabalho etc.
- e) **Controle de equipamentos:** novas tecnologias e inovações visando o aumento de produtividade vão surgindo ao longo dos anos. Mas, muitas vezes, torna-se inviável a empresa investir em novos maquinários então, esse pilar buscar a melhor forma de otimizar esses equipamentos através de pequenas adaptações buscando uma melhoria contínua.
- f) **Segurança, saúde e meio ambiente:** a segurança do colaborador está em primeiro lugar em qualquer linha de produção, então esse pilar buscar garantir que isso ocorra da melhor forma possível. O tema de sustentabilidade está entre as metas das grandes empresas multinacionais, esse pilar busca também um desenvolvimento sustentável para essa linha de produção.
- g) **TPM na administração:** esse pilar busca analisar a parte administrativa do processo, buscando otimização da rotina, através dos conceitos do 5s.

h) **Treinamento e educação:** para garantir que todos esses pilares funcionem de forma efetiva, é necessário um investimento em treinamentos e educação. Pois sempre podemos aprender e aperfeiçoar técnicas de trabalho.

O TPM é uma ferramenta bastante utilizada nas empresas do polo industrial, que quando aplicadas de forma correta, é possível obter bastantes resultados. No desenvolvimento desse trabalho, abordaremos alguns desses pilares como sendo chave para o nosso objetivo.

2.8 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

A manutenção centrada em confiabilidade (RCM)² é uma metodologia elaborada no final da década de 1960, inicialmente vindo da indústria aeronáutica.

Segundo Siqueira (2009), seu principal objetivo é garantir o desempenho, segurança preservação do ambiente a um melhor custo-benefício. A manutenção centrada em confiabilidade se resume em quatro tipos de manutenção, que quando combinadas, resultam em uma estratégia global de manutenção, que são os tipos de manutenção vistos anteriormente: manutenção corretiva; manutenção preventiva; manutenção preditiva, manutenção proativa.

Atualmente, a norma SAE JA1011, define um conjunto de critérios necessários para que uma estratégia de manutenção possa ser chamada de RCM, esta norma segue algumas perguntas para validação dessa metodologia, que são:

- Quais são as funções e padrões de desempenho do equipamento no contexto atual da operação?
- Como o ativo pode falhar ao cumprir essas funções?
- O que pode causar cada uma dessas falhas?
- O que acontece quando ocorre cada uma dessas falhas?
- Quais são as possíveis consequências de cada uma dessas falhas?
- O que pode ser feito para detectar ou evitar a ocorrência dessas falhas?

² Do inglês *Reliability Centered Maintenance (RCM)*,

- O que pode ser feito se não houver uma medida preventiva para essas ocorrências?

Com a metodologia do RCM aplicada de forma correta, teremos diversos benefícios citados por Moubray (1997), que dentre eles estão: melhor desempenho operacional, aumento da vida útil dos equipamentos, maior segurança aos colaboradores, qualidade assegurada do produto, maior eficiência de manutenção etc.

2.9 METODOLOGIAS DE ANÁLISE E SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

A seguir, tem-se algumas metodologias bastante utilizadas de análises e soluções de problemas.

2.9.1 Diagrama de Ishikawa

Uma das metodologias de solução de problemas bastante utilizadas é o diagrama de Ishikawa. Ela é uma ferramenta de qualidade com a finalidade de encontrar a causa raiz do problema, levando em conta todos os possíveis fatores que possam influenciar durante um processo. Foi elaborada em 1943, pelo Dr. Ishikawa.

É uma ferramenta utilizada para demonstrar a ligação presente entre o processo e o resultado de um processo, contribui com o mapeamento dos itens que se julgam comprometer uma meta pré-estabelecida. É uma ferramenta que está associada ao relatório de anomalias e que significa os fatores que geraram a anomalia (SCHOLTES, 2008, p.2- 25).

Logo, dentre os fatores estão a máquina, os materiais, a mão de obra, o meio-ambiente, o método e as medidas. A partir desses fatores, será realizado um *brainstorm* das ideias que possam afetar em cada um desses itens. A seguir veremos as características de cada um deles e quando deverão ser utilizados.

Máquina: aqui levaremos em conta todos os problemas que são originados do equipamento, como falhas mecânicas, elétrica, funcionamento incorreto de um grupamento do equipamento etc.

Materiais: está relacionando quando o problema está na matéria-prima não conforme, ou seja, está fora das especificações desejada do cliente, ou também componentes novos avariados e fora do padrão do equipamento.

Mão de obra: esse item está relacionado às pessoas. Normalmente vemos esse item em operadores e técnicos novatos, quanto eles estão aprendendo sobre o processo e sentem dificuldades na operação e ajuste de parâmetros do equipamento.

Meio ambiente: neste item devemos levar em conta fatores internos e externos ao sistema que influenciem a ocorrência de problemas tais como, layout da linha, temperatura do ambiente, ar poluído, reuniões, falta de espaços, água poluída etc.

Método: aqui é avaliado o processo e procedimentos usados durante a atividade. Ou seja, se houve planejamento para executar a atividade, se há procedimento para realização do processo, planos de manutenção para o equipamento etc.

Medida: neste é analisado os fatores que envolvem as métricas que são utilizadas durante o processo. Por exemplo, instrumentos de calibração como temperatura, pressão, volume etc. É necessário ter precisão nesses itens para termos um processo confiável.

2.9.2 ANÁLISE DE 5 PORQUÊS

Uma outra metodologia de análise de causa bastante utilizada é análise de 5 porquês, na qual é uma sequência de respostas em busca da causa raiz do problema. O método dos 5 por quês é uma abordagem científica, utilizada no sistema Toyota de Produção, para se chegar à verdadeira causa raiz do problema, que geralmente está escondida através de sintomas óbvios (Ohno, 1997). O método consiste em perguntar o porquê de um problema sucessivas vezes, para se encontrar a sua causa raiz.

Grande parte das vezes, é corrigido a falha, mas a causa raiz não, e conseqüentemente, a falha retorna após um certo período. Em anexo, podemos ver um modelo dessa ferramenta bastante utilizada no polo industrial.

A metodologia de 5 porquês é simples, só é necessário atenção com as respostas a serem dadas, e se realmente respondem a falha. A seguir tem-se um passo a passo do preenchimento dessa análise de causa.

- Preenchimento das informações básicas como data, turno equipamento;
- No campo 6M, iremos seguir a metodologia de Ishikawa, identificado as características do tipo de falha, na qual nos auxiliará nos porquês e nas ações propostas;
- A descrição da falha será o problema detectado no equipamento, ou seja, a falha funcional que o equipamento está apresentando. Atenção com essa descrição, pois os porquês serão respondidos baseados nessa falha.
- O campo dos 5 porquês iremos responder sobre a descrição da falha, nessa etapa é necessário um conhecimento mais técnico sobre o equipamento. Lembrando que o objetivo é chegar na causa raiz do problema, e não na causa de efeito.
- No campo de ações e comentários são as partes mais importantes desse formulário, pois a partir deles, vão surgir ações que irão tratar o nosso problema. Vale ressaltar que, obrigatoriamente, sairão dois tipos de ações. Ações corretivas, que são aquelas medidas necessárias para restaurar as condições para o equipamento voltar a funcionar, normalmente são troca de peças, ajuste de processos etc. E as ações preventivas, que são as principais, elas que farão com que esse problema nunca mais ocorra, normalmente são planos de ações preventivas, treinamentos, elaboração de uma nova forma etc.

3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentado toda a metodologia do padrão a ser seguido para alcançar o objetivo principal, que é a melhoria da disponibilidade de uma linha de produção. A elaboração do padrão foi baseada nos estudos bibliográficos realizados durante o curso de Engenharia Mecânica e na experiência adquirida nas empresas do ramo de produção de bebidas, onde o pesquisador atuou como Estagiário Superior, Assistente de PCM e Líder de Produção.

3.1 PADRÃO DE DISPONIBILIDADE

Inicialmente, é preciso entender quais problemas devem ser tratados. Para isso, é necessário realizar uma análise bem definida para estratificar os principais impactos da linha. Essa análise é chamada de análise estruturada da linha de produção. Por meio dela, pode-se entender os principais motivos dessa linha não está funcionando como o esperado. Logo, devem-se usar algumas ferramentas da qualidade para análise de dados como os gráficos de diagrama de Pareto e diagrama de Ishikawa. Primeiramente, deve-se ter uma base de dados acerca dos principais impactos de pelo menos os últimos 3 meses. É importante que se tenha um período igual ou maior que este, para que as informações sejam assertivas sobre os principais impactos da linha de produção.

A partir desses dados, pode-se realizar a análise estruturada dessa linha. Inicialmente, é necessário estratificar os tipos de indisponibilidade que essa linha de produção possui, que dentre eles estão:

Indisponibilidade de Manutenção: São todas aquelas falhas que ocorrem devido à quebra ou falha do equipamento industrial devido a falhas mecânicas, elétricas ou automações.

Indisponibilidade operacional: São as falhas que ocorrem devido a alguma falha de operação. Seja ajustes no processo, setup operacional, falta de treinamento etc.

Indisponibilidade logística: São aquelas paradas que ocorrem devido a falta de insumos para produção, falha na programação de produção, falta de empilhador etc.

Indisponibilidade de processo: São aquelas paradas de indisponibilidade do fornecedor direto da linha de produção. Muitas vezes a linha de produção é cliente de outra área.

Indisponibilidade de qualidade: São aquelas paradas que ocorrem devido a algum problema na qualidade do produto. Seja produtos não conformes, retenções etc.

3.2 ANÁLISE DE INDISPONIBILIDADES

Inicialmente, após ter sido realizado a análise de dados, através de um gráfico de pareto, pode-se identificar de forma acessível qual foi o maior impacto de indisponibilidade dessa linha no período analisado. Uma forma comumente utilizada em análise e solução de problemas, é o tratamento de 80% das falhas indicadas no pareto. Pois, se realizado o tratamento de forma assertiva, terá um ganho considerável na disponibilidade dessa linha de produção.

3.3 ESTRATIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

Após ter sido identificado os maiores impactos de indisponibilidade, pode-se fazer outra estratificação dessa indisponibilidade. Se o maior impacto tiver sido indisponibilidade de manutenção, pode-se realizar outra análise de dados e identificar os piores equipamentos dessa linha de produção voltados para a manutenção. Dessa forma, será percebido o equipamento mais crítico dessa linha de produção, e gastar maiores esforços para realizar o tratamento. Lembrando que são necessários uma coleta de dados de pelos menos os últimos 3 meses para que se tenha valores mais assertivos.

3.4 ESTRATIFICAÇÃO DE DESCRIÇÃO DE PARADAS

Pode-se ainda realizar outra análise dentro dos piores equipamentos dessa linha. Com a base de dados do período necessário, será realizado um gráfico de pareto indicando os principais problemas baseado no tempo de

parada do equipamento. Através dessa descrição de paradas, será realizado o tratamento através de ações efetivas das causas raízes desses problemas, assim fazendo com que o equipamento volte a sua eficiência prevista.

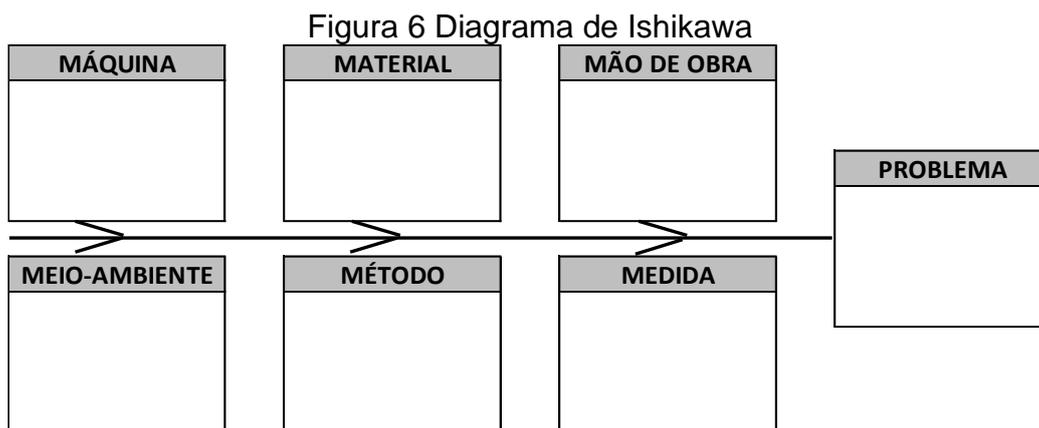
Mas como serão resolvidos esses problemas? Uma vez que são falhas recorrentes do dia a dia, e mesmo assim não são solucionadas. Pois, muitas vezes, são realizados apenas a correção da consequência do problema, mas não da causa raiz. Então, é necessário a realização de uma análise de causa para ser realizado o tratamento desse problema, para isso é preciso um conhecimento da metodologia a ser aplicada e, principalmente, o conhecimento técnico do equipamento em questão. A seguir tem-se algumas ferramentas de análises e soluções de problemas comumente utilizadas.

3.5 APLICAÇÃO DAS METODOLOGIAS DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Após ser realizado a análise estruturada da linha de produção e identificado os problemas, é necessário a realizar a identificação da causa raiz, para isso será utilizados as ferramentas vistas anteriormente.

3.5.1 Diagrama de Ishikawa

Inicialmente será utilizado o diagrama de Ishikawa, para isso na cabeça do diagrama, no campo escrito problema, insere-se o problema a ser analisado. Nos 6M, será levantado as possíveis causa que possam estar ocasionando o problema, lembrando que em cada caixa deve-se colocar a falha de acordo com a características. Para cada problema que foi estratificado durante a análise de dados, deve-se ter um diagrama com as possíveis possibilidades. A seguir, segue uma adaptação realizada pelo autor do diagrama.



Fonte Próprio autor (2021)

3.5.2 Análise de 5 Porquês

Após a realização do diagrama de Ishikawa, pode-se utilizar outra ferramenta vista anteriormente, o diagrama de 5 porquês.

A seguir, tem uma adaptação feita pelo auto do formulário de 5 porquês para a realização da análise.

Figura 7 Formulário de 5 porquês

ANÁLISE DE 5 PORQUÊS	
DATA:	6M
TURNO:	Método <input type="checkbox"/> Mão de obra <input type="checkbox"/> Material <input type="checkbox"/>
EQUIPAMENTO	Máquina <input type="checkbox"/> Medida <input type="checkbox"/> M. Ambiente <input type="checkbox"/>
DESCRIÇÃO DE FALHA	
1º PORQUÊ	
2º PORQUÊ	
3º PORQUÊ	
4º PORQUÊ	
5º PORQUÊ	
AÇÕES/COMENTÁRIOS	
RESPONSÁVEIS:	

Fonte Próprio Autor (2021)

3.6 PLANO DE AÇÃO

Após ser realizado o levantamento de todos os possíveis problemas, precisamos levantar as ações que irão solucionar essas falhas. As ações são originadas das metodologias de solução de problemas escolhida, seja a análise de 5 porquês ou o diagrama de Ishikawa. Lembrando que para a elaboração dessas ações, é necessário que seja feito junto com um time multidisciplinar composto pelo time operacional e técnico. As ações precisam ser de dois tipos:

- Ações corretivas: são todas ações que serão realizadas para que o equipamento volte a funcionar, tais como troca de peças, compra de material, ajuste de parâmetros e componentes etc.
- Ações preventivas: são todas as ações que serão realizadas para evitar que essa falha volte a ocorrer. Normalmente são treinamentos, elaboração de planos de manutenção, padrões operacionais, criações etc.

A ferramenta 5W2H é um método com característica de eficiência na colaboração das análises, para a evolução de conhecimento acerca do processo, problema ou mesmo prática que poderá ser tomada, e mesmo assim, se trata de uma ferramenta simples para uso estratégico. A matriz 5W2H está pronta para auxiliar nas decisões a serem tomadas para execução de um plano de ação de melhorias, o 5W2H consiste em uma forma para estruturação dos pensamentos com organização e materializada, antes da estruturação de alguma solução no negócio (PACHECO, 2009).

Essa metodologia consiste em 7 palavras do inglês que são: *What?* (o que será feito); *Why?* (por que será feito); *Where?* (onde será feito); *When?* (quando será feito); *Who* (por que será feito); *How?* (como será feito); *How Much?* (quanto vai custar). A seguir, tem-se um modelo de como pode ser realizado esse plano de ação:

Figura 8 Plano de Ação - 5W2H

O QUÊ	PORQUE	ONDE	QUEM	QUANDO	COMO	QUANTO
Qual o problema?	Porque necessário a realização dessa ação?	Onde será realizado?	Quem irá realizar?	Prazo	Como será feito?	Qual o custo?

Fonte Próprio autor (2021)

Para o plano de ação ser efetivo, é necessário que seja realizado dentro do prazo estipulado e da maneira que foi programado. Pois, são ações vindas da análise de solução de problema e, se tratadas de forma efetiva, se terá o resultado esperado.

3.7 REVISÃO DOS PLANOS DE MANUTENÇÃO

Já foi realizado a análise estruturada da linha de produção, verificado os principais impactos dessa linha, realizado o plano de ação de forma efetiva e os tratamentos estão sendo realizados segundo o cronograma, somente essas ações serão efetivas para que a linha de produção volte à sua eficiência prevista? A disponibilidade da linha com certeza irá melhorar, mas precisamos garantir que não aparecerá problemas diferentes dos existentes, e uma forma de se reduzir essas futuras falhas é tendo um plano de manutenção do equipamento bem estruturado. Na qual, é um dos pilares do TPM, a manutenção planejada. A seguir, será visto uma forma de ser realizado a revisão dos planos de manutenção.

3.8 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE

Para a realização da revisão dos planos de manutenção, será utilizado um conceito bastante famoso, o RCM (manutenção centrada em confiabilidade), na qual consiste em uma série de análises para se determinar esses planos. A seguir tem-se uma sequência de definições de RCM que será utilizada para a realização da análise:

3.8.1 Função do Equipamento

Para iniciar a definição de um plano de manutenção, primeiro de tudo deve-se avaliar o motivo pelo qual o equipamento ou subconjunto existe, e isso começa com a avaliação dos padrões de função do equipamento. Os padrões de desempenho são as faixas padrões de operação, como: temperatura, velocidade, pressão etc. Na qual garantem a elevada eficiência do equipamento e os padrões de qualidade e segurança. A seguir será usado como exemplo a função de uma Lavadora de garrafas industriais. Quanto mais detalhado, melhor para se definir um plano de manutenção, porque o objetivo do plano é manter as funções do equipamento.

- a) Função da Lavadora de Garrafas: Lavar garrafas a uma temperatura entre 65°C e 80°C, com uma concentração de soda entre 2,1 até 2,5 mS, com velocidade de 30.000 garrafas/hora, com tempo de imersão de 10 minutos por garrafa. Não é aceitável que as garrafas saiam com rótulos.

3.8.2 Peças de Desgaste Natural

Após definir a função do que se deseja aplicar o RCM, deve-se questionar: quais são as peças de deterioração natural que afetam a perda de função do equipamento? Como foi visto anteriormente o conceito de desgaste natural, após isso deve-se listar todas as peças de deterioração natural, que afetam a função, para que sejam submetidas à análise.

3.8.3 Modo de Falha

O modo de falha é a forma com que a peça se deteriora. Exemplo: desgaste, ressecamento, deformação, entupimento, sujidade etc. Após identificar as peças de desgaste natural, é necessário identificar o modo de falha natural de maior impacto para cada peça. Cada peça de desgaste natural existe ao menos um modo de falha, como:

- Ressecamento (borrachas);

- Deformação (vedações);
- Perda de propriedades físico-químicas (lubrificantes);
- Perda de elasticidade (molas);
- Entupimento (Filtros de ar, de óleo, de processos);
- Sujidade natural (partes do equipamento como transportadores, ventiladores, exaustores).

3.8.4 Análise FEC (Efeitos e Consequências)

Até agora foi definido a função, as peças e o modo de falha principal. A próxima etapa é avaliar o efeito e a consequência da falha. Pode-se traduzir isso como o grau de importância, que levará a decidir os tipos de manutenções a serem realizadas (corretiva, preventiva, preditiva etc.).

- O **Efeito** é como a falha afeta a função do equipamento ou do subconjunto. Exemplo: o desgaste da bucha leva ao empenamento do eixo e sobrecarga nos mancais, gerando falhas de sincronismo e quebra do eixo.
- A **consequência** é como a perda da função afeta a estratégia da planta (custo de manutenção, tempo de parada / eficiência, qualidade, segurança, meio ambiente). Exemplo: parada acima de 24 horas com alto custo de manutenção.

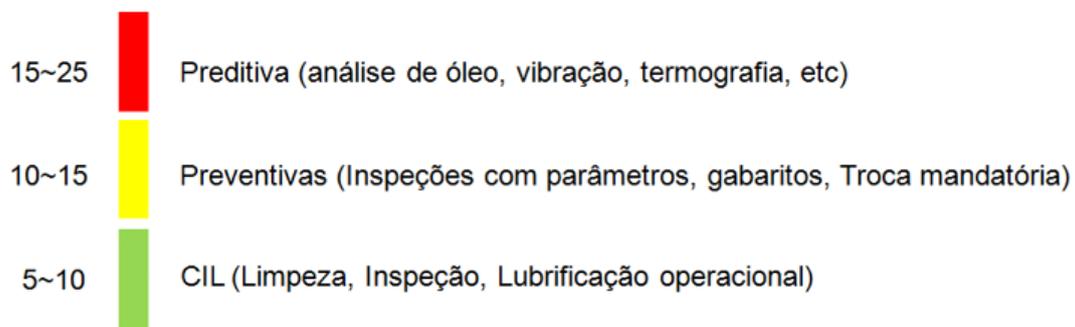
Uma forma de analisar o efeito e consequência de forma quantitativa é mostrada nas figuras 8 e 9:

Figura 9 Tabela com critérios

TABELA COM CRITÉRIOS					
	Crítérios	Alto (5)	Médio (3)	Baixo (1)	Grau de Importância
1	Efeito em custo de manutenção	>R\$10.000	>1000<10.000	<1000	5
2	Efeito em produção	>24H	<1H<8h	<30min	3
3	Efeito em qualidade	Requisito legal	Impacto no indicador	Desprezível	1
4	Efeito em segurança	Requisito legal	Impacto no indicador	Desprezível	1
5	Efeito em Meio ambiente	Requisito legal	Impacto no indicador	Desprezível	1
				SOMA	11

Fonte Próprio autor (2021)

Figura 10 Tipos de manutenções



Fonte Próprio autor (2021)

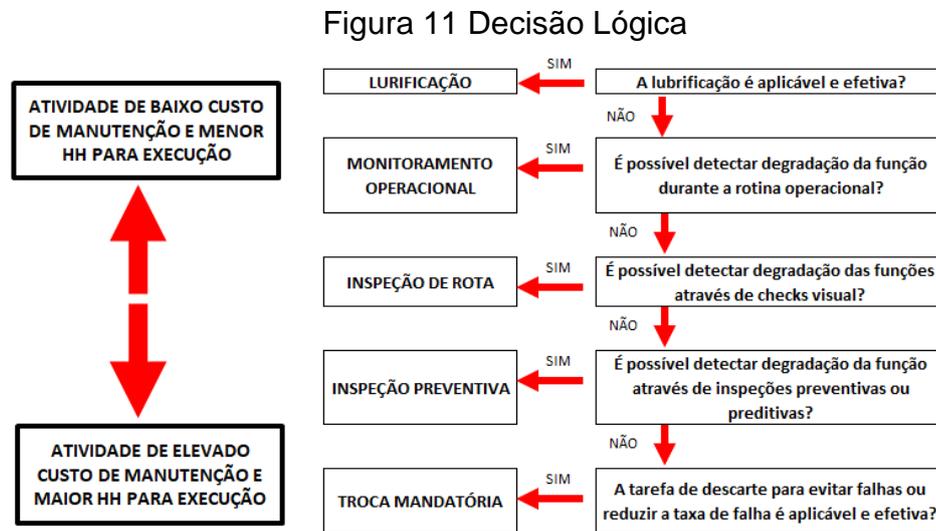
3.8.5 Decisão Lógica

Até agora foi explicado alguns conceitos de RCM que ajudam a construir um plano de manutenção bem definido, ou seja, planos que visam manter a função dos equipamentos, baseado em deterioração natural.

A próxima etapa é a mais importante, é nela que vamos definir o tipo de plano de manutenção (lubrificação, troca, preditiva etc.) e essa decisão tem influência no custo, por isso deve ser analisada com bastante critério cada tópico que foi abordado acima para que se possa ter um plano bem assertivo. Abaixo tem-se uma sequência lógica de avaliação, onde para cada tipo de plano se questiona a viabilidade e eficiência:

- Lubrificação
- Limpeza Técnica
- Inspeções (operacionais)
- Inspeções (qualitativas, com parâmetros, gabaritos)
- Inspeções (Preditivas: análise de óleo, vibração, termografia, MCE)
- Trocas mandatórias / *Overhaul* (regra financeira de periodicidade e custo)

Após definido os componentes de desgaste natural, basta seguir as perguntas apresentadas no diagrama 10 para fazer a definição do tipo de manutenção.



Fonte Próprio autor (2021)

3.8.6 Definição de Frequências

Existem diversas formas para se determinar a frequência dos planos de manutenção. As mais sofisticadas levam em conta o histórico de falhas podendo ser utilizado cálculo em software, estatística de falhas etc. Mas um modo mais simples inicial e que o resultado é satisfatório, é definir a frequência usando o histórico do tempo de vida útil dos subconjuntos definida pela equipe envolvida (por isso a necessidade de termos pessoas de diferentes conhecimentos: operador, mecânico, eletricista, supervisão), manuais e a criticidade do equipamento.

3.8.7 Valorização dos Planos de Manutenção

Após a definição dos planos de manutenção seguindo o método RCM, deve-se conhecer o custo do plano de manutenção para que as rotinas de planejamento e execução funcionem bem. Não basta apenas ter um bom plano de manutenção, é necessário termos uma boa rotina de planejamento e

execução para que seja efetivo. Atenção para ser alocado no sistema utilizado de forma correta, de acordo com o que foi definido pela análise.

3.9 MANUTENÇÃO AUTÔNOMA

Após ter sido definido todo o plano de manutenção do equipamento, pode-se organizar de uma forma mais prática o monitoramento operacional. O operador, convive com o equipamento diariamente, sabe os seus problemas e dificuldades do dia a dia, ele é a pessoa que mais tem conhecimento sobre essa máquina. Então, podemos destinar atividades mais simples como limpeza técnica, inspeção e lubrificação, na qual, durante a execução dessas atividades, o operador irá detectar várias anomalias, podendo fazer tratativas. Esse direcionamento de atividades ao operador vem do conceito de manutenção autônoma, vindo de um dos pilares do TPM, como visto anteriormente.

Atualmente, grande parte das empresas do polo industrial, não utilizam dessa ferramenta, não exploram o operador em suas capacidades máximas, eles sendo responsáveis apenas pela operação da máquina e a equipe de manutenção sendo responsável por atividade de pequenos reparos até grandes manutenções. Mas quando implementada essa metodologia de manutenção autônoma, podemos ver resultados imediatos no resultado da máquina.

3.10 SETUP E PEQUENOS REPAROS

Para ser iniciado a implementação da manutenção autônoma, pode-se inserir pequenas atividades rotineiras do equipamento de produção como setups. Atualmente, muitas empresas do polo industrial utilizam a manutenção para a realização de setups na qual, muitas vezes, os operadores são capazes de realizar. Se direcionada essa atividade para a operação, terá ganhos de diversas formas, dentre eles: aumento do HHT do técnico, aumento das habilidades técnicas do operador, além de um maior engajamento, pois dessa forma, o operador terá um sentimento de dono do equipamento.

Durante a realização do setup, inspeções diárias e até durante a produção, pode-se ser detectados pequenas anomalias pelo operador, na qual, se possíveis, podem ser corrigidas rapidamente, sem a necessidade do time técnico, atividades tais como: troca de conexões, mangueiras, reparos etc. Com isso, temos um aumento na produtividade do equipamento.

3.11 LIMPEZA

Com um equipamento limpo e livre de sujidades, fica mais simples as identificações de anomalias, setup, manutenções preventivas, além de evitar pequenas paradas do equipamento. Durante a realização dessa limpeza, pode-se realizar a inspeção técnica, o operador com o olhar mais aguçado é capaz de detectar diversas falhas e relatar de forma mais efetiva, evitando futuras falhas.

3.12 LUBRIFICAÇÃO

A lubrificação dos equipamentos industriais é outro item que pode ser feito pela operação. Cada componente do equipamento possui uma lubrificação específica, alguns recebem óleos minerais, sintéticos ou graxos, dentro da periodicidade correta pré-estabelecida. Mas para que essa lubrificação seja feita de forma correta pelo operador, é necessário a estruturação e mapeamento de todos os pontos e procedimentos adequados.

Dessa forma, é necessário a realização de um checklist de lubrificação na qual contenha todas as informações necessárias para realizar a lubrificação de forma correta, como:

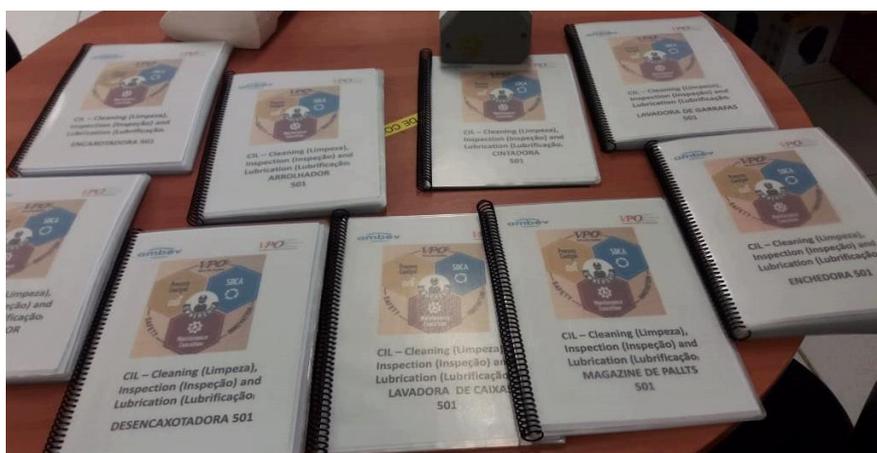
- Descrição do ponto de lubrificação;
- Tipo de lubrificante;
- Frequência;
- Meio de aplicação;
- Condições da máquina;
- Mapa de lubrificação;
- Procedimento de lubrificação.

Com um padrão contendo todos esses itens, e o treinamento da operação, fica garantido que a lubrificação será realizada de forma correta.

3.13 CHECKLIST DE LIMPEZA, INSPEÇÃO E LUBRIFICAÇÃO (CIL)

Para simplificar essas atividades citadas, pode-se elaborar um livro contendo todos esses itens. O checklist dos pontos a serem lubrificados, os pontos a serem limpos e inspecionados. Dessa forma, é mais prático para o operador realizar as atividades e para o gestor checar se foi realizado de forma eficiente. A seguir temos um modelo desse checklist, cada um aplicado a uma máquina de uma linha industrial.

Figura 12 Foto de checklist de Manutenção Autônoma



Fonte Próprio autor (2021)

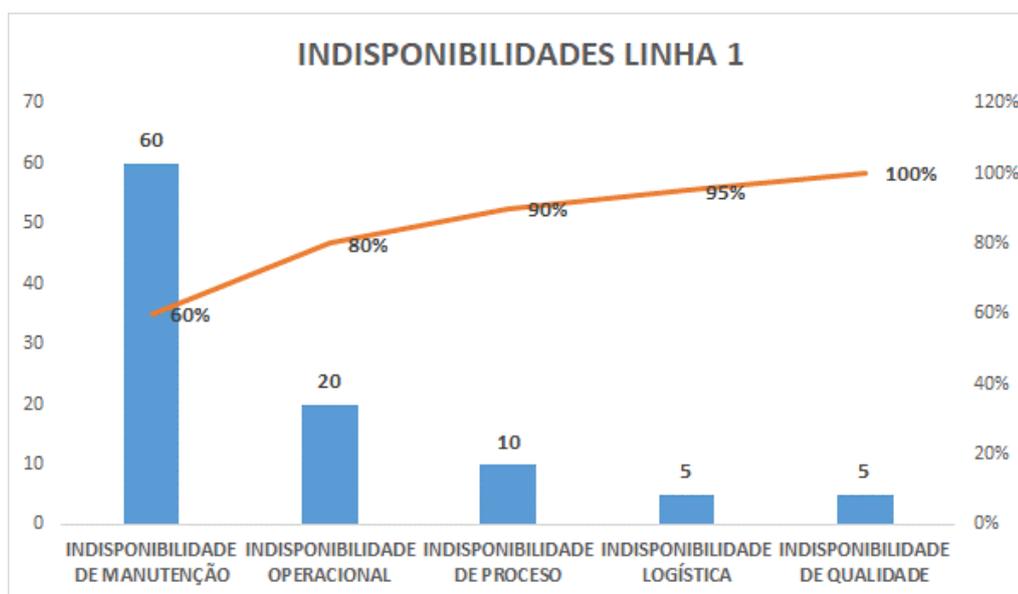
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo será apresentado como resultados a aplicação metodológica do trabalho em um estudo de caso hipotético de uma linha de produção industrial.

4.1 ANÁLISE ESTRUTURADA DA LINHA DE PRODUÇÃO

No gráfico 1, apresenta-se a indisponibilidade de uma linha de produção genérica, na qual é realizada a estratificação dos dados dos últimos três meses.

Gráfico 1 - Gráfico de indisponibilidade

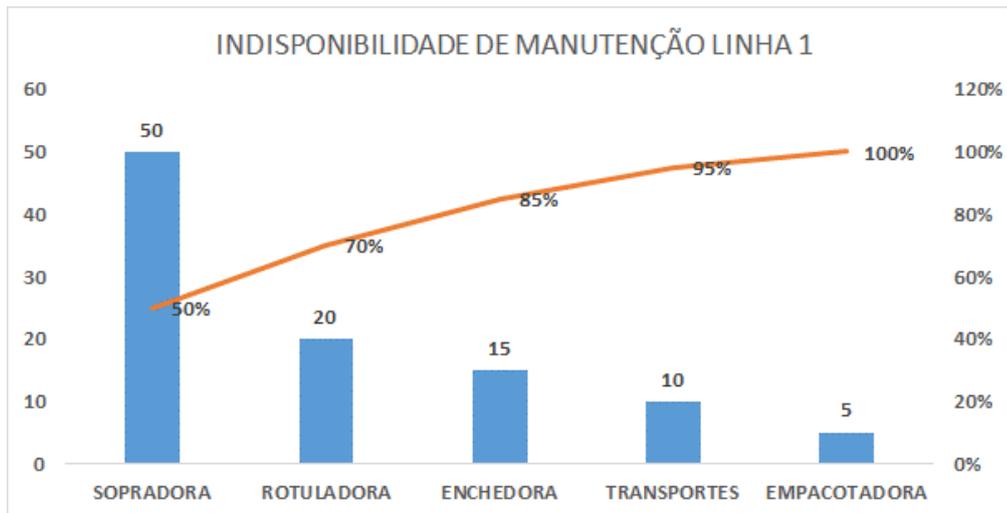


Fonte Próprio autor (2021)

A partir dos dados do gráfico 1, pode-se observar que os maiores impactos estão relacionados à indisponibilidade de manutenção e operacional, ou seja, se realizado o tratamento desses dois itens de forma assertiva, a linha de produção da empresa terá uma melhora de 80% dos maiores impactos. Dispondo dos dados, é possível fazer uma estratificação ainda melhor da indisponibilidade de manutenção.

O gráfico 2, mostra os principais impactos de manutenção da linha de produção.

Gráfico 2 - Indisponibilidade de Manutenção

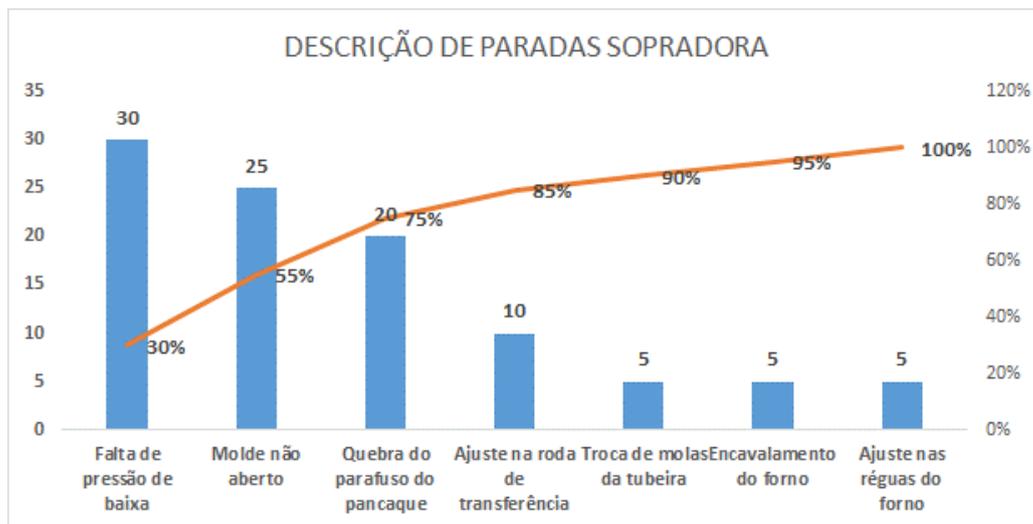


Fonte Próprio autor (2021)

A partir da leitura do gráfico 2 é possível observar os maiores impactos por equipamento da linha de produção, sendo a sopradora equivalendo a 50% dos maiores impactos, seguida da rotuladora e enchedora, que somadas equivalem a 85% dos problemas dessa linha. Ou seja, é preciso fazer o tratamento focado nesses três equipamentos, porém a sopradora é a que apresenta a situação mais crítica. Dispondo dos dados, é possível ainda fazer uma estratificação mais profunda. Por meio da análise de outro gráfico de pareto, com as paradas mais recorrentes desse equipamento. Assim, serão conhecidos os problemas mais recorrentes dessa máquina e os pontuais. Pois é necessário tratar os pequenos problemas que ocorrem, os quais, ao decorrer do dia, não possuem tanto impacto, mas quando se olha de modo global, vê-se que normalmente, são os maiores impactos desse equipamento.

O gráfico 3 apresenta a descrição das paradas do equipamento.

Gráfico 3 Descrição de Paradas



Fonte Próprio autor (2021)

Neste gráfico 3, pode-se observar os maiores impactos da sopradora. Por esses dados coletados serem dos últimos três meses, tem-se um embasamento maior acerca desses impactos. Verifica-se que não existe apenas um problema que é o maior impacto desse equipamento, mas, sim, várias falhas. Ou seja, para haver uma eficiência considerável desse equipamento, deve-se tratar de forma assertiva os 4 primeiros problemas, que totalizam 85% das paradas desse equipamento.

4.2 ANÁLISE DE CAUSA

Após terem sido estratificados todos os problemas dessa linha de produção, é necessário o tratamento da causa raiz do problema, para que essa falha não ocorra mais. Por isso, pode-se utilizar as 2 ferramentas vistas anteriormente. Na da sopradora, observou-se que o maior impacto está relacionado à “falta de pressão de baixa”. Com isso, utiliza-se o diagrama de Ishikawa para a identificação da causa raiz do problema, como no modelo da figura 12:

Figura 12 Análise diagrama Ishikawa



Fonte Próprio autor (2021)

No diagrama de Ishikawa, foram inseridos todos os problemas pertinentes que influenciam a falta de pressão de baixa. Eles estão divididos entre os 6m, que são:

Máquina: nesse item, tem-se 2 problemas que afetam, que são os vazamentos de ar por essa máquina, na qual há uma perda de pressão e a falha no compressor de ar vindo da casa de máquinas.

Meio-ambiente: outro fator que influencia a falta de pressão, é a baixa qualidade do ar comprimido do nosso sistema. Um ar comprimido com excesso de umidade acabar trazendo água e sujeira para a tubulação, fazendo com que há perda de pressão.

Material: foi avaliado que há falhas nos componentes usados no equipamento, neste caso foi observado que as conexões de ar comprimido eram inadequadas para o especificado

Mão de obra: neste caso foi observado uma falha operacional dos ajustes de parâmetros do equipamento.

Após terem sido identificadas várias causas que possam influenciar na queda de pressão de baixa na sopradora, pode-se realizar a análise de 5 porquês para cada um desses itens, em busca de ações efetivas para tratar a causa raiz do problema.

A figura 13, ilustra o modelo do formulário dos 5 porquês.

Figura 13 Análise de 5pq's

ANÁLISE DE 5 PORQUÊS			
DATA:		6M	
TURNO:		Método <input type="checkbox"/>	Mão de obra <input type="checkbox"/> Material <input type="checkbox"/>
EQUIPAMENTO: SOPRADORA		Máquina <input checked="" type="checkbox"/>	Medida <input type="checkbox"/> M. Ambiente <input type="checkbox"/>
DESCRIÇÃO DE FALHA			
Falta de pressão de baixa			
1º PORQUÊ	Perda de ar comprimido na máquina		
2º PORQUÊ	Excesso de vazamentos no equipamento		
3º PORQUÊ	Reparos do cilindro de estiramento danificados		
4º PORQUÊ	Falha na manutenção preventiva		
5º PORQUÊ			
AÇÕES/COMENTÁRIOS			
1. Realizar a troca dos reparos de todos os pistões do cilindro de estiramento; 2. Realizar análise e elaborar plano de troca mandatória dos reparos dos pistões de acordo com periodicidade estimada.			
RESPONSÁVEIS: Time operacional e time técnico			

Fonte Próprio autor (2021)

A partir da análise de causa, identificou-se que a causa raiz do problema foi a falha na manutenção preventiva, então saíram duas ações, a primeira corretiva de realização de troca dos reparos e a segunda, uma preventiva, para elaboração de um plano periódico de troca, assim, será possível garantir que essa falha nos reparos dos pistões não ocorrerá mais. Dessa forma, precisa-se fazer a análise para os principais problemas do Pareto. Recomenda-se que seja realizada essa análise, em, pelo menos, nos 85% dos principais impactos do equipamento, de modo que garanta a melhoria da eficiência desse equipamento.

4.3 IMPLEMENTAÇÃO DO RCM

O próximo passo é a aplicação da manutenção centrada em confiabilidade. Inicialmente, é necessário ter acesso ao manual do equipamento a ser realizado, pois através do manual pode-se dividir a máquina em diversos grupamentos para facilitar a implementação. Após a divisão do o equipamento em grupamentos, pode-se identificar todos os componentes existentes nesse grupamento e iniciar a análise de RCM conforme item 3.9 da metodologia.

Em cada coluna dessa planilha, foram divididas as 7 perguntas vistas anteriormente do RCM, na qual irá auxiliar na tomada de decisão do RCM. Para facilitar a análise e controle, organiza-se em uma planilha de acordo com modelo anexo no apêndice.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho de conclusão de curso teve como objetivo principal estabelecer um padrão para melhoria da disponibilidade de uma linha de produção industrial. A partir das análises, considera-se que, após a investigação da metodologia para a melhoria de uma linha industrial, foram levantados vários aspectos que influenciam a baixa eficiência de uma linha de produção. Foi demonstrado como realizar uma estratificação bem detalhada sobre os principais impactos e o tratamento da causa raiz desses problemas para que essas mesmas falhas deixem de acontecer.

Este tema é bastante relevante atualmente, visto que muitas empresas de polos industriais têm problemas de produtividade em suas linhas de produção. Isso afeta diretamente a quantidade e qualidade do produto acabado, além de influenciar diretamente no engajamento de toda a equipe operacional, pois com problemas constantes de maquinários industriais, o ambiente de trabalho acaba se tornando muito desgastante e cansativo. Então, com a implementação desse padrão nas linhas de produção, será possível reverter essa situação e trazer resultados tangíveis para a indústria.

Ao longo do desenvolvimento desse trabalho, foi elaborado um modelo padrão, o qual pode ser seguido para realização da análise para encontrar a causa raiz dos problemas que afetam a linha de produção, sendo realizadas tratativas de formas efetivas. Foi também exemplificado de forma prática como essa análise deve ser realizada.

Os resultados alcançados foram bastantes satisfatórios, pois foi possível elaborar uma tratativa eficiente, baseada no aprendizado ao longo do curso de graduação de Engenharia Mecânica e juntamente com a experiência adquirida ao longo de 4 anos de vivência em linhas de produção industrial. Portanto, se o passo a passo padrão for aplicado de maneira adequada, realizando as tratativas do plano de ação conforme o planejado, o objetivo será alcançado, que é a elevada disponibilidade de uma linha de produção industrial.

A partir deste trabalho, tem-se a oportunidade da continuação desse estudo buscando a melhoria de uma linha de produção utilizando ferramentas

voltadas para a tecnologia. Uma vez que, atualmente, sempre estão surgindo novas inovações voltadas a automações, inteligência artificial, dentro outros.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Márcio Tadeu de. **Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade.** 2001. Disponível em <https://mtaev.com.br/wp-content/uploads/2018/02/mnt1.pdf> Acesso em: 07 fev. 2021.

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

COELHO, José António da Silva. **Implementação da Total Productive Maintenance (TPM) numa Empresa de Produção.** Disponível em <<https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/321/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em 14.03.2021

TELES, Jhonata. **Introdução à Manutenção Centrada em Confiabilidade. Engeteles,** 2020. Disponível em:<<https://engeteles.com.br/manutencao-centrada-na-confiabilidade/>>. Acesso em 20 fev. 2021.

FONSECA, J. J. S. **Metodologia da pesquisa científica.** Fortaleza: UEC, 2002. Apostila.

KARDEC, Alan; NASCIF Júlio. **Manutenção: função estratégica.** 3.ed. Rio de Janeiro: Ed. Qualitymark, 2009.

SAE JA1011. **Evaluation Criteria for Reability-Centered Maintanance (RCM) Processes.** Disponível em <<http://dl.mpedia.ir/e-books/25-%5BSAE%5DSAE-JA1011-RCM%5Bmpedia.ir%5D.pdf>> Acesso em 14.03.2021.

MINAYO, M. C. S. (Org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade.** Petrópolis: Vozes, 2001.

MOUBRAY, J. **Reliability-centered maintenance:** second edition. 2^a. ed. New York: Industrial Press Inc., 1997.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção além da produção em larga escala.** Porto Alegre: Bookman, 1997.

PACHECO, D. **Estudos de administração judiciária: reflexões de magistrados sobre a gestão do Poder Judiciário.** Porto Alegre: HS Editora, 2009.

SCHOLTES, V.A.; et al. **Lower limb strength training in children with cerebral palsy** – a randomized controlled trial protocol for functional strength training based on progressive resistance exercise principles, BMC Pediatrics, p. 8-41, 2008.

SUZUKI, Tokutarō. **TPM em Indústrias de Processos.** Nova York: Productivity Press, 1994.

