

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE MINAS
GERAIS - CAMPUS BETIM
BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Matheus Silva Soares

**A IMPORTÂNCIA DAS ANÁLISES DE FALHAS EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL
E SEUS EFEITOS**

Betim
2023

Matheus Silva Soares

**A IMPORTÂNCIA DAS ANÁLISES DE FALHAS EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL
E SEUS EFEITOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Rogério Eustáquio de Souza

Betim

2023

FICHA CATALOGRÁFICA

S676i Soares, Matheus Silva

A importância das análises de falhas em manutenção industrial e seus efeitos / Matheus Silva Soares. – 2023.

33 f.: il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Mecânica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais, Câmpus Betim, 2023.

Orientação: prof. Me. Rogério Eustáquio de Souza.

1. Manutenção. 2. Análises de falhas. 3. Máquinas – Manutenção. 4. Engenharia mecânica. I. Soares, Matheus Silva. II. Título.

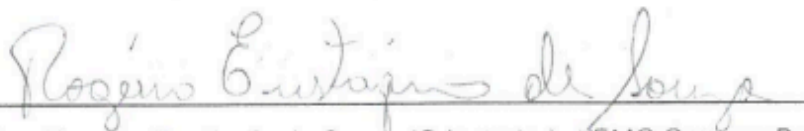
CDU: 658.58

Matheus Silva Soares

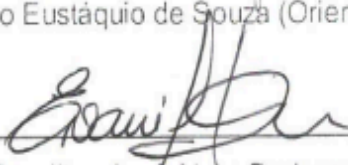
**A IMPORTÂNCIA DAS ANÁLISES DE FALHAS EM MANUTENÇÃO INDUSTRIAL
E SEUS EFEITOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à banca examinadora do curso de Engenharia de Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Minas Gerais *Campus* Betim, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

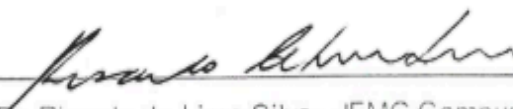
Aprovado em: 04/12/2023 pela banca examinadora:



Prof. Msc. Rogério Eustáquio de Souza (Orientador) – IFMG Campus Betim



Prof. Msc. Evanilton José Alves Barbosa – IFMG Campus Betim



Prof. Dr. Ricardo de Lima Silva – IFMG Campus Betim

*Dedico este trabalho aos meus pais,
minhas maiores e melhores referências
na vida. Sem o incentivo e apoio deles
nada disso seria possível.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus.

À minha mãe por toda dedicação e instrução.

Ao meu pai por toda segurança, motivação e descontração.

Aos amigos e professores do IFMG – campus Betim, especialmente aos que estiveram comigo nesta reta final de elaboração do trabalho, por toda orientação, respeito e conselhos.

RESUMO

O presente trabalho busca através de uma revisão bibliográfica abordar a utilização de análises de falhas como recursos norteadores na identificação e intervenção de máquinas. Dessa forma verifica-se a importância das análises de falhas em manutenção industrial e seus efeitos. Atualmente, com o desenvolvimento tecnológico a busca pela demanda de produtos dos diversos ramos industriais tem aumentado. Para atingir as metas estabelecidas em cada empresa é necessário que o sistema fabril tenha o melhor índice de disponibilidade possível. Nesse contexto, a manutenção é formada por um conjunto de ações que ajudam no bom e correto funcionamento dos equipamentos, atuando de maneira preponderante. Estudos realizados no decorrer dos anos indicam que a manutenção pode reduzir perdas de tempo e materiais a fim de aumentar a disponibilidade de máquinas para uma melhor produção. Neste sentido, as análises de falhas juntamente com ferramentas da qualidade auxiliam na tarefa não tão simples de investigação e correção de problemas nos equipamentos. De modo a atingir objetivos específicos do trabalho, observar estratégias discutidas no meio científico diante de casos concretos, faz-se necessário. Com isso, a aplicabilidade dos métodos de manutenção, revelam a importância das análises de falhas para a melhoria da confiabilidade das empresas expondo características relevantes desse campo. A fim de entender os procedimentos e pontuar os objetivos dos empreendimentos de médio a longo prazo, autores como Alan Kardec e Júlio Nascif alegam que é necessário também traçar um plano de ataque com vista a atingir os objetivos. Nesse contexto, disponibilidade e confiabilidade são fatores cruciais a serem analisados e exemplificados nos tópicos posteriores. A pesquisa evidencia a importância da manutenção, utilizando as análises de falhas prévias e procedimentos preventivos. Impactos em níveis financeiros e sociais são evidenciados por meio de custos extraordinários e fatalidades oriundas dos problemas de manutenção. Por fim, foi possível identificar a importância das análises de falhas e seus efeitos diante das discussões propostas e da aplicabilidade dos métodos de análises de falhas.

Palavras-chave: Manutenção; importância das análises; estratégias; aplicabilidade dos métodos; disponibilidade de máquinas; confiabilidade das empresas.

ABSTRACT

The present work seeks, through a literature review, to address the use of failure analyzes as guiding resources in the identification and intervention of machines. This demonstrates the importance of analyzing failures in industrial maintenance and their effects. Currently, with technological development, the search for demand for products from different industrial sectors has increased. To achieve the goals established in each company, the manufacturing system must have the best possible availability rate. In this context, maintenance is made up of a set of actions that help in the good and correct functioning of equipment, acting in a preponderant way. Studies carried out over the years indicate that maintenance can reduce waste of time and materials in order to increase the availability of machines for better production. In this sense, failure analyzes together with quality tools help in the not-so-simple task of investigating and correcting equipment problems. In order to achieve specific objectives of the work, observing strategies discussed in scientific circles in the face of concrete cases is necessary. Therefore, the applicability of maintenance methods reveals the importance of failure analysis for improving the reliability of companies, exposing relevant characteristics of this field. In order to understand the procedures and pinpoint the objectives of medium to long-term ventures, authors such as Alan Kardec and Júlio Nascif claim that it is also necessary to draw up an attack plan with a view to achieving the objectives. In this context, availability and reliability are crucial factors to be analyzed and exemplified in subsequent topics. The research highlights the importance of maintenance, using analysis of previous failures and preventive procedures. Impacts on financial and social levels are evidenced through extraordinary costs and fatalities arising from maintenance problems. Finally, it was possible to identify the importance of failure analysis and its effects in light of the proposed discussions and the applicability of failure analysis methods.

Keywords: Maintenance; importance of failure analysis; strategies; applicability of methods; availability of machines; reliability of companies.

LISTA DE FÓRMULAS

Fórmula 1 - Disponibilidade (OEE).....	25
--	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama de Ishikawa.....	21
Figura 2 – Árvore de falhas.....	22

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABM - Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANP - Agência Nacional do Petróleo

ANAC - Agência Nacional de Aviação Civil

EGP - Eficiência Global de Produção

ERP - Enterprise Resource Planning

FMEA - Failure Mode and Effects Analysis

KPI - Key Performance Indicator

MCC - Manutenção Centrada na Confiabilidade

MPT - Manutenção Produtiva Total

MT - Milhões de Toneladas

MTBF - Mean Time Between Failures

MTTR - Mean Time to Repair

OEE - Overall Equipment Effectiveness

PCM - Planejamento e Controle de Manutenção

RCM - Reliability-Centered Maintenance

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 Justificativa.....	12
1.2 Delimitação do tema.....	14
1.3 Delineamento do problema.....	14
1.4 Objetivos.....	14
1.4.1 Geral.....	14
1.4.2 Específicos.....	15
1.5 Organização do Trabalho.....	15
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
2.1 Manutenção Produtiva Total (MPT).....	17
2.2 Manutenção Corretiva.....	17
2.3 Manutenção Preditiva.....	18
2.4 Manutenção Preventiva.....	19
2.5 Engenharia de Manutenção.....	19
2.6 Análises de Falhas.....	20
2.7 Indicadores de Manutenção.....	22
3 METODOLOGIA.....	24
3.1 Manutenção X Confiabilidade X Disponibilidade.....	25
4 EXEMPLOS E CONSTATAÇÕES ACERCA DO TEMA.....	26
4.1 CASO 1.....	26
4.2 CASO 2.....	27
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	29
REFERÊNCIAS.....	30

1. INTRODUÇÃO

A recuperação industrial diante do cenário pós pandemia fica clara ao observarmos a crescente demanda por commodities e bens de capital. Segundo a Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração (ABM), a demanda de aço para 2022 e anos seguintes superou os números de 2020 e 2021 chegando a cerca de 1896,4 Milhões de toneladas (Mt) ao ano (ABM, 2021). É pensando nisso que as grandes empresas do ramo metal/siderúrgico tendem a aumentar sua produtividade em curto prazo.

O aumento de produção passa por diversos fatores, dentre eles a entrega das máquinas respeitando um mais elevado grau de disponibilidade. Para isto, é necessário manter em dia as manutenções, observando aspectos preditivos, preventivos e também corretivos.

O plano de manutenção estabelecido para cada planta segue estudos que buscam atender a objetivação do empreendimento. Estes estudos, conhecidos como análises de falhas, verificam a quebra ou até mesmo repetições de pequenas paradas e desenvolvem estratégias para um sistema de gestão controlado que por sua vez é medido através de indicadores de desempenho. Os estudos exemplificados podem ser desenvolvidos por setores como Planejamento e Controle de Manutenção (PCM) e engenharia da confiabilidade nas empresas.

O presente trabalho, objetiva mostrar a importância destes estudos ocorridos nos meios industriais considerando trabalhos científicos sobre o assunto. Através do discorrer de outros autores sobre o tema e da exemplificação de casos concretos utilizando da aplicabilidade dos métodos de análises de falhas, é observada a melhoria da confiabilidade das empresas e a minimização de impasses ocasionados por manutenção ineficaz.

1.1. JUSTIFICATIVA

Segundo Mirshawka e Olmedo (1993), custos necessários de manutenção são apenas a ponta de um iceberg quando analisados também os custos invisíveis decorrentes da indisponibilidade do equipamento.

Chiu e Huang (1996) ainda afirmam em conclusões tiradas em seu modelo matemático que, a melhor relação custo-benefício de manutenção se dá quando estas estratégias são utilizadas de forma preventiva. Ou seja, analisadas e estudadas previamente, do contrário, observa-se situações de desequilíbrio no processo produtivo pela falta ou ineficácia da manutenção.

Para Verri (2007) o sucesso das empresas se deve a fatores essenciais relacionados à manutenção, evitando-se pensar que os custos nesta área são considerados mal necessários, mas sim um investimento. Dentre estes fatores estão as maiores exigências de qualidade e produtividade, busca de melhoria contínua dos equipamentos, maior competitividade e mudança de cultura no processo, tempos curtos de atuação, falta de recursos e alto índice de falhas.

Paradas, repentinas e/ou repetitivas são situações que podem resultar na piora dos indicadores de desempenho dos equipamentos. Nesse sentido, a redução na eficiência da empresa pode ocasionar o não atendimento das metas estabelecidas para produção, impactando diretamente na falta de produtos para os clientes e diminuição dos resultados da empresa.

Tendo ciência destes impactos, os empreendimentos produtivos, desenvolvem estratégias que, juntamente com ferramentas de qualidade e melhoria contínua, buscam a eliminação das perdas de produtividade na planta. É neste sentido que se fazem necessárias as análises de falhas e dos riscos.

Além disso, sabe-se que as quebras e pequenas paradas afetam diretamente os resultados da empresa. Fatores como custo envolvido numa parada não programada (corretiva) podem trazer prejuízos financeiros, além de acarretar falta de produto aos clientes externos das empresas.

De acordo com as constatações teóricas, justifica-se o presente trabalho como relatório exploratório sobre abordagens de manutenção industrial. Estudar possibilidades de melhoria de disponibilidade de máquinas e equipamentos é o objetivo da abordagem, buscando-se alertar as empresas deste segmento sobre as maneiras de envolver os colaboradores com conhecimentos que proporcionem atingir metas internas.

1.2. DELIMITAÇÃO DO TEMA

A delimitação deste trabalho, se baseia no aspecto teórico, a exemplo de tratativas anteriormente realizadas por outros autores no meio científico sobre a importância das análises de falhas no contexto de manutenção industrial.

No decorrer dos procedimentos, serão apresentados alguns casos, nos quais serão desenvolvidas análises que servirão também para as discussões acerca do assunto.

1.3. DELINEAMENTO DO PROBLEMA

Diante dos problemas relacionados a acidentes e pequenas perdas, acredita-se que a utilização de maneira assertiva das ferramentas de análises de falhas favorece encontrar saídas para os impasses encontrados nos empreendimentos industriais.

Assim sendo, o presente trabalho concentra-se na exposição e exemplificação da eficiência destas ferramentas perante à exploração de situações outrora abordadas por autores do meio científico e servem de exemplo para os inúmeros casos que podem ocorrer no cotidiano industrial de outras empresas.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do trabalho é mostrar a importância da análise das falhas ocorridas nos meios industriais e seus efeitos verificando trabalhos científicos sobre o assunto.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar a importância das análises de falhas para a melhoria da confiabilidade das empresas;
- Demonstrar estratégias discutidas no meio científico, observando casos concretos que comprovem a aplicabilidade dos métodos abordados.

1.5. ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está organizado em 5 tópicos e dentre estes, alguns subtópicos de modo a compor e esclarecer cada assunto abordado. No primeiro tópico - introdução, temos a contextualização do tema e revelação dos modos de construção do trabalho. De maneira geral, esta parte do texto apresenta de forma resumida todo o explorado no trabalho. Os subtópicos de índice 1 ainda revelam características de objetivos gerais, específicos bem como as delimitações do tema tratado e a justificativa sobre a escolha do tema. O tópico 2 trata da fundamentação teórica, ou seja, trecho destinado a demonstrar a base de onde foram retiradas as constatações para serem discorridas nos tópicos posteriores. Os subtópicos de índice 2 notabilizam temas relevantes relacionados às análises de falhas e evolução dos processos de manutenção industrial. O tópico 3, trata da metodologia da elaboração do trabalho, onde é revelada a estrutura de construção, que se dá por meio de uma revisão bibliográfica, na qual são abordados artigos e documentos científicos para a discussão sobre o tema. Já no tópico 4 - exemplos e constatações acerca do tema - são apresentados dois casos para serem analisados diante das informações já descritas sobre a fundamentação teórica. Erros ocorridos devido a falta das análises de falhas e suas implicações para a manutenção ineficaz são destacados. Além disso, destaca-se a importância e os benefícios que a utilização das estratégias de detecção de problemas agregam à manutenção. E por fim, temos o tópico 5 - considerações finais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

De acordo com Souza (2018), o emprego das técnicas de manutenção teve início em meados de 1750, quando a principal manufatura existente era a tecelagem de lã. Mas foi na produção dos tecidos de algodão que começou o processo de mecanização, isto é, da passagem da manufatura para o sistema fabril.

Atualmente, a maior parte das empresas já possui sistemas de manutenção bem desenvolvidos. Hoje, esses sistemas evidenciam fatores como disponibilidade de máquinas para produção, eficiência e segurança, entretanto, os cenários nem sempre foram esses.

No decorrer do tempo as tecnologias foram se aprimorando e trazendo um maior desenvolvimento industrial. Conseqüentemente, mudanças aconteceram, e proporcionaram novas culturas e observação de fatores como a maior produtividade através da gestão de negócio e a valorização da segurança. De acordo com Kardec e Nascif (2001), a partir de 1930 a manutenção obteve os seguintes avanços:

Primeira Geração: período anterior à Segunda Guerra Mundial, no qual a manutenção corretiva era o único instrumento de manutenção usado, o que impactava em uma produtividade reduzida.

Segunda Geração: período pós Segunda Guerra Mundial até 1960, no qual ocorreu aumento da mecanização e complexidade de máquinas industriais. Neste momento, surge a ferramenta de manutenção preventiva para auxiliar as indústrias a atender a demanda de mercado. A partir dessa época passa-se a seguir um plano de manutenção periódica que se baseia no histórico dos equipamentos e nos manuais de fabricantes.

Terceira Geração: período seguinte (a partir de 1970), no qual as indústrias mudam o foco dos seus processos e buscam uma operação sem falhas e acidentes. Nesse momento, surge a Manutenção Produtiva Total de forma a auxiliar em padronizações para alcançar a maximização de produção e redução de custos (Kardec e Nascif 2001, p. 36).

A partir dessa evolução nasceu o que é conhecido hoje como análises de falhas. Tal assunto, está relacionado tanto a fatores de estudo após uma quebra, bem como estudos previamente realizados observando-se o funcionamento dos equipamentos da área de análise em questão. Quando relacionado às quebras que

já ocorreram (histórico), o estudo é vinculado às manutenções corretivas, enquanto que examinando a funcionalidade das máquinas iremos atentar para a manutenção no quesito preditivo e preventivo. Para isto deve-se conhecer um pouco mais sobre os conceitos de manutenção e algumas modalidades.

2.1. Manutenção Produtiva Total (MPT)

A Manutenção Produtiva Total (MPT) surgiu no Japão na década de 70, e consiste em um sistema que busca entregar qualidade e confiabilidade de máquinas, eliminando perdas, diminuindo custos e reduzindo as falhas. No Brasil, foi utilizada pela primeira vez em 1986. Conforme evidenciado por Nakajima (1989), a sigla MPT é conceituada da seguinte forma:

T – Total: análise total dos sistemas, no sentido de eficiência global e ciclo de vida útil total dos sistemas de produção e todos os departamentos envolvidos;

P – Produtiva: explicada pelo intuito do sistema MPT em buscar sempre o máximo de eficiência, atingindo "zero acidentes, zero defeitos e zero quebras ou falhas";

M – Manutenção: no sentido total, a letra M indica tudo que engloba manutenção e tem como intuito o ciclo total de vida útil do sistema de produção (Nakajima 1989, p. 230).

Este sistema não trata apenas de uma iniciativa de manutenção ou que seja um programa de melhorias. Pode ser entendida como uma filosofia operacional estratégica que envolve toda a organização, desde os operadores até o nível hierárquico mais alto (SOUZA, 2004). Souza (2004) ainda cita que a MPT dirigiu sua atenção para a redução de custos do equipamento no seu ciclo de vida, combinando manutenção preventiva com melhorias sustentáveis e projeto de manutenção preditiva.

2.2. Manutenção Corretiva

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994) a manutenção corretiva é efetuada após a ocorrência de uma pane. Destina-se a recolocar um item em condições de executar uma função requerida.

Diante do período de análise e monitoramento, é possível identificar como o equipamento ou sistema se comporta. Neste sentido, diante da observação de indicadores é feita uma estimativa diante dos dados de parada onde se revelará um prazo médio para as próximas quebras dos ativos. Sendo assim, manutenção corretiva, segundo Wyrebski (1997), é a intervenção em uma máquina para correção de alguma anomalia que ocorre antes do prazo esperado. A partir disso, por ser um procedimento não programado, a manutenção corretiva atinge maiores custos e pode ser considerada menos eficiente que um processo programado, por exemplo, já que não atenta para o planejamento de tempo perdido de produção, utilização de sobressalentes e movimentação de mão de obra.

Entretanto, como diz Nogueira, Guimarães e Silva (2012) a manutenção corretiva pode ocorrer de forma planejada ou não planejada. A manutenção planejada ocorre após constatação de que um equipamento está operando abaixo da capacidade esperada e a gerência decide por esperar a quebra para correção por motivos de atender o volume produtivo ou pelo equipamento não ser tão impactante. Esta análise entendida de forma superficial pode ser vista como arma para produção. Entretanto, como a decisão de parar ou não o equipamento passa pelo sistema de gestão, o processo está de certa forma seguro, pois acima das conversas e opções das gerências sejam elas de produção ou manutenção, está a confiabilidade dos ativos e da empresa perante o mercado. Já a manutenção não planejada ocorre após a quebra de um equipamento sem que haja tempo para planejamento dos serviços necessários, o que traz maiores custos para a empresa.

2.3. Manutenção Preditiva

Conforme as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994), a manutenção preditiva é a manutenção que ocorre com base na aplicação de técnicas de análise, na qual pode-se utilizar meios de verificação por amostragem ou centralizados. Kardec e Nascif (2001, p. 45) falam que o objetivo da manutenção preditiva é:

[...] prevenir falhas nos equipamentos ou sistemas através de acompanhamento de parâmetros diversos, permitindo a operação contínua do equipamento pelo maior tempo possível. Na realidade, o termo associado à Manutenção Preventiva é o de prever as condições dos equipamentos. Ou seja, a Manutenção Preditiva

privilegia a disponibilidade à medida que não promove a intervenção nos equipamentos ou sistemas, pois as medições e verificações são efetuadas com o equipamento produzindo [...] (Kardec e Nascif, 2001, p.45).

2.4. Manutenção Preventiva

Conforme a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994) a definição de Manutenção Preventiva é o conjunto de procedimentos efetuados 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, não basta somente a realização de procedimentos em si, mas sim, faz-se necessário a ideia da administração e elaboração de planos para intervenções pontuais necessárias. Entretanto Ribeiro (2003) afirma que:

[...] Se por um lado a manutenção preventiva proporciona um conhecimento prévio das ações, permitindo uma boa condição de gerenciamento das atividades e nivelamento de recursos, por outro lado promove a retirada do equipamento ou sistema de operação para execução dos serviços programados, apesar de estar operando relativamente bem [...] (Ribeiro, 2003, p.57).

A vista disso, é sensato realizar de maneira conjunta os procedimentos de manutenções preventivas, a análise de desgastes dos equipamentos e seus componentes. Assim, será introduzido o início dos efeitos do procedimento de análises de falhas, a fim de evitar gastos desnecessários com trocas de componentes que podem estar operando ou não conforme suas finalidades.

2.5. Engenharia de Manutenção

A evolução da engenharia de manutenção através do tempo, proporciona uma mudança de cultura, a qual gera uma quebra de paradigma por meio da melhoria contínua.

As análises de melhorias são baseadas em dados que o sistema preditivo capta e armazena. Isso, aumenta a segurança, a disponibilidade, e manutenibilidade e a confiabilidade; elimina problemas crônicos e ajuda solucionar problemas tecnológicos; melhora a capacitação pessoal e gestão de materiais e sobressalentes; dá suporte à execução e a análise de falhas; ajuda a elaborar planos de manutenção, acompanhar indicadores e zelar pela documentação técnica (Kardec e Nascif, 2001).

2.6. Análises de falhas

A análise de falhas é um conjunto de atitudes predefinidas que buscam realizar a prevenção e avaliação de não conformidades em processos. Dentro deste sistema de estudo, se encontra a Reliability-Centered Maintenance (RCM) ou Manutenção Centrada na Confiabilidade (MCC). Esta metodologia visa direcionar e planejar a manutenção de uma máquina/área específica da empresa. São os próprios colaboradores (gestores) que vão dizer qual é o nível de serviço aceitável que seus equipamentos devem entregar, isto de acordo com um grau de prioridade, observando custo, impacto de falhas e benefícios entre outros.

A exemplo das análises pode-se citar o Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), que determina fatores para progredir nos próximos passos do estudo. Na maioria das vezes, estes fatores são baseados em falhas já ocorridas. A aplicação desta ferramenta busca impedir a recorrência de impasses. Para que isso seja realizado de forma assertiva devem ser seguidos alguns passos.

Segundo Kardec e Nascif (2001) para aplicação de uma análise é necessário fazer sete perguntas para enquadrar um equipamento, componente ou sistema no processo de análises de falhas utilizando RCM/FMEA. São elas:

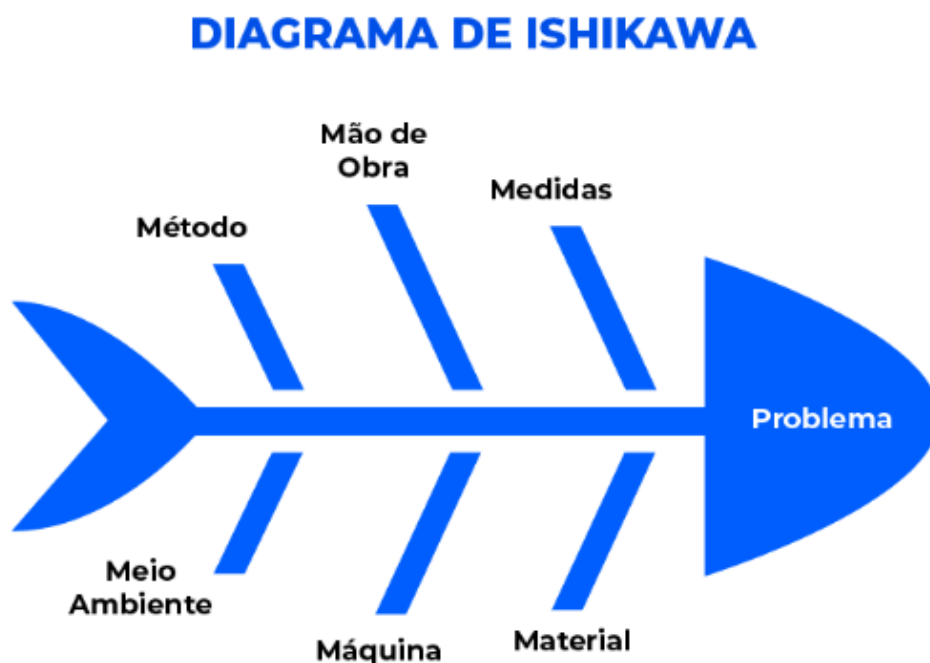
- 1) Quais são as funções e os padrões de desempenho do item no seu contexto operacional atual?
- 2) De que forma ele falha em cumprir suas funções?
- 3) O que causa cada falha operacional?
- 4) O que acontece quando ocorre cada falha?
- 5) De que forma cada falha tem importância?
- 6) O que pode ser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

7) O que deve ser feito, se não for encontrada uma tarefa preventiva apropriada? (Kardec e Nascif, 2001, p.80).

Em paralelo a estas perguntas mas com o mesmo objetivo e como ferramenta de análises de falhas temos o diagrama de Ishikawa e a árvore lógica de falhas. Ao utilizar o método de Ishikawa, é possível identificar causas raízes e quais variações representam maior impacto sobre o problema evidenciado.

O diagrama separa as causas em 6 aspectos que facilitam na identificação e resolução futura do ocorrido. São eles: Máquina, mão de obra, medidas e dados quantitativos, meio ambiente, método e material.

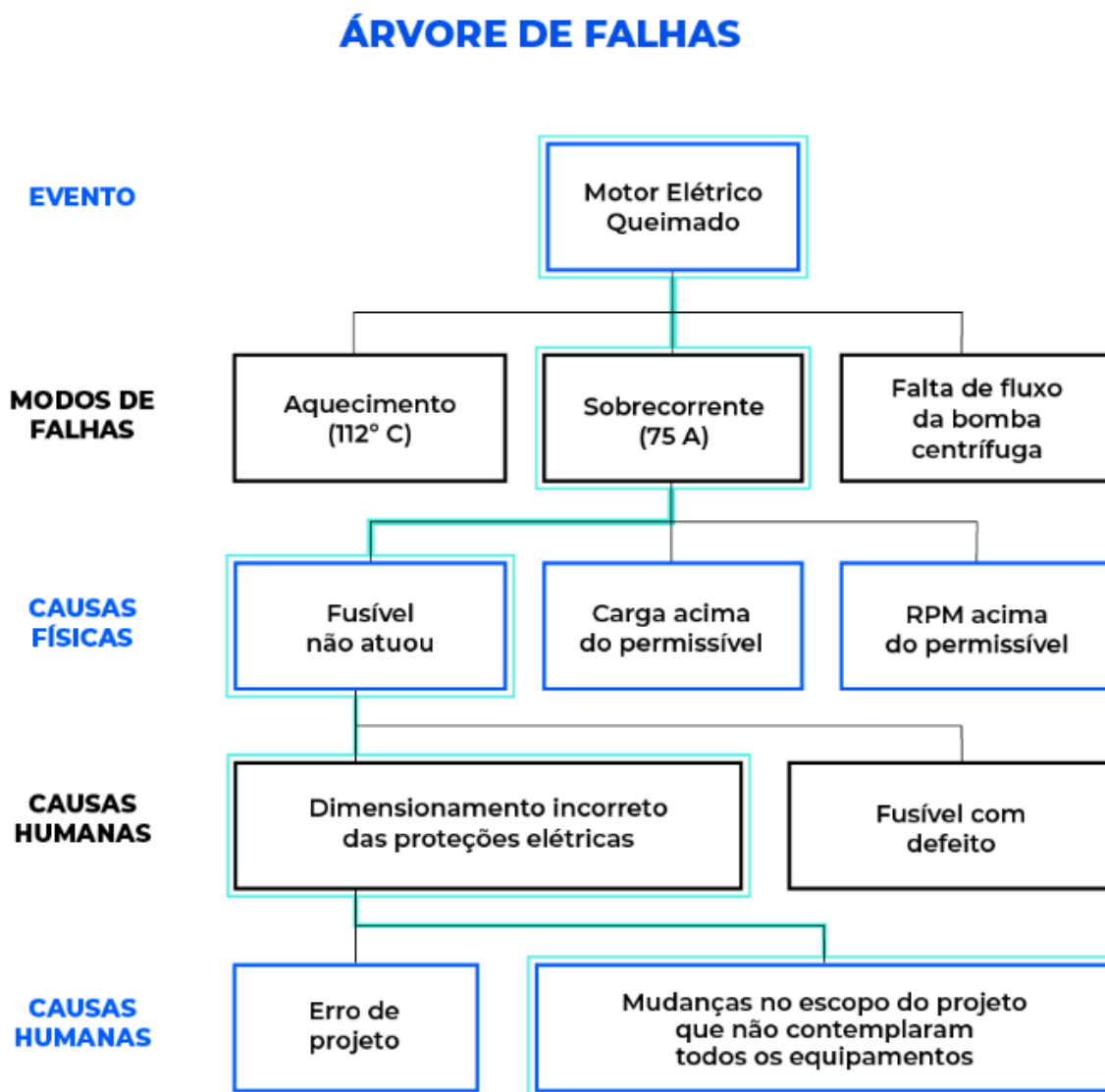
Figura 1 - Diagrama de Ishikawa.



Fonte: Tractian.

Já a metodologia de análises de falhas por árvore lógica permite descobrir raízes físicas, humanas e latentes de uma falha. Descrevemos primeiramente as falhas funcionais e em seguida os modos de falhas. Esta ferramenta, é excelente para diagnosticar resistências do sistema quanto à falhas simples ou múltiplas.

Figura 2- Árvore de falhas



Fonte: Traction

2.7. Indicadores de Manutenção

Conforme afirmação de Reis (2008), os indicadores de manutenção são essenciais para o entendimento e tomadas de decisões para gestores de manutenção. Isto, sem dúvidas, reflete em graus de eficiência dos processos produtivos, evidenciando o cumprimento ou não das metas e a entrega qualificada. Os indicadores a serem observados neste estudo estão relacionados ao desempenho produtivo e atuações de manutenção, sendo eles:

- MTBF e MTTR: O indicador de Mean Time Between Failures (MTBF) é uma ferramenta de registro e análise do tempo médio entre falhas. Seu cálculo se baseia na razão entre a quantidade de horas disponíveis do equipamento e o número de paralisações de corretivas da máquina em questão. Neste caso, os estudos de análises de falhas visam atuar de maneira a elevar o número deste indicador, o que conseqüentemente resultará numa maior disponibilidade da máquina. Já o MTTR (Mean Time to Repair) é o indicador para expor o tempo médio de reparo. Seu cálculo se baseia na razão entre a quantidade de tempos de reparo e a quantidade de intervenções na planta industrial. Diferentemente do MTBF, as intervenções propostas pelas análises de falhas para este indicador buscam reduzir seu número evidenciando que os reparos sejam mais assertivos com pequenos intervalos de tempo e aumentando a disponibilidade de equipamentos.
- OEE: OEE significa Overall Equipment Effectiveness ou Eficiência Global de Produção (EGP), assim como o MTBF e MTTR, é um KPI (Key Performance Indicator, ou em português Indicador Chave de Desempenho) extremamente importante para análises em uma indústria.

De acordo com Swanson (2001), sua relação é definida pelo seguinte modo. $OEE = Disponibilidade \times Qualidade \times Desempenho$. O indicador de OEE associado a um sistema de gestão empresarial, Enterprise Resource Planning (ERP) proporciona a identificação do desempenho global dos equipamentos. A partir do OEE é possível ter foco na concentração de esforços de melhoria contínua para contornar os problemas de ineficiência produtiva.

3. METODOLOGIA

O método utilizado para elaboração do trabalho é o método de revisão bibliográfica, na qual foram utilizadas pesquisas na internet através do computador e livros relacionados ao tema. (Marconi, Lakatos, 2008). A organização deste trabalho se baseou em pesquisas relacionadas ao tema de análises de falhas através da plataforma Google Acadêmico e acesso ao acervo de diversas bibliotecas, incluindo o acervo do IFMG Campus Betim.

Diante das pesquisas, foram identificados vários tópicos relevantes a se destacar neste documento, como: o surgimento da manutenção ocorrido no Japão que deu origem a MPT; as modalidades de manutenção (Corretiva, Preditiva e Preventiva); indicadores de manutenção que servem de monitoramento e norteiam a melhoria contínua através da confiabilidade; a evolução dos critérios manutentores com a engenharia de manutenção e diante desses estudos, como alcançar melhor disponibilidade e produtividades de máquinas e equipamentos.

A delimitação das pesquisas foi embasada em artigos relevantes sobre o assunto, bem como mais recentes em prol de observar um comparativo evolucionário dos métodos de gestão de manutenção. Por meio desses dados, elaborar e discorrer sobre o tema a fim de mostrar a importância e a eficiência das análises de falhas em processos industriais no território nacional.

Posteriormente à contextualização do assunto, abordada no referencial teórico, vejamos agora como alcançar melhores desempenhos produtivos como consequência de uma manutenção eficaz baseada em iniciativas e/ou tomadas de decisão norteadas pelas análises de falhas.

De acordo com Kardec e Nascif (2001), após entender a manutenção e pontuar os objetivos de médio e longo prazo, é necessário também traçar um plano de ataque com vista a atingir os objetivos. Conhecidos como caminhos estratégicos, estas metodologias têm algumas características a serem seguidas no ambiente a ser aplicado. São elas:

- a) Conscientização das melhores práticas de saúde, segurança e meio ambiente organizada por dirigentes aos empregados;
- b) Condução baseada nos principais aspectos empresariais de controle: Segurança, qualidade, custos, meios ambiente, disponibilidade e confiabilidade;

- c) Administração integrada de finanças, com intuito de reduzir gastos e identificar prioridades com base na disponibilidade, confiabilidade operacional e resultado geral dos setores do empreendimento;
- d) Mão de obra certificada e qualificada;
- e) Contratação por resultados, a fim de melhorar os desempenhos sempre que os indicadores forem positivos e respeitando os valores da empresa (Kardec e Nascif 2001, p.64).

3.1. Manutenção X Confiabilidade X Disponibilidade

Para entendermos melhor aspectos, estratégias e melhores práticas conjuntas, torna-se necessário verificarmos aspectos de confiabilidade e disponibilidade. Neste contexto, a confiabilidade é a probabilidade que um item possa desempenhar sua função requerida, por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições definidas de uso. A disponibilidade é o tempo em que o equipamento, sistema ou instalação está disponível para operar ou em condições de produzir (Kardec e Nascif, 2001, p.72).

A disponibilidade é fator crucial a se observar em todo momento durante um processo produtivo. Transpondo essa realidade para indicadores, já anteriormente citados no texto, obtemos o indicador de Eficiência Global de Produção (OEE).

Onde a disponibilidade de um processo pode ser calculada através da razão entre o tempo Médio entre falhas (MTBF) e a somatória do tempo médio entre falhas e o tempo médio de reparo, conforme a fórmula nº1. (Barbosa, 2013).

Fórmula 1 - Disponibilidade (OEE)

$$Disponibilidade = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Fonte : Barbosa, 2013

4. ESTUDOS DE CASO E DISCUSSÃO

Para contextualizar o trabalho, apresenta-se dois casos que deixam mais visíveis e reforçam a percepção de falhas em produtos ou sistemas. Os casos mostram estratégias que são eficientes quando implementadas nas etapas de projeto, fabricação, planejamento e operação, a fim de aumentar a confiabilidade dos sistemas em questão. Evidencia-se que a falta de análises das falhas desde as fases iniciais dos projetos podem ocasionar impasses em vários graus, podem levar até a acidentes de grandes impactos.

4.1. CASO 1

No acidente ocorrido com a plataforma de óleo e gás em 5 de março de 2001 no Estado do Rio de Janeiro, observou-se a submersão do equipamento da Petrobras (Análise do acidente com a plataforma P-36). Conforme relatório da comissão de investigação da Agência Nacional do Petróleo (ANP / DPC, 2001). Tal evento culminou em 11 fatalidades, e após o ocorrido, juntamente com a Marinha, atuaram de maneira a identificar as causas do acidente. Foram citados erros de manutenção e deficiência de projeto que poderiam ter sido evitados com melhores análises e percepções de risco. Posteriormente aos estudos a empresa revelou iniciar atitudes corretivas e regulamentações visando a melhoria das práticas e procedimentos operacionais na execução de atividades marítimas de exploração e produção de petróleo e gás natural.

Em relação às falhas indicadas no relatório, foram revelados dois erros sistemáticos gerais causadores do impasse: falha na sondagem volumétrica manual e inoperância de indicadores de nível dos tanques de drenagem de emergência, e o entupimento do vaso de dreno aberto que recebe a água que escoar pelas bandejas dos equipamentos da plataforma. Estes erros foram identificados utilizando a estratégia das perguntas e de rastreabilidade, exemplificadas no tópico 2.6 do trabalho. Além disso, ao serem utilizadas as manutenções preventivas e/ou preditivas é sensato afirmar que a possibilidade do acidente ter acontecido seria menor ou nula.

Adiante, foram utilizados procedimentos de manutenção corretiva com base em regulamentações outrora embasadas em análises e estudos realizados em outras empresas do mesmo segmento.

Normas para padronização de serviços aéreos e empresas de alto risco existem como as regulamentações da Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC) desde 1986. Entretanto, como análise de outro possível erro, estes procedimentos de padronização não foram seguidos. Podem assim serem vistos como erros de "preditiva" ou fiscalização da situação em questão.

4.2. CASO 2

Em 31 de Janeiro de 2000, ao norte de Anacapa, na Califórnia, ocorreu a queda da aeronave MD-83 da Alaska Airlines no oceano pacífico, após uma perda catastrófica do pitch (Diário do grande ABC, 2002). O acidente teve como consequência 88 fatalidades. Foi feita investigação pelo Conselho Nacional de Segurança nos Transportes (NTSB - EUA) , o qual constatou que a queda foi resultado de uma manutenção ineficaz, onde a falta de graxa lubrificante causou desgaste da alavanca que permite acionar o estabilizador horizontal da aeronave.

Observando os casos expostos, pode-se concluir que as análises de falhas buscam atender melhores medidas de controles para os problemas e acidentes como esses ocasionados em plantas empresariais. Já a confiabilidade e disponibilidade de um serviço depende do grau de qualidade das intervenções propostas como plano de ações tomadas pelas análises de falhas.

A grande importância em se utilizar as análises de falhas se baseia em obter layouts seguros para projetos, bem como identificar potenciais falhas, podendo ser em sistemas ou componentes específicos. Ferramentas como estas permitem tomadas de decisões mais assertivas com antecedência, melhorando o planejamento de manutenção e reduzindo a possibilidade de ocorrência de falhas do sistema/projeto. Essas falhas podem ocasionar grandes acidentes como os já apresentados neste trabalho.

De forma conjunta aos indicadores e utilizando pilares como a confiabilidade, se pode alcançar facilmente uma melhor detecção de problemas do processo, melhor precisão, segurança e economia (quando utilizada na fase inicial de um processo). Pode-se destacar como benefícios:

- Melhor planejamento de controle;
- Otimização do tempo por identificar falhas prematuras;
- Redução de custos não previstos;
- Rastreabilidade e histórico para tomadas de decisões futuras;
- Melhor satisfação do cliente;
- Maior confiabilidade.

Embora as técnicas de análises sejam extremamente eficazes, todo processo apresenta condições limitantes. São elas:

- Custo para realização dos estudos;
- Conhecimento aprofundado do segmento/área;
- Processo de documentação é lento e cansativo;
- Depende da experiência de quem executa.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho buscou evidenciar a importância das análises de falhas no contexto da manutenção industrial e seus efeitos da seguinte forma. Buscou-se discutir o tema, as características e benefícios das análises de falhas. Evidenciou-se o que a falta dessas ferramentas e estratégias acarreta na manutenção, além dos impactos e riscos envolvidos nos processos industriais.

Verificou ainda que, ao se priorizar a realização de estudos prévios sobre o processo, é possível minimizar a ocorrência de futuros acidentes adotando práticas de manutenções preventivas e/ou preditivas. A exemplo dos casos abordados no tópico 4 deste trabalho, foram percebidos erros sistemáticos proporcionados pela manutenção ineficaz, que se outrora tivesse recorrido as preventivas, os impasses não teriam ocorrido.

Ao demonstrar estas estratégias também foi possível alcançar os objetivos específicos do trabalho. Verificou-se que o maior monitoramento e evolução dos processos em paralelo ao trabalho da engenharia de manutenção, permite a melhoria da confiabilidade das empresas através, por exemplo, de um maior índice de produtividade e disponibilidade como consequência de um processo de manutenção eficiente. Através também da discussão, observamos casos concretos que comprovam a aplicabilidade dos métodos abordados.

A partir disso, conclui-se que as análises de falhas, constituem estratégias e ferramentas eficazes, podendo ser moldadas e aplicadas em diferentes áreas de aplicação. Entretanto, todo o processo de identificação de riscos e elaboração de planos de atuação demandam conhecimento técnico de criticidade.

Diante de tudo que foi exposto, ressalta-se a importância das metodologias em discussão, visto que a aplicação de maneira constante e contínua permite maior controle dos processos. Por fim, cabe ainda destacar a relevância que estas investigações têm para as empresas, em especial para os setores de manutenção.

Observando-se os benefícios para a gestão da manutenção, é possível reduzir danos, sejam físicos ou materiais nos empreendimentos, e assim alcançarem melhores resultados e competitividade, conforme discutido neste trabalho.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5462: **Confiabilidade e**

Mantenabilidade. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. Disponível em: <https://www.abnt.org.br/>. Acesso em: 03 abr. 2023.

Associação Brasileira de Metalurgia, Materiais e Mineração, 2021. **Demanda por aço no mundo deve crescer 2,2% em 2022, avalia World Steel Association**.

Disponível

em: <https://www.abmbrasil.com.br/por/noticia/demanda-por-aco-no-mundo-deve-crescer-2-2-em-2022-avalia-world-steel-association>. Acesso em: 08 Abr. 2023.

BARBOSA, Francisco Adelman. Calcular a disponibilidade e indisponibilidade dos ativos de rede. **Under-Linux.Org**, 2013. Disponível em:

<https://under-linux.org/entry.php?b=3069>. Acesso em 03.06.2023.

CAPELETO, Ana Luiza Oliveira; CARDOSO, Julia; DOBROWOLSKI, Julia; DIONÍZIO, Rafaela Medeiros. **Análise dos Modos de Falha**

e Efeitos (AMFE). Dissertação (Bacharelado) - Curso de Segurança do Trabalho, Escola de Engenharia de Lorena - Universidade de São Paulo, 2018. Disponível em: https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4656939/mod_folder/content/0/AMFE%20-%20Seguran%C3%A7a%20do%20Trabalho%20.pdf?forcedownload=1. Acesso em 21 Mai. 2023

CHIU, H-N. & HUANG, B.S. The economic design of x control charts under a preventive maintenance policy. *International Journal of Quality & Reliability Management*, Cambridge, 13 (1): 61-71, 1996.

DIÁRIO DO GRANDE ABC, São Paulo, 10 Dez de 2002. Falta de graxa causou queda de avião da Alaska Airlines. Disponível em: <https://www.dgabc.com.br/Noticia/233613/falta-de-graxa-causou-queda-de-aviao-da-alaska-airlines>. Acesso em 03 de Out. de 2023

GUIMARÃES, Leonardo Miranda; NOGUEIRA, Cássio Ferreira; SILVA, Margarete Diniz Brás da. **Manutenção Industrial: Implementação da manutenção produtiva total (TPM)**. REVISTA E-XACTA, 2012. Disponível em:<https://unibh.emnuvens.com.br/dcet/article/view/735>. Acesso em 28 Nov. 2022.

JUNIOR, Oswaldo Antunes Pedrosa; SILVA, Hélio Crisóstomo da; SANTOS, Eduardo Celso Cesar dos; JÚNIOR, Dante Aloysio de Carvalho; ROSA, Ricardo Rios de Campos. **Análise do acidente com a plataforma P-36**. Relatório da Comissão de Investigação ANP / DPC, 2001. Disponível em:https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/exploracao-e-producao-de-oleo-e-gas/seguranca-operacional/incidentes/relatorios-de-investigacao-de-incidentes-1/arquivos-relatorios-de-investigacao-de-incidentes/relatorio-do-acidente-com-a-p-36/relatorio_p-36.pdf. Acesso em 08 Ago. 2023

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção - Função Estratégica. 2a edição**. Rio de Janeiro: QualityMark, 2001.

LAMEIRINHAS, Gabriel. 5 ferramentas fundamentais para a análise de falhas. Tractian, São Paulo. Disponível em: <https://traction.com/blog/5-ferramenta-fundamentais-para-a-analise-de-falhas>. Acesso em 03 Out. de 2023.

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, 2006. Disponível em:<https://revistas.utfpr.edu.br/revistagi/article/view/131>. Acesso em 27 Nov. 2022.

MIRSHAWKA, V. & OLMEDO, N.C. **Manutenção – combate aos custos na não-eficácia – a vez do Brasil**. São Paulo: Editora McGraw-Hill Ltda., 1993.

NAKAJIMA, Seiichi. **La Maintenance Productive Totale (TPM)**. Tradução de Yoko Sim, Christine Condominas e Alain Gómez. Paris, França: Afnor, 1989.

NOGUEIRA, Cássio Ferreira; GUIMARÃES, Leonardo Miranda; SILVA, Margarete Diniz Braz da. **Manutenção industrial: implementação da Manutenção Produtiva Total (TPM)**. Belo Horizonte, 2012. Disponível em: <<https://unibh.emnuvens.com.br/dcet/article/view/735/452> >. Acesso em: 30 out. 2022.

PASCHOAL, Débora Rodrigues de Souza; MENDONÇA, Marcos André; MORAIS, Raquel Dutra; GITAHY, PAULA FERNANDA SCOVINO DE CASTRO RAMOS; LEMOS, Mateus Albernaz. **Disponibilidade e Confiabilidade: Aplicação da Gestão da manutenção na busca de maior competitividade**. Revista da Engenharia de Instalações no mar da FSMA, 2009. Disponível em: http://fsma.edu.br/EP/Artigos/REV_ENG_3_artigo_3.pdf. Acesso em 28 Nov. 2022.

PASSAMAI, Breno Dummer; CASTILHO, Gustavo Beccalli. **Nova Metodologia de análise de falha em empresa de refrigerante - proposta e estudo de caso**. Dissertação (Bacharelado) - UFES - Universidade Federal do Espírito Santo Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Mecânica, 2007. Disponível em: https://mecanica.ufes.br/sites/engenhariamecanica.ufes.br/files/field/anexo/2007-1_breno_e_gustavo.pdf. Acesso em: 16 set. 2023.

REIS, Rubens Alberto Dos; Marçal, Rui Francisco Martins; Pilatti, Luiz Alberto; Frasson, Antonio Carlos; Neto, Guilherme Bastos Pequeno. **O impacto da implantação do TPM nos indicadores de manutenção: um estudo de caso**. Revista Admpg: Gestão Estratégica, Ponta Grossa, v. 1, n. 1, p.111-114, 2008. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/bitstream/handle/1884/44853/R%20-%20E%20-%20RENATO%20SAENS%20AMARAL%20JUNIOR.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 04 Jun. 2023.

RIBEIRO, Celso Ricardo. **Processo de Implementação da Manutenção Produtiva Total (T.P.M.) na Indústria Brasileira**. 2003. 84 f. Monografia (Especialização) -

Universidade de Taubaté, Taubaté, 2003. Disponível em: <https://silo.tips/download/celso-ricardo-ribeiro>. Acesso em: 17 nov. 2022.

SILVA, Fernanda Guarnieri; ANDRADE, Jairo José de Oliveira. **Análise de falhas de equipamentos da indústria metal-mecânica como subsídio para estabelecimento de atividades de manutenção.** Revista Espacios, 2016. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a16v37n12/16371217.html>. Acesso em 27 Nov. 2022.

SOUZA, Thiago. Conheça a história da Primeira Revolução Industrial. Toda matéria, 2018. Disponível em: [https://www.todamateria.com.br/primeira-revolucao-industrial/#:~:text=Na%20revolu%C3%A7%C3%A3o%20industrial%20inglesa%2C%20a,\(%C3%8Dndia%20e%20Estados%20Unidos\)](https://www.todamateria.com.br/primeira-revolucao-industrial/#:~:text=Na%20revolu%C3%A7%C3%A3o%20industrial%20inglesa%2C%20a,(%C3%8Dndia%20e%20Estados%20Unidos)). Acesso em 03 Out. de 2023.

SWANSON L. **Linking maintenance strategies to performance.** Int. J. Production Economics 70. 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925527300000670>. Acesso em: 16 Set. 2023.

VERRI, L. A. Gerenciamento pela qualidade total na manutenção industrial: aplicação prática. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2007.

WYREBSKI, Jerzy. **Manutenção Produtiva Total: UM MODELO ADAPTADO.** 1997.

Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia De Produção e Sistemas, Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 1997. Disponível em: < <https://deps.ufsc.br/disserta98/jerzy/> >. Acesso em: 10 set. 2022.