

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE – FURG
ESCOLA DE ENGENHARIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

**DIFERENÇAS E COMPLEMENTARIEDADES ENTRE A MANUTENÇÃO
PRODUTIVA TOTAL (TPM) E MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE (RCM) NA FABRICAÇÃO MECÂNICA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

PATRICK VELLAR CONDE

RIO GRANDE, RS

2024

PATRICK VELLAR CONDE

**DIFERENÇAS E COMPLEMENTARIEDADES ENTRE A MANUTENÇÃO
PRODUTIVA TOTAL (TPM) E MANUTENÇÃO CENTRADA EM
CONFIABILIDADE (RCM) NA FABRICAÇÃO MECÂNICA**
DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Dissertação de mestrado apresentada
ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal do Rio Grande - FURG como
requisito para obtenção do título de
“Mestre em Engenharia Mecânica” –
Área de Concentração: Engenharia de
Fabricação.

Orientador: Prof. Dr. Leonardo de
Carvalho Gomes

Co-orientadora: Profa. Dra. Bianca
Pereira Moreira Ozório

RIO GRANDE, RS

2024

C745d	Conde, Patrick Vellar Diferenças e complementariedades entre a Manutenção Produtiva Total (TPM) e Manutenção Centrada na Confiabilidade (RCM) na fabricação mecânica / Patrick Vellar Conde. – 2024. 71 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Orientador: Dr. Leonardo de Carvalho Gomes. Co-orientadora: Dra. Bianca Pereira Moreira Ozório. 1. Engenharia Mecânica. 2. Manutenção Produtiva Total 3. Manutenção Centrada em Confiabilidade I. Gomes, Leonardo de Carvalho. II. Ozório, Bianca Pereira Moreira. III. Título. CDU 621
-------	---



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE - FURG
ESCOLA DE ENGENHARIA
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica
PPMec



Ata nº 9/2024 da Defesa de Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande - FURG. Aos quatorze dias do mês de março de dois mil e vinte e quatro, foi instalada a Banca de Defesa de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, às nove horas, online via web conferência, a que se submeteu o mestrando **Patrick Vellar Conde**, nacionalidade brasileira, dissertação ligada a Linha de Simulação e Controle de Processos de Fabricação, com o seguinte título: **DIFERENÇAS E COMPLEMENTARIEDADES ENTRE A MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM) E A MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE (RCM) NA FABRICAÇÃO MECÂNICA**. Referendada pela Câmara Assessora do Curso, os seguintes Professores Doutores: Leonardo de Carvalho Gomes, Luciano Volcanoglo Biehl e o convidado Gustavo de Souza Matias sob a presidência do Professor Leonardo de Carvalho Gomes. Analisando o trabalho, os Professores da Banca Examinadora o consideraram:

1. Leonardo de Carvalho Gomes: APROVADO
2. Luciano Volcanoglo Biehl: APROVADO
3. Gustavo de Souza Matias: APROVADO

Foi concedido um prazo de 30 dias para o candidato efetuar as correções sugeridas pela Comissão Examinadora (anexo) e apresentar o trabalho em sua redação definitiva, sob pena de não expedição do Diploma. A ata foi lavrada e vai assinada pelos membros da Comissão.

Assinaturas:

1. _____	 Documento assinado digitalmente: LEONARDO DE CARVALHO GOMES Data: 14/03/2024 11:29:59-0300 Verifique em https://validar.it.gov.br	_____	 Documento assinado digitalmente: LUCIANO VOLCANOGLO BIEHL Data: 14/03/2024 14:01:01-0300 Verifique em https://validar.it.gov.br
CPF: 885.669.350-04			
2. _____			
CPF: 575.195.100-00			
3. _____	 Documento assinado digitalmente: GUSTAVO DE SOUZA MATIAS Data: 14/03/2024 12:45:01-0300 Verifique em https://validar.it.gov.br	_____	
CPF: 073.477.619-56			
	 Documento assinado digitalmente: PATRICK VELLAR CONDE Data: 14/03/2024 16:42:42-0300 Verifique em https://validar.it.gov.br		

Patrick Vellar Conde: _____

Dedico este trabalho ao meu pai por todo apoio e a minha mãe que mesmo não estando mais entre nós se fez presente em todo o meu trajeto. À minha esposa pelo incentivo, suporte e por estar sempre ao meu lado durante todo o mestrado, sem ela nada disso seria possível. Ao meu orientador por todo o suporte e dedicação para que este projeto chegasse ao final.

AGRADECIMENTOS

À Deus pela oportunidade e por ter me ajudado a chegar até aqui.

Ao orientador Prof. Dr. Leonardo de Carvalho Gomes pela orientação, pelos inúmeros comentários/ajustes sugeridos para a dissertação e pelo incentivo que muitos contribuíram para chegar ao final deste trabalho. Agradeço também a minha co-orientadora Profa. Dra. Bianca Pereira Moreira Ozório, por todo suporte e comentários para o desenvolvimento da dissertação.

Aos professores da banca avaliadora Prof. Dr. Gustavo de Souza Matias, pelos comentários e sugestões de melhorias para a dissertação e ao Prof. Dr. Luciano Biehl, pelos comentários e apoio no decorrer do curso.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, pelos ensinamentos e experiências compartilhadas ao longo do mestrado.

À Universidade Federal do Rio Grande - FURG, por me proporcionar um grande crescimento profissional e pessoal ao longo desses anos de graduação e mestrado. Além de possibilitar um ensino gratuito e de qualidade.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal do Rio Grande – FURG, pela oportunidade de desenvolver meu estudo.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram de forma positiva para a conclusão desta pesquisa.

A todos, minha gratidão por ter concluído esta etapa importante e deixo aqui meu muito obrigado.

RESUMO

A busca contínua das empresas por competitividade tem mostrado o papel importante das áreas de apoio, como a Manutenção, principalmente num panorama industrial atual voltado para a Indústria 4.0. A necessidade cada vez mais atual, de garantir uma maior eficiência nos processos produtivos tem levado as empresas a investirem em uma gestão da manutenção também mais eficiente. Ao longo das décadas, duas metodologias tem se destacado no âmbito da gestão da manutenção: Manutenção Produtiva Total (TPM) e a Manutenção Centrada em Confiabilidade (RCM). Embora amplamente adotadas, essas metodologias apresentam diferentes abordagens, estruturas e áreas de atuação. Baseado neste contexto, o presente estudo propõe realizar uma análise das diferenças e complementaridades entre essas metodologias. A pesquisa é composta, primeiramente, por uma revisão sistemática da literatura, em bases de dados acadêmicos dos últimos 10 anos. Posteriormente, após essa revisão sistemática que proporcionou informações teóricas, a presente pesquisa foi complementada por um estudo de caso da aplicação desses métodos em uma das principais siderúrgicas do Brasil, situada na região sul do país. Os resultados indicaram que, apesar das diferenças dos métodos, os mesmos podem ser utilizados de forma conjunta e complementar. A TPM mostrou-se uma abordagem mais voltada a estruturação e gestão dos processos de manutenção, enquanto o RCM apresentou-se como uma abordagem mais técnica e focado no monitoramento dos equipamentos, tendo como destaque a ferramenta Confiabilidade Estatística. Com isso, a pesquisa mostrou que o RCM pode ser utilizado dentro da TPM como suporte aos pilares Manutenção Autônoma, Manutenção Planejada e Melhorias Específicas. Além disso, a implementação bem-sucedida desses métodos depende do apoio e da participação de todos os membros da organização envolvidos..

Palavras chave: Manutenção Produtiva Total; Manutenção Centrada em Confiabilidade; Complementariedade; Manutenção autônoma; Melhorias específicas.

ABSTRACT

The continuous pursuit of competitiveness by companies has highlighted the important role of support areas, such as Maintenance, especially in the current industrial panorama focused on Industry 4.0. The increasing need to ensure greater efficiency in production processes has led companies to invest in more efficient maintenance management. Over the decades, two methodologies have stood out in the field of maintenance management: Total Productive Maintenance (TPM) and Reliability Centered Maintenance (RCM). Although widely adopted, these methodologies present different approaches, structures, and areas of operation. Based on this context, the present study proposes to analyze the differences and complementarities between these methodologies. The research is composed, firstly, of a systematic literature review, using academic databases from the last 10 years. Subsequently, after this systematic review provided theoretical information, the present research was complemented by a case study of the application of these methods in one of Brazil's leading steel mills, located in the southern region of the country. The results indicated that, despite the differences in methods, they could be used jointly and complementarily. TPM proved to be an approach more focused on the structuring and management of maintenance processes, while RCM presented itself as a more technical approach focused on equipment monitoring, highlighting the Statistical Reliability tool. Thus, the research showed that RCM could be used within TPM to support the Autonomous Maintenance, Planned Maintenance, and Specific Improvements pillars. Additionally, the successful implementation of these methods depends on the support and participation of all organization members involved.

Keywords: Total Productive Maintenance; Reliability Centered Maintenance; Complementarity; Autonomous Maintenance; Specific Improvements.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Sete questões básicas RCM.....	22
Figura 2 - Pilares da TPM.....	26
Figura 3 - Diagrama de blocos das etapas da pesquisa	30
Figura 4 - Protocolo de revisão sistemática da literatura.....	31
Figura 5 - Características da TPM e RCM revisão sistemática	38
Figura 6 - Características da TPM e RCM na visão do entrevistado	46
Figura 7 - Sistema de Manutenção da Empresa	47
Figura 8 - Curva da Banheira	48
Figura 9 - Painel da Manutenção Autônoma	49
Figura 10 - Rotina de Inspeção Operacional.....	50
Figura 11 - Pontos Críticos.....	51
Figura 12 - Etiquetas de Registro de Anormalidades	52
Figura 13 - Registro de Melhorias	50
Figura 14 - Controle das Sugestões de Melhorias	51
Figura 15 - Layout da Planta de Produção	52
Figura 16 - Observações do Pesquisador	53
Figura 17 - Processo de Usinagem.....	54
Figura 18 - Processo de Soldagem	54
Figura 19 - Principais características da TPM e RCM.....	55
Figura 20 - Compilação das características da revisão sistemática e pesquisa qualitativa	56
Figura 21 - Conclusão das características	57
Figura 22 - Distribuição Bibliográfica por Estrato	70
Figura 23 - Distribuição Bibliográfica por Qualis.....	71
Figura 24 - Distribuição Bibliográfica por Data dos Artigos	71

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Artigos encontrado na revisão sistemática	36
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CI	Controle Inicial
ET	Educação e Treinamento
FAA	<i>Federal Aviation Administration</i>
FMEA	<i>Failure Mode and Effect Analysis</i>
NBR	Norma Brasileira
MA	Manutenção Autônoma
ME	Melhoria Específica
MP	Manutenção Planejada
MQ	Manutenção da Qualidade
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
TPM	<i>Total Productive Maintenance</i> (Manutenção Produtiva Total)
RCM	<i>Reliability Centered Maintenance</i> (Manutenção Centrada em Confiabilidade)
SHE	<i>Safety, Health and Environment</i> (Segurança, Higiene e Meio Ambiente)

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETIVOS	15
1.1.1 OBJETIVO GERAL.....	16
1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	16
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	17
2.1 INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO	17
2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO	18
2.2.1 MANUTENÇÃO CORRETIVA NÃO PLANEJADA E MANUTENÇÃO CORRETIVA PLANEJADA	18
2.2.2 MANUTENÇÃO PREVENTIVA.....	19
2.2.3 MANUTENÇÃO PREDITIVA	19
2.2.4 MANUTENÇÃO DETECTIVA	20
2.2.5 ENGENHARIA DA MANUTENÇÃO	20
2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (RCM).....	21
2.4 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM).....	24
3. METODOLOGIA	29
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	29
3.2 ETAPAS DA PESQUISA.....	30
3.2.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	31
3.2.2 CARACTERIZAÇÃO DO OBJETO DE ESTUDO DE CASO	32
3.2.3 PESQUISA QUALITATIVA.....	33
3.2.4 ANÁLISE DAS DIFERENÇAS E COMPLEMENTARIEDADES ENTRE RCM E TPM.....	34
3.2.5 ANÁLISE E DISCUSSÕES DOS RESULTADOS	35
3.2.6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	35
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....	36
4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA	36
4.2 PESQUISA QUALITATIVA.....	39
4.2.1 DESCRIÇÃO DOS DADOS	39
4.2.2 ANÁLISE DOS DADOS	41
4.2.2 INTERPRETAÇÃO DOS DADOS.....	42
4.3 OBSERVAÇÃO DO PESQUISADOR.....	43
4.4 CARACTERÍSTICAS E COMPLEMENTARIEDADES DA TPM E RCM.....	55

5. CONCLUSÕES	60
6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	61
REFERÊNCIAS	62
REFERÊNCIAS NOMINAIS	62
REFERÊNCIAS POR ESTRATO	70
REFERÊNCIAS POR QUALIS	71
REFERÊNCIAS POR DATA DOS ARTIGOS.....	71

1. INTRODUÇÃO

A alta competitividade e a necessidade de ter processos produtivos cada vez mais eficientes, seja pela escassez de matéria prima ou de recursos energéticos, tem desafiado ainda mais as empresas a investirem em processos mais eficazes.

A gestão da manutenção tem assumido um papel cada vez mais importante no contexto do crescimento empresarial, sendo que uma abordagem eficaz nesta área pode se tornar um diferencial competitivo para as organizações. Métodos como a Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance* - TPM) e a Manutenção Centrada em Confiabilidade (*Reliability Centered Maintenance* - RCM), têm ganhado cada vez mais destaque devido desempenharem um papel significativo no aumento da competitividade das empresas.

Os métodos TPM e RCM são disseminados nas indústrias que buscam uma maior eficiência e competitividade em seus processos de fabricação. Porém, elas apresentam diferentes focos de atuação, estruturas de aplicação e de controle.

A TPM é também pode ser considerada uma estratégia proativa voltada para a identificação precoce de problemas e a prevenção de falhas. Amplamente aplicada para otimizar a utilização de equipamentos e alcançar um sistema de fabricação de classe mundial em termos de qualidade e custo, a TPM busca maximizar a eficácia dos equipamentos ao longo de seu ciclo de vida, enfatizando o envolvimento de todos os níveis da organização e a implementação de práticas complementares. Seu objetivo principal é minimizar as grandes perdas que prejudicam a eficiência do sistema de produção, abrangendo falhas de equipamentos, perdas de configuração/ajuste, ociosidade, partida e defeitos/retrabalho (Bataineh et al., 2019; Tortorella et al., 2022; Singh e Awoke, 2023).

Nakajima (1989) define a TPM como um sistema de manutenção no qual envolve a participação de todos os setores da empresa, principalmente produção e manutenção, com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos equipamentos, reduzir a eliminação das quebras e melhorar o índice de disponibilidade das máquinas.

Já o método RCM é reconhecido por sua eficiência na identificação e seleção de falhas, promovendo segurança, disponibilidade e economia operacional. Ao melhorar a eficácia da manutenção e oferecer um controle preciso, o RCM detalha as

funções e falhas de um sistema, orientando os analistas na prescrição de tarefas preventivas para evitar ou mitigar falhas. Esse método auxilia na formulação de estratégias de manutenção e estuda padrões de falhas para garantir a confiabilidade do sistema de forma econômica e segura (Yang et al., 2020; Catelani et al., 2021; Geisbush e Ariaratnam, 2023).

Kardec e Nascif (2010) definem a manutenção centrada em confiabilidade como uma metodologia que estuda em detalhes um equipamento ou sistema, analisa como ele pode falhar e define a melhor forma de realizar a manutenção, de modo a prevenir a falha ou minimizar as perdas decorrentes dessas falhas.

Com base nessas breves definições, verifica-se que os dois métodos apresentam diferenças em suas estruturas e seus focos de aplicação, assim gerando dúvidas de qual a melhor metodologia a se aplicar em cada segmento do processo de fabricação.

O estudo desses dois métodos leva ao questionamento: Se ao comparar a TPM com o RCM, irá resultar em diferenças significativas? Os dois métodos apresentam complementariedades? E quais os principais benefícios e prejuízos de aplicar os dois métodos juntos?

Neste contexto, o presente estudo propõe uma análise das duas metodologias aplicadas em processos de fabricação mecânica, com o objetivo de avaliar seus principais aspectos e complementariedades. A pesquisa foi conduzida por meio de uma revisão sistemática da literatura, seguida de um estudo de caso realizado em uma empresa siderúrgica localizada no sul do Brasil.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho dividem-se em objetivo geral e objetivos específicos.

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral do presente trabalho é analisar as diferenças e complementariedades entre a TPM e a RCM em processos de fabricação mecânica.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão sistemática da literatura, estudo de caso, pesquisa qualitativa e observações da pesquisa com as diferenças e complementariedades da TPM e RCM;
- Identificar e analisar as principais abordagens de aplicação e características distintivas de cada método;
- Verificar a complementariedade entre os dois métodos;
- Analisar em quais pilares da TPM o RCM pode contribuir.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Esse capítulo apresenta a fundamentação teórica, elaborada a partir de artigos, livros e outras fontes.

2.1 INTRODUÇÃO À MANUTENÇÃO

A manutenção era vista nos anos anteriores como sendo um prejuízo financeiro para as empresas, porém nos dias atuais passou a ser vista como um ativo de suma importância, visando a redução dos custos de produção e de serviços, a melhorias nos processos de fabricação, um menor número de quebras de equipamentos, maiores produtividades dos equipamentos, uma melhor qualidade deixando clientes mais satisfeitos, empresas mais competitivas, trabalhadores mais motivados, um aumento no lucro da empresa com possível aquisição de novos maquinários e, por fim, uma melhoria no quadro de funcionários (Kardec e Nascif, 2010).

Conforme Sellitto e Fachini (2014), a definição de manutenção envolve a obtenção de diversos aspectos objetivos e mensuráveis, como disponibilidade, confiabilidade, manutenibilidade, produtividade, entre outros. Os aspectos essenciais da manutenção podem e devem ser considerados nas estratégias de produção da empresa.

A manutenção pode ser conceituada como a integração de todas as medidas técnicas e administrativas, englobando atividades de supervisão, com o objetivo de preservar ou recuperar o equipamento, permitindo que ele cumpra as funções requeridas (Braglia et al., 2019).

A manutenção industrial engloba um conjunto de medidas técnicas, administrativas e de monitoramento destinadas a preservar ou restaurar um item para que ele possa desempenhar sua função. Em termos mais simples, envolve todas as atividades necessárias para assegurar que um equipamento ou máquina opere conforme os requisitos e especificações mínimas estabelecidos (BONIFÁCIO; MARTINS, 2021).

2.2 TIPOS DE MANUTENÇÃO

Os tipos de manutenção definem a maneira como será realizada a intervenção no equipamento.

Zaions (2003) menciona que a classificação mais adequada é: manutenção não planejada e manutenção planejada. A manutenção não planejada é realizada para correção da falha após sua ocorrência. Nesse tipo de prática de manutenção, a perda inesperada de desempenho do equipamento pode levar a perdas de produção, de qualidade do produto e gerar elevados custos de manutenção. Já a manutenção planejada, pode ser definida como um conjunto de ações que leva a uma diminuição ou eliminação da perda de produção, a redução de custos e de tempo de reparo.

Kardec e Nascif (2010) subdividem a manutenção não planejada e planejada em 6 diferentes tipos:

- Manutenção Corretiva Não Planejada;
- Manutenção Corretiva Planejada;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Detectiva;
- Engenharia de Manutenção.

2.2.1 Manutenção Corretiva Não Planejada e Manutenção Corretiva Planejada

A manutenção corretiva tem como principal objetivo restaurar o equipamento após uma falha, permitindo que ele retome suas funções no sistema. Geralmente, essa tarefa envolve a identificação, isolamento e resolução de falhas, com a possibilidade de substituir ou recuperar o equipamento para sua condição operacional dentro dos parâmetros estabelecidos (Singh et al., 2020).

A manutenção corretiva não planejada, realizada de forma aleatória após falhas ou desempenho abaixo do esperado, implica em custos elevados para as empresas, devido as perdas nos processos de fabricação, a redução da qualidade dos produtos e dos altos custos indiretos de manutenção. Este tipo de manutenção ocorre sem

tempo hábil para o planejamento adequado, resultando em perdas adicionais de precisão, de qualidade e de custos (Wang, 2014; Gholami et al., 2022).

Segundo Branco Filho (2008), na manutenção corretiva planejada, a correção da falha ocorre em data posterior ao evento da falha, ficando o equipamento em estado de falha até que ocorra o reparo. Um aspecto fundamental, tanto para a manutenção corretiva planejada ou manutenção corretiva não planejada, é a análise para identificar precisamente as causas que levaram a falha e assim bloqueá-la, evitando sua reincidência (Xenos, 1998).

2.2.2 Manutenção Preventiva

As atividades de manutenção preventiva, tais como inspeções, reparos, substituições e serviços rotineiros, desempenham um papel fundamental na gestão de sistemas industriais, uma vez que contribuem significativamente para a mitigação do risco de falhas imprevistas. Tais falhas podem acarretar em prejuízos econômicos substanciais, além de representarem sérios riscos para a segurança das pessoas e para o meio ambiente. Um esquema de manutenção preventiva ideal deve buscar um equilíbrio entre a minimização do risco de falhas e a prevenção da manutenção, visando assim, garantir a eficiência operacional e a segurança dos sistemas industriais (Yang et al., 2018).

A manutenção preventiva é executada em intervalos predefinidos ou conforme critérios estabelecidos, com o objetivo de minimizar a probabilidade de falhas. Para mitigar ou prevenir falhas, assim como evitar quedas no desempenho, a manutenção preventiva segue um plano de manutenção, determinado por intervalos de tempo específicos, resultando em um cronograma de manutenção detalhado (Froger et al., 2016).

2.2.3 Manutenção Preditiva

A manutenção preditiva constitui uma abordagem estratégica voltada à detecção precoce de falhas e à degradação potencial em sistemas e equipamentos.

Fundamentada na análise de tendências das condições dos componentes, essa prática utiliza dados históricos para identificar os padrões de comportamentos que possam indicar possíveis problemas futuros. A adoção da manutenção preditiva permite a implementação de ações proativas, possibilitando intervenções preventivas e uma otimização do desempenho operacional (ALASWAD; XIANG, 2017; CHENG, 2020).

Conforme Smith (2022), a manutenção preditiva utiliza técnicas avançadas de análise de dados para monitorar continuamente o desempenho dos equipamentos industriais. Através dessa análise de dados, é possível identificar padrões e tendências que indicam falhas iminentes, permitindo que ações corretivas sejam tomadas de forma proativa, evitando paradas não programadas.

2.2.4 Manutenção Detectiva

A manutenção detectiva é uma prática essencial em sistemas de proteção, visa proporcionar um diagnóstico precoce de falhas, que podem estar ocultas ou não serem percebidas pelos operadores ou pela equipe de manutenção. Este tipo de manutenção surgiu em resposta ao avanço tecnológico proporcionado por computadores e sistemas de processamento e transmissão de dados, cada vez mais confiáveis. A introdução de técnicas de manutenção detectiva apresenta-se como uma alternativa eficaz, não apenas para reduzir os níveis de paradas indesejadas decorrentes de manutenções não programadas, mas também para antecipar as necessidades de substituição de componentes durante as intervenções programadas (Almeida, 2018).

2.2.5 Engenharia da Manutenção

A Engenharia da Manutenção é considerado como um suporte técnico que está dedicado a consolidar a rotina da manutenção e a implantar melhorias. As principais atribuições da Engenharia da Manutenção é aumentar a confiabilidade e a disponibilidade, melhorar a manutenabilidade, aumentar a segurança, eliminar

problemas crônicos, fazer análise de falhas e estudos, entre outros (Kardec e Nascif, 2010).

Segundo Zaios (2003), a engenharia da manutenção ou manutenção por melhorias é aplicável em equipamentos cuja a vida útil é curta, com alta frequência de falhas, com alto custo de manutenção, quando o tempo de reparo é elevado, quando há possibilidade de propagação da falha ou quando a dispersão do tempo médio entre falhas é grande, acarretando dificuldades de avaliação e inspeção.

2.3 MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE (RCM)

A RCM intensifica seus recursos de manutenção apenas nos itens que estão ligados diretamente a confiabilidade do sistema, tornando o plano de manutenção mais eficaz com o tempo. A RCM teve início na indústria da aviação, onde foi possível obter excelentes resultados. Ela surgiu para proporcionar uma melhora significativa no desenvolvimento dos programas de manutenção preventiva nos setores de aviação e usinas nucleares. No setor nuclear, a RCM tem abordado mais questões relativas à segurança do que aos intervalos de manutenção otimizados. Atualmente, incentiva-se bastante a proposta da RCM nos diversos segmentos industriais, com o intuito de melhorar a eficiência da manutenção (Meneghini et al., 2019).

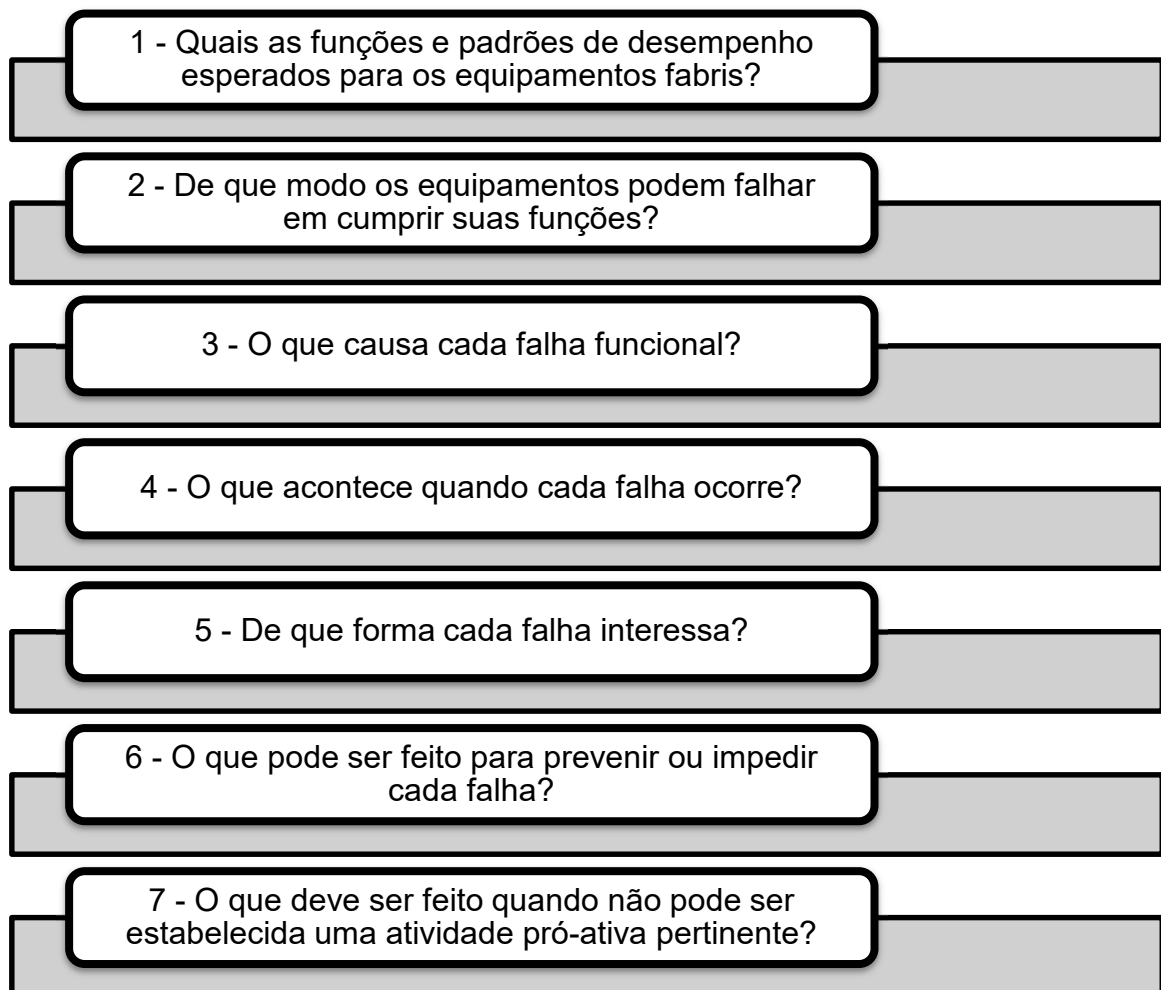
A RCM se originou, na indústria aérea, na década de 1960. Os primeiros programas de manutenção das companhias aéreas baseavam-se na ideia que, cada ativo tinha uma vida útil e revisões periódicas eram essenciais para manter o desempenho e a confiabilidade. Porém, o custo dessa prática estava se tornando insustentável. Por este motivo, formou-se uma força-tarefa composta por representantes das companhias aéreas e a Federal Aviation Administration dos Estados Unidos (FAA) para investigar os planos manutenção preventiva. Os resultados desta força-tarefa levaram, posteriormente, ao desenvolvimento de uma série de diretrizes para as companhias aéreas e para os fabricantes de aeronaves usarem ao estabelecer cronogramas de manutenção para suas aeronaves. Essas diretrizes formaram a premissa da RCM. Foi tão bem-sucedido que todos os aviões comerciais dos Estados Unidos desde então usam a RCM para especificar seu programa de manutenção (Smith, 2013; Geisbush, 2023).

Desde a década de 1960, a RCM tem sido adotada por ampla gama de indústrias. A RCM é uma abordagem sistemática para avaliar quantitativamente e otimizar o desempenho das tarefas de manutenção preventiva e para eliminar ações de manutenção que não agregam valor. Ela fornece economia de custos considerável devido ao esforço de manutenção ideal, a maior segurança e a maior produtividade (Hoseinie et al., 2016).

A RCM é definida por Moubray (1997) como sendo um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que seus usuários esperam que ele faça, no seu contexto operacional.

A Figura 1 apresenta as sete questões básicas que devem ser consideradas nos planos da RCM.

Figura 1 - Sete questões básicas RCM



Fonte: Adaptado de Fogliato e Ribeiro (2011)

Para Fogliatto e Ribeiro (2011), a RCM pode ser definida como um programa que reúne diversas técnicas de engenharia para garantir que os equipamentos de uma planta fabril continuem realizando suas funções específicas. Devido a sua abordagem racional e sistemática, os programas de RCM têm sido reconhecidos como a forma mais eficiente de tratar as questões de manutenção. Eles permitem que as empresas alcancem excelência nas atividades de manutenção, ampliando a disponibilidade dos equipamentos e diminuindo os custos referente a acidentes, defeitos, reparos e substituições.

Segundo Kardec e Nascif (2010), a RCM estuda em detalhes um equipamento ou sistema, analisa como ele pode falhar e define a melhor forma de realizar a manutenção, de modo a prevenir a falha ou minimizar as perdas decorrentes das falhas.

Segundo Moubray (1997), a implementação da RCM tem como objetivo os seguintes resultados:

- Maior segurança humana e proteção ambiental;
- Melhoria do desempenho operacional em termos de qualidade, qualidade do produto e serviço ao cliente;
- Maior efetividade do custo da manutenção;
- Aumento da vida útil dos itens físicos mais dispendiosos;
- Criação de um banco de dados completo sobre a manutenção;
- Maior motivação do pessoal envolvido com a manutenção;
- Melhoria do trabalho em equipe.

Para Yssaad et al. (2014), a RCM é um processo de tomada de decisão com o objetivo de selecionar um programa de manutenção econômico para melhorar a confiabilidade do ativo, tendo como base a criticidade determinada dos modos de falha. A RCM prioriza então o requisito de manutenção de todos os modos de falha e seleciona a efetiva atividade de manutenção para os modos de falha críticos. É uma técnica usada para desenvolver planos e critérios de manutenção econômicos para que a capacidade operacional do equipamento seja alcançada, restaurada ou mantida. O principal objetivo é reduzir o custo de manutenção, concentrando-se nas funções mais importantes do sistema.

De acordo com Catelani et al. (2020), a RCM é amplamente utilizada para identificar e selecionar políticas de gerenciamento de falhas de forma eficiente e eficaz, melhorando a segurança, a disponibilidade e a economia das operações. A RCM melhora a eficácia da manutenção e fornece um mecanismo para gerenciar a manutenção com alto grau de controle e confiabilidade do sistema.

A RCM é considerada eficiente porque o programa de manutenção é baseado no *status* real dos elementos mais críticos de um sistema. Além disso, a RCM considera diferentes políticas de manutenção, como política de substituição por idade, política de substituição de estado e política de reparo mínimo. Para tanto, a RCM utiliza o histórico operacional dos registros de falhas dos componentes para tomar decisões sobre as ações de manutenção mais assertivas. Assim, a RCM otimiza a alocação de recursos naturais limitados para o lugar certo na hora certa e, portanto, fornece uma estrutura com custos de operação e manutenção equilibrados que podem levar a um plano de interrupção ideal, sem sacrificar a confiabilidade do sistema (Alvarado et al., 2022; Dehghanian et al., 2013).

2.4 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL (TPM)

A TPM teve seu início no Japão, na década de 70, onde é considerada como a evolução natural da manutenção, passando de corretiva para preventiva, através da expansão dos conceitos tradicionais da manutenção, incorporando esforços para evitar defeitos de qualidade provocados pelo desgaste e mau funcionamento dos equipamentos. Na visão da TPM, as pessoas que operam o equipamento são consideradas as que possuem maior conhecimento sobre os mesmos. Assim, estas pessoas estão na melhor posição para contribuir nos reparos e modificações, que resultam em melhorias de qualidade, segurança e produtividade (Fogliatto e Ribeiro, 2011).

Conforme Kardec e Nascif (2010), desde a década de 70, vários fatores econômicos-sociais imprimem exigências cada vez mais rigorosas, obrigando as empresas a se tornarem cada vez mais competitivas para sobreviverem ao longo dos anos. Para isso, as empresas são obrigadas a buscar melhorias e métodos para eliminar desperdícios, a obter melhor desempenho dos equipamentos, a reduzir

interrupções de produção por quebras ou intervenções, a redefinir o perfil de conhecimento e habilidade dos empregados da produção e manutenção, e modificar a sistemática de trabalho.

Nakajima (1989), define a TPM como um sistema de manutenção no qual envolve a participação de todos os setores da empresa, principalmente da produção e da manutenção, com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos equipamentos, atuar na eliminação das quebras e gerar melhorias do índice de disponibilidade das máquinas.

A TPM pode desempenhar um papel significativo para maximizar a eficácia do equipamento e proporcionar uma melhor lucratividade em longo prazo. A TPM é uma ferramenta que proporciona estratégias de manutenção bem desenvolvidas e organizadas que melhoram a qualidade com maior produtividade nas empresas (Chaurey, 2021).

Para Kalpande e Toke (2020), a TPM é um sistema de gerenciamento de manutenção eficaz que contribui para aumentar a produtividade da organização, envolvendo a participação de todos os funcionários, desde a alta administração até os operadores.

Segundo Nakajima (1989), os principais objetivos da TPM são: o aumento da confiabilidade dos equipamentos, a eliminação das quebras e as melhorias do índice de disponibilidade das máquinas. Por meio do gerenciamento homem/máquina para a melhoria estrutural da empresa, os funcionários são capacitados tecnicamente e conscientizados sobre a importância do desempenho do equipamento. Porém, os treinamentos são investimentos em longo prazo, mas geram como benefícios a multifuncionalidade dos operadores, o senso de responsabilidade, a redução no tempo de reparo e a integração entre operadores e mantenedores.

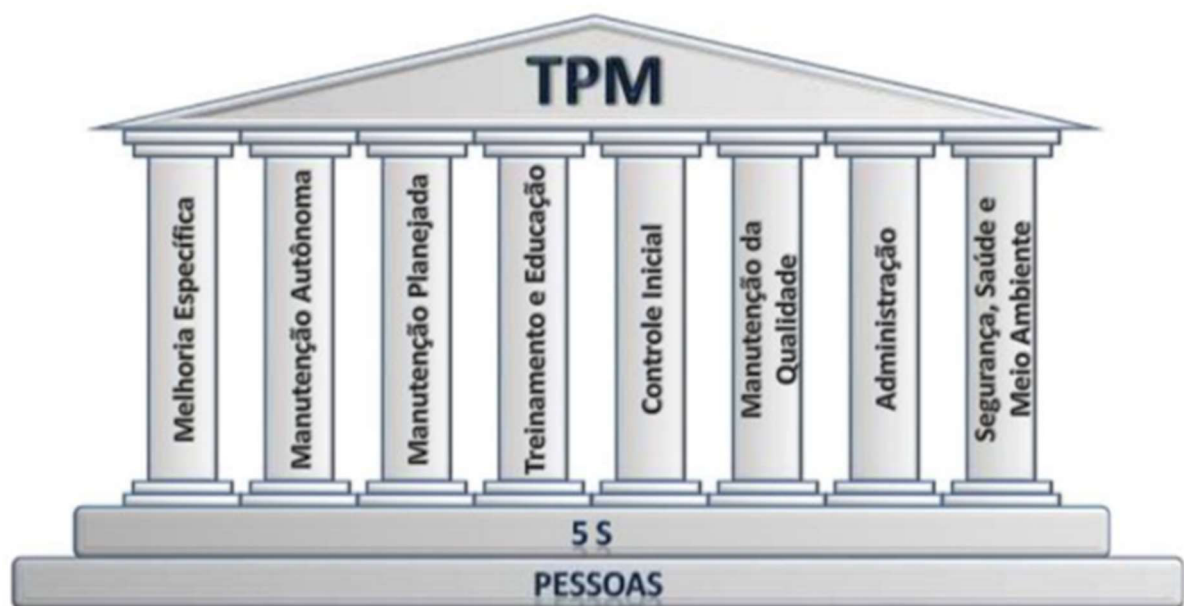
De acordo com Wireman (2004), a TPM tem basicamente cinco objetivos principais, sendo estes: melhorar a eficácia do equipamento; melhorar a eficiência e eficácia da manutenção; conduzir o gerenciamento de equipamentos e manutenção preventiva; treinamento para melhorar as habilidades de todas as pessoas envolvidas; envolver o operador na rotina de manutenção.

Fogliatto e Ribeiro (2011), por sua vez, destacam que a TPM estabelece, através de seus objetivos, um sentido único voltado para uma consciência geral da

organização, em busca dos conceitos zero defeitos de qualidade, zero acidentes de trabalho e zero quebras de máquinas. Isso significa que há uma incessante busca através de esforços coletivos, por parte de todos os funcionários, para atingir um nível de zero perda de insumos, zero quebras de maquinário, zero retrabalho, zero acidentes e ao mesmo tempo zero reclamações de clientes.

A TPM é estruturada em oito pilares básicos (Figura 2), conhecidos como pilares básicos de sustentação da TPM. Na base da TPM encontram-se as pessoas, desde operadores até a alta gerência. O sucesso do programa depende da participação e da conscientização de todos. Logo em seguida, temos a filosofia 5S, que envolve as pessoas e as organizações (Nakajima, 1989).

Figura 2 - Pilares da TPM



Fonte: Manutenção: Função Estratégica (Kardex, 2010)

A seguir são explicitados os oito pilares básicos da TPM.

1. Melhoria Específica (ME): utiliza-se do conceito de Manutenção Corretiva de Melhorias para atuar nas perdas crônicas relacionadas aos equipamentos, com foco na eliminação das mesmas. Visa aumentar a eficiência global do equipamento ou processo, a fim de reduzir os problemas e maximizar o desempenho.

2. Manutenção Autônoma (MA): baseia-se nos treinamentos teóricos e práticos recebidos pelos operários, no espírito de trabalho em equipe para a melhoria contínua das rotinas de produção, manutenção e no aprimoramento da capacitação técnica dos operadores.
3. Manutenção Planejada (MP): Refere-se às rotinas de manutenção preventiva e preditiva, baseadas no tempo ou na condição do equipamento, visando à melhoria contínua da disponibilidade e confiabilidade, além da redução dos custos de manutenção focados na quebra zero. É importante contar com um planejamento e controle eficazes da manutenção, destacando-se a necessidade fundamental de treinamento, de um sistema mecanizado para programação diária, bem como para o gerenciamento das paradas de manutenção.
4. Educação e Treinamento (ET): refere-se à aplicação de treinamentos técnicos e comportamentais para a liderança, à flexibilidade e a autonomia das equipes, à capacitação da mão de obra, com responsabilidade de capacitar os colaboradores com treinamentos específicos e à melhor utilização das ferramentas.
5. Controle Inicial (CI): refere-se à minimização das ineficiências em novos produtos, processos e equipamentos. Responsável por garantir novos equipamentos como menores custos e layout apropriado.
6. Manutenção da Qualidade (MQ): refere-se ao conceito defeito zero – consolidação da qualidade assegurada. Garantir a qualidade dos produtos e serviços utilizando os recursos e ferramentas da qualidade.
7. Segurança, Higiene e Meio ambiente (*Safety, Health and Environment* - SHE): refere-se ao conceito acidente zero – minimização do risco de acidentes do trabalho e riscos ambientais. Responsável por garantir a segurança dos colaboradores na empresa, trabalhando no método de conscientização e melhorias nos postos de trabalho, seguindo e trabalhando com todas as normas ambientais.
8. Melhoria dos processos administrativos: também conhecido como TPM de escritório ou *TPM Office*, utiliza-se dos conceitos de organização e eliminação de desperdícios nas rotinas administrativas, que de alguma maneira acabam interferindo na eficiência dos equipamentos produtivos e processos.

Wakjira e Singh (2012) afirmam que a implementação da TPM em qualquer organização melhora a Eficiência Global do Equipamento ou *Overall Equipment Effectiveness* (OEE), aumentando a disponibilidade dos equipamentos e diminuindo a quantidade de retrabalho e rejeições. De acordo com Kumar et al. (2012), o OEE é uma ferramenta para identificar pontos de perdas e ineficiências ocultas nos processos de fabricação.

3. METODOLOGIA

Neste capítulo é apresentada a caracterização da pesquisa e as etapas realizadas no desenvolvimento da mesma.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

O tema de estudo deste trabalho é classificado, quanto a natureza, como pesquisa aplicada, pois objetiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos a solução de problemas específicos (Gerhardt e Silveira, 2009). A pesquisa visa analisar a influência da TPM e da RCM para a fabricação mecânica.

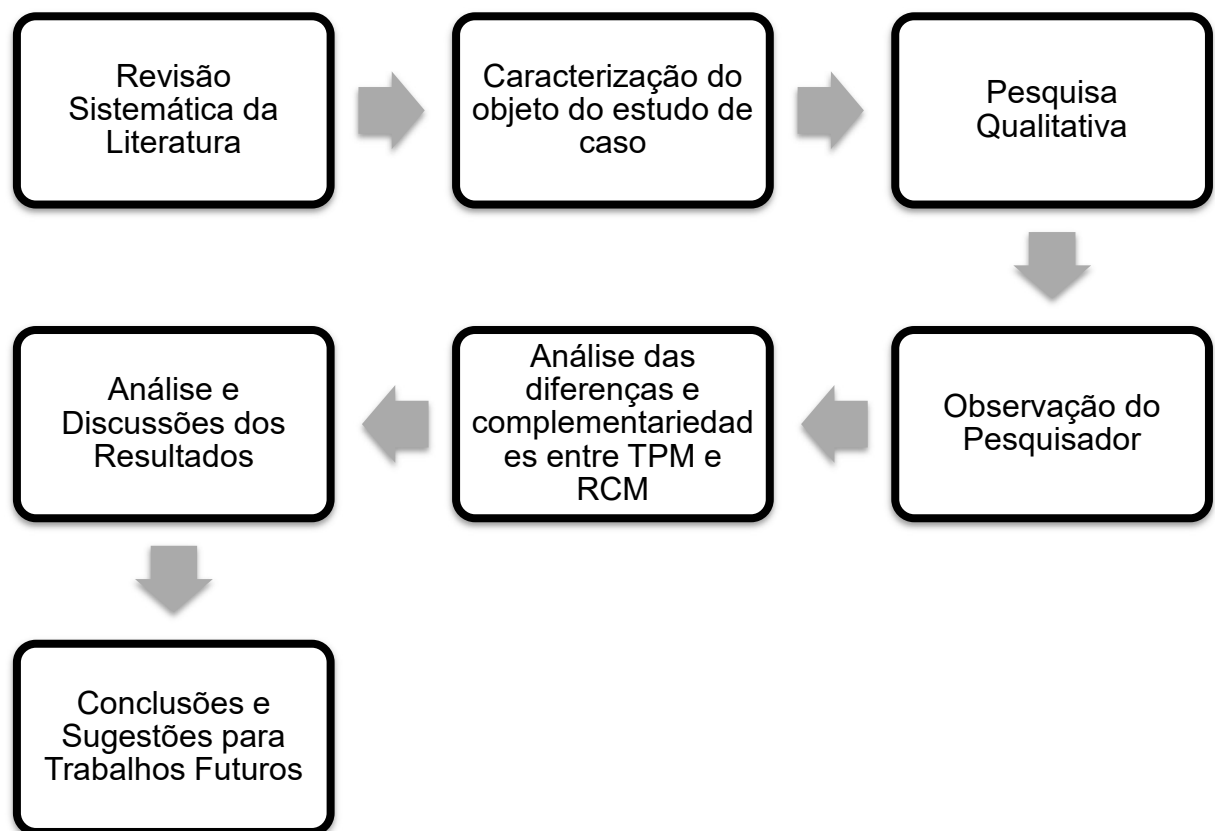
Segundo Gerhardt e Silveira (2009), a pesquisa qualitativa não se preocupa com a representatividade numérica, mas sim, com o aprofundamento da compreensão de um grupo social ou de uma organização. Onde os pesquisadores buscam explicar o porquê das coisas, exprimindo o que convém ser feito, mas não quantificam os valores. Conforme Fonseca (2002), diferentemente da pesquisa qualitativa, os resultados da pesquisa quantitativa podem ser expressos numericamente. A pesquisa quantitativa centra-se na objetividade e recorre à linguagem matemática para descrever as causas de um fenômeno e as relações entre as variáveis. Segundo a abordagem, a presente pesquisa é puramente qualitativa, pois visa analisar dois sistemas distintos e observar diferentes fatores em cada um deles.

Já a caracterização da pesquisa quanto aos objetivos, Gil (2007) diz que a pesquisa exploratória é um tipo de pesquisa que tem como objetivo proporcionar uma maior familiaridade com o problema, com vistas a torná-lo mais explícito ou a construir hipóteses. A grande maioria dessas pesquisas envolve: (a) levantamento bibliográfico; (b) entrevistas com pessoas que tiveram experiências práticas com o problema pesquisado; e (c) análise de exemplos que estimulem a compreensão. Este trabalho também se classifica como uma pesquisa exploratória, pois procura explorar as complementariedades dos dois sistemas em estudo, aplicando o método de pesquisa bibliográfica e estudo de caso.

3.2 ETAPAS DA PESQUISA

Após uma pesquisa na literatura base sobre TPM e RCM, contido no capítulo 2 desta dissertação, a realização da pesquisa para obtenção do objetivo da mesma foi organizada e dividida em 7 etapas distintas. As etapas da pesquisa são ilustradas na Figura 3.

Figura 3 - Diagrama de blocos das etapas da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor.

Inicialmente foi conduzida uma revisão sistemática da literatura, seguida pela definição do objeto de estudo de caso. Posteriormente, foi adotado uma abordagem qualitativa para a pesquisa, visando a análise das diferenças e complementariedades dos dois métodos em questão. Concluídas estas fases, foi realizada à análise e discussão dos resultados para, posteriormente, as conclusões. A seguir é detalhada cada etapa da pesquisa.

3.2.1 Revisão Sistemática da Literatura

A primeira etapa consistiu em uma revisão sistemática da literatura. O quadro da Figura 4 apresenta o protocolo de revisão com as informações sobre as áreas de pesquisa e os critérios para a seleção dos artigos de acordo com o propósito da pesquisa.

Figura 4 - Protocolo de revisão sistemática da literatura

Palavras-chave	"Total Productive Maintenance" e "Reliability centered maintenance"
Banco de dados	Scopus Elsevier
Operador Booleano	"OR" entre as duas palavras chave
Janela de oportunidade	2013 - 2024
Crítérios de exclusão	Artigos não pertencentes a área de engenharia; Livros e <i>e-book</i> ; Conter escopo diferentes do objetivo da pesquisa no título, resumo ou conclusão.
Tipo de publicação	Artigos de periódicos
Linguagem	Inglês
Intervalo de publicação	Entre 2013 - 2024

Fonte: Elaborado pelo autor.

Foi explorado a base de dados da *Scopus Elsevier*. Na primeira etapa foram consideradas apenas as palavras chaves: operador *Booleano* e janela de oportunidade. Assim, resultou no total de 1.366 artigos. Aplicando os dois primeiros critérios de exclusão (tipo de publicação e linguagem), reduziu-se a pesquisa ao número de 243 artigos. Finalizando a busca e aplicando o ultimo critério de exclusão, chegou-se ao quantitativo de 67 artigos, os quais contribuíram para a elaboração da pesquisa. Essa abordagem foi necessária para identificar as principais características e aspectos distintos dos dois métodos apresentados na literatura.

3.2.2 Caracterização do Objeto de Estudo de Caso

A partir das informações contidas na literatura, foi selecionada uma empresa que pudesse ser avaliada a implementação dos dois métodos abordados (TPM e RCM). Assim, foi possível comparar os resultados com a literatura e gerar as discussões necessárias para a geração da contribuição acadêmica da presente pesquisa. Para tal, a empresa selecionada para o estudo de caso é a maior multinacional brasileira do setor de produção de aço. Com uma história de mais de 120 anos desde sua fundação, e sendo pioneira na fabricação de aços no Brasil, a empresa possui 32 unidades produtoras de aço em 9 países. Seu alcance global é evidenciado pela presença de aproximadamente 28.350 colaboradores diretos e indiretos em todo o mundo. A empresa é reconhecida como tendo excelência em manutenção, sendo pioneira no desenvolvimento da TPM no Brasil.

A fábrica selecionada para o estudo de caso está situada no sul do país e abrange os seguintes processos em sua linha de fabricação:

- Aciaria: Responsável pela produção de tarugos, matéria-prima essencial para os demais processos. A produção é 24hs em processo contínuo.
- Laminação: Este estágio compreende a fabricação de barras, perfis e fio máquina, produtos fundamentais para diversas aplicações industriais e comerciais. A produção é 24hs e o processo é automatizado e contínuo.
- Trefilaria: Nesta etapa, ocorre a produção de arame galvanizado, arame farpado e insumos para a fabricação de pregos, constituindo elementos essenciais em diversas indústrias, desde a construção civil até a indústria automotiva. A produção é 24hs em processo contínuo.
- Fábrica de pregos: Última fase do processo, onde são fabricados pregos de diferentes dimensões, atendendo às demandas específicas dos clientes e do mercado em geral. Processo de produção automatizado.

A empresa possui um sistema de gestão de manutenção próprio, oriundo de várias práticas da TPM e RCM. Atualmente, a empresa está conduzindo um projeto piloto para a implementação completa da TPM em uma nova linha de produção, visando, posteriormente, estender essa abordagem para toda a fábrica. Entretanto,

mesmo durante esse processo, a siderúrgica continua a aplicar alguns pilares da TPM e ferramentas da RCM em outros setores e ou máquinas. Essa abordagem se baseia na utilização apenas dos pilares e ferramentas que foram identificados como essenciais para manter bons índices de manutenção, de qualidade e de disponibilidade dos equipamentos. Essa estratégia permite otimizar os recursos disponíveis e garantir resultados satisfatórios em diferentes áreas da empresa.

3.2.3 Pesquisa Qualitativa

Com o intuito de aprofundar a investigação sobre a aplicação da TPM e da RCM em processos de fabricação mecânica, bem como analisar sua complementaridade, conduziu-se uma pesquisa qualitativa de acordo com o modelo de Ribeiro e Nodari (2000).

Nesta pesquisa, a amostra é classificada como amostra por conveniência. Segundo Oppong (2013), a amostra por conveniência é um método em que os participantes são escolhidos com base em sua disponibilidade e acessibilidade para o pesquisador. Nesse contexto, foi selecionado para a entrevista o coordenador de engenharia de manutenção da siderúrgica. O entrevistado possui uma experiência de 20 anos na empresa e é responsável por supervisionar uma equipe de manutenção composta por, aproximadamente, 250 pessoas, além de tomar as principais decisões dentro do setor de manutenção. A escolha do coordenador de engenharia de manutenção da siderúrgica, como participante da pesquisa qualitativa, pode ser considerada uma amostra por conveniência, uma vez que ele foi selecionado devido à sua posição de liderança e sua capacidade de fornecer informações relevantes sobre a aplicação da TPM e RCM na empresa. A entrevista com colaboradores abaixo do coordenador poderia resultar em respostas na mesma linha de pensamento e o entrevistado é o responsável por tomar as decisões dentro do setor.

Foi realizada a entrevista com o colaborador da empresa de forma online, com duração aproximada de 60 minutos. Nesta entrevista, foram realizadas perguntas sobre utilização da TPM e da RCM. O roteiro de perguntas seguiu a ordem:

- 1) A empresa possui a implementação da TPM?
- 2) Quais as principais características da TPM?

- 3) Quais os resultados obtidos com a implementação dos pilares da TPM?
- 4) A empresa utiliza as ferramentas da RCM?
- 5) Quais as principais características da RCM?
- 6) Na sua visão e experiência, é possível uma fusão dos dois métodos para trabalharem em conjunto?

As perguntas foram elaboradas com o objetivo de se obter uma visão abrangente sobre a aplicação e os impactos da TPM e da RCM na empresa, permitindo assim, uma análise mais completa sobre sua complementaridade e eficácia na gestão da manutenção.

Após a coleta das informações por meio da entrevista, foram seguidas as etapas da pesquisa qualitativa, conforme descritas por Ribeiro e Nodari (2000), que consistem em três fases distintas:

- 1) Descrição: Nesta etapa, o foco está na elaboração de uma descrição detalhada das observações obtidas durante a entrevista. Isso envolve registrar todas as informações relevantes e destacar os principais pontos discutidos pelo entrevistado em relação à implementação da TPM e RCM na empresa.
- 2) Análise: A segunda etapa envolve uma abordagem criteriosa e sistemática para identificar fatores-chave e suas inter-relações. Aqui, é realizada uma análise dos dados coletados
- 3) Interpretação: Na última etapa, o objetivo é buscar o significado dos dados coletados e compreender o contexto em que estão inseridos. Isso inclui a reflexão sobre as informações obtidas durante a entrevista, a interpretação de suas implicações e o desenvolvimento de conclusões relevantes para a pesquisa.

3.2.4 Análise das diferenças e complementariedades entre RCM e TPM

Para esta etapa, foi conduzida uma comparação entre as características identificadas tanto na pesquisa qualitativa, por meio da entrevista realizada com o colaborador da empresa, quanto na revisão sistemática, encontradas na literatura

sobre TPM e RCM. Essa comparação visa verificar se as práticas e experiências relatadas pelo entrevistado estão alinhadas com as abordagens e conceitos discutidos na literatura.

3.2.5 Análise e Discussões dos Resultados

Com base nos resultados obtidos na revisão sistemática e pesquisa qualitativa, foram realizadas análises e discussões dos dados coletados ao longo das diferentes etapas da pesquisa.

3.2.6 Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

Na última etapa da pesquisa, foi realizado a verificação para garantir a consistência e a relevância dos dados encontrados ao longo das diferentes etapas do trabalho. Além disso, foi realizada a sugestão para elaboração de trabalhos futuros.

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Nesse capítulo foram apresentados a análise e discussão dos resultados encontrados na pesquisa, através da revisão sistemática e estudo de caso.

4.1 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

Nesta fase do trabalho, realizou-se uma comparação entre as características dos dois métodos pesquisados na revisão sistemática da literatura. O objetivo foi observar suas diferenças e complementaridades.

Na revisão sistemática, foi realizada a utilização do protocolo de revisão sistemática apresentado no Figura 4. Na Tabela 1 é apresentado os artigos encontrados após aplicação dos critérios de busca.

Tabela 1 – Artigos encontrado na revisão sistemática

ANO	TPM	RCM	AUTORES
2015		x	ARNO, Robert et al.
2015		x	ARNO, Robert; DOWLING, Neal; SCHUERGER, Robert.
2015	x		CHLEBUS, E. et al.
2015		x	SINHA, R. S.; MUKHOPADHYAY, A. K.
2016	x		BINTI AMINUDDIN, Nur Ainunnazli et al.
2016	x		GLIGORIJEVIC, Jovan et al.
2016		x	GUPTA, Gajanand; MISHRA, Rajesh P.
2016	x		GUPTA, Pardeep; VARDHAN, Sachit.
2016	x		SHARMA, Richa; SINGH, Jagtar; RASTOGI, Vikas.
2016	x		WICKRAMASINGHE, G. L. D.; PERERA, Asanka
2016		x	ZHOU, Dengji et al
2017		x	GUPTA, Gajanand; MISHRA, Rajesh P.
2017	x		HOOI, Lai Wan; LEONG, Tat Yuen.
2017	x		JUNIOR, Milton Fonseca et al.
2017	x		MORALES MÉNDEZ, Jonathan David; RODRIGUEZ, Ramon Silva.
2017		x	TANG, Yang et al
2018	x		AHMAD, Nafis; HOSSEN, Jamal; ALI, Syed Mithun.
2018	x		FONSECA, Milton et al.
2018		x	FUENTES-HUERTA, Marco A. et al.
2018	x		GARZA-REYES, Jose Arturo et al.
2018		x	MELANI, Arthur Henrique Andrade et al.
2018	x		MUSMAN, Ahmadi Hamdan; AHMAD, Rosmaini.

2018	x		SHINDE, Dnyandeo Dattatraya; PRASAD, Ramjee
2019		x	AFZALI, Peyman; KEYNIA, Farshid; RASHIDINEJAD, Masoud
2019	x		BATAINEH, Omar et al.
2019	x	x	BRAGLIA, Marcello; CASTELLANO, Davide; GALLO, Mosè
2019		x	CHEN, Zhaoxiang et al.
2019		x	FANG, Feng et al.
2019	x		VRIGNAT, Pascal et al.
2020	x		CHAABANE, Kenza et al.
2020	x		JAQIN, C.; ROZAK, A.; HARDI PURBA, H.
2020		x	LEE, Dooyoul; CHOI, Dongsu.
2020		x	MA, Zhiliang et al.
2020		x	PALEI, Sanjay Kumar; DAS, Smarak; CHATTERJEE, Snehamoy
2020		x	SHAMAYLEH, Abdulrahim; AWAD, Mahmoud; ABDULLA, Aidah Omar
2020		x	SINGH, Shashi B.; SURESHA, Ramu; SACHIDANANDA, Krishnamurthy H
2020		x	YANG, Yuan-Jian et al
2021		x	ABDALLAH, Bouzouada et al.
2021	x		BONIFÁCIO, Marcos Antonio; MARTINS, Antonio Cesar Germano.
2021		x	CATELANI, Marcantonio et al.
2021		x	ERIKSEN, Stig; UTNE, Ingrid Bouwer; LÜTZEN, Marie.
2021		x	FUENTES-HUERTA, Marco A. et al.
2021	x		HERAVI, Gholamreza; KEBRIA, Majid Fazeli; ROSTAMI, Milad.
2021		x	LU, Xue-Qin et al.
2021	x		MOHAN, T. Roosefert et al.
2021		x	MORAES, Cayo Cid de França et al.
2021		x	PIECHNICKI, Flávio et al.
2021	x		TORTORELLA, Guilherme Luz et al
2021		x	YU, Pengfei et al
2022		x	ALIZADEH, Ali et al.
2022	x		AU-YONG, Cheong Peng; AZMI, Nur Farhana; MYEDA, Nik Elyna.
2022	x		CHINTADA, Anusha; V, Umasankar
2022	x		FACCHINETTI, Tullio; CITTERIO, Giuseppe.
2022		x	GHOLAMI, Javad; RAZAVI, Ahmad; GHAFFARPOUR, Reza.
2022		x	OCELLA, Sunday; SHAFIEE, Mahmood; SANSOM, Chris.
2022	x		SINGH, Rajesh Kumar; GURTU, Amulya
2022	x		TORTORELLA, Guilherme Luz et al.
2022	x		TORTORELLA, Guilherme Luz et al.
2022		x	YANG, Xiuzhen et al
2023		x	GEISBUSH, James; ARIARATNAM, Samuel T.
2023	x		MISHRA, Akanksha.
2023	x		MOHAN, Roosefert; ROSELYN, J. Preetha; UTHRA, R. Annie.
2023	x		MUFTUOGLU, Suleyman; CEVIKCAN, Emre; DURMUSOGLU, Bulent.
2023	x		SINGH, Ajit Pal; AWOKE, Nardos Fentaw.
2023		x	SONG, Mengchu; ZHANG, Xinxin; LIND, Morten
2023	x		TOKE, Lalit K.; KALPANDE, Shyamkumar D.
2023	x		VAZ, Eduardo et al

Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 5 apresenta um quadro com as principais características identificadas em cada método.

Figura 5 - Características da TPM e RCM revisão sistemática

Características	TPM	RCM
Foco da gestão da manutenção para aumento da produtividade	x	
Aplicação de ferramentas para o aumento da vida útil e confiabilidade dos equipamentos		x
Enfoque na gestão de dados para históricos de manutenção dos ativos	x	x
Foco na aplicação de ferramentas práticas para definição das melhores prática de manutenção		x
Ênfase na gestão da manutenção para aumento da disponibilidade	x	x
Concentra-se na capacitação dos colaboradores	x	
Aborda a utilização de métodos para gerenciar a eficiência dos equipamentos.	x	
Aplicação da ferramenta do FMEA		x
Foco nos equipamentos		x
Foco nas pessoas e processos	x	
Gestão da Manutenção Autônoma	x	
Gestão da Manutenção Planejada	x	
Gestão da Manutenção Preditiva		x
Gestão da Manutenção Preventiva	x	x
Ênfase a aplicação de ferramentas para melhorias nos equipamentos	x	
Foco em ferramentas de controle qualidade	x	x
Aborda a redução de custos e desperdícios	x	x
Gestão da Saúde e Meio Ambiente	x	
Gestão da Segurança dos processos	x	x

Fonte: Elaborado pelo autor.

A revisão sistemática da literatura revelou que há algumas características compartilhadas entre os dois métodos, como o enfoque na gestão de dados para os históricos de manutenção dos ativos, ênfase na gestão da manutenção para aumento da disponibilidade, gestão da manutenção preventiva, foco em ferramentas de

controle de qualidade, redução dos desperdícios e gestão da segurança dos processos. Foi observada uma tendência da TPM em direção a aspectos de gestão, enquanto a RCM está mais focada nos aspectos relacionados aos equipamentos.

4.2 PESQUISA QUALITATIVA

Nessa etapa são apresentados os dados da pesquisa qualitativa. Primeiramente, é apresentada a descrição dos dados coletados na entrevista. Após, é apresentada a análise dos dados descritos. E, por fim, é apresentada a interpretação dos dados analisados. A entrevista foi realizada de forma online e conduzida a partir do questionário desenvolvido, e com duração aproximada de sessenta minutos.

4.2.1 Descrição dos Dados

A entrevista foi realizada com o coordenador de engenharia de manutenção, que é colaborador da empresa há 20 anos e somente na área de manutenção. Atualmente, o mesmo faz parte da equipe responsável por conduzir as rotinas de manutenção dentro da empresa.

Quando perguntado sobre a implementação da TPM na empresa, o coordenador de engenharia de manutenção explicou que, embora haja um sistema semelhante em vigor, com a aplicação de alguns pilares da TPM, ainda não foi adotado um modelo total de TPM. Ele complementou, destacando que: *“Hoje, a TPM não é fortemente implementada pela empresa. Entende-se que alguns pilares estão implementados. No passado, a empresa era muito forte no pilar da Manutenção Autônoma, onde todo o time de manutenção e operação era capacitado e se considerava que esse pilar fazia mais parte da operação do que da manutenção. Pequenos reparos e inspeções nos equipamentos eram realizados pelos operadores, os quais registravam pequenas anomalias que poderiam se tornar falhas e levar à quebra do equipamento. Essa prática foi mantida por alguns anos, mas, com o passar do tempo, houve uma inclinação para o lado mais tecnológico do negócio, com a implementação de análises online e offline de falhas nos equipamentos”*. Para ele,

após a passagem de uma crise financeira, a empresa optou por priorizar a base da manutenção e fortalecer as práticas de manutenção preventiva.

Na visão do coordenador, a TPM é percebida como um facilitador na melhoria dos processos e rotinas de manutenção, possuindo características mais voltadas para a gestão. Segundo relatos: *“A TPM é vista como um organizador dos processos e rotinas, onde os métodos de realização das tarefas, de forma mais eficiente e assertiva, são apresentados. Também, a TPM é vista como um padronizador dos processos e direcionador de como avançar com a gestão dentro da empresa. Na parte da capacitação e treinamento, somos auxiliados com a capacitação dos operadores em determinadas funções mais específicas, tanto na manutenção como na operação”*.

Quando perguntado sobre os resultados proporcionados pela implementação da TPM, seja de forma total ou apenas alguns pilares, o colaborador afirmou que: *“Dentro da organização, ao utilizar o pilar da manutenção autônoma, observa-se a realização de toda a limpeza do equipamento e a organização do setor, percebendo-se o engajamento de toda a equipe. É percebido nos setores que o operador e o mantenedor trabalham em prol da continuidade operacional do equipamento. Onde a capacitação dos funcionários para possibilitar seu crescimento dentro da organização é considerada uma fonte de satisfação”*. Ele ainda complementou que os colaboradores sentem orgulho de trabalhar em uma empresa que busca promover as pessoas que estão buscando crescimento, através da capacitação.

Já sobre a utilização da RCM, a empresa não o aplica de forma estruturada, mas algumas ferramentas, como o FMEA, acabam sendo utilizadas de forma mais superficial, conforme as necessidades: *“A análise de falhas é empregada quando ocorre a quebra de algum equipamento, e as causas da parada do equipamento são verificadas. O FMEA é utilizado de forma mais superficial, ainda que dessa maneira indique se são necessárias melhorias no equipamento ou uma intervenção mais rápida. Um Diagrama de Pareto dos equipamentos é mantido, no qual os equipamentos mais críticos para a empresa são submetidos a análises mais profundas para a formulação de planos de manutenção, determinando se serão implementadas melhorias ou se será necessária uma mudança na estratégia de manutenção”*.

Segundo a visão do entrevistado, a RCM é um método mais técnico, sendo o seu foco mais voltado para a funcionalidade e confiabilidade dos equipamentos, ele

complementa: *"A RCM é mais técnica, sendo trabalhado mais com números, por exemplo, número de falhas ou número de falhas devido à troca ou não de algum componente, sendo mais quantitativo. É um método focado mais na análise do equipamento para se montar uma estratégia de manutenção mais direcionada a cada equipamento."*

Na visão do coordenador, a complementariedade dos dois métodos para trabalharem em conjunto seria possível, pois eles se complementam em suas características e ferramentas. Para ele, uma empresa que disponha de todos os recursos humanos necessários para a correta implementação, e que realize uma gestão adequada para manter os dois métodos, obterá ótimos resultados em seus processos. Ele ainda complementa que, ao utilizar a TPM em um processo crítico, é possível aplicar a RCM nos equipamentos principais da linha, realizando uma análise mais aprofundada das máquinas para melhorar seus desempenhos.

4.2.2 Análise dos Dados

Através da entrevista, verificou-se as características da TPM e RCM apontadas pelo coordenador de manutenção. No quadro da Figura 6 estão apontados os principais atributos dos dois métodos citados pelo entrevistado.

Figura 6 - Características da TPM e RCM na visão do entrevistado.

Característica	TPM	RCM
Organização das rotinas de manutenção	x	
Facilitador dos processos	x	
Motivação da equipe	x	
Capacitação e treinamento	x	
Foco na de gestão pessoas e processos	x	
Foco na funcionalidade e confiabilidade do equipamento		x
Mais técnico com a utilização de ferramentas (FMEA)		x
Foco na aplicação de ferramentas para melhorias nos equipamentos	x	x
Foco em metodos para aumentar a confiabilidade dos equipamentos		x
Foco na aplicação de ferramentas para aumentar a disponibilidade dos equipamentos		x

Fonte: Elaborado pelo autor.

Na análise dos dados coletados na entrevista, mesmo a empresa não tendo a TPM e RCM implementado de forma completa, o coordenador percebe a TPM como uma metodologia que se concentra principalmente na gestão dos processos e recursos humanos. Por outro lado, ele vê a RCM como uma abordagem mais técnica, que emprega ferramentas para a maximização da vida útil dos equipamentos.

4.2.2 Interpretação dos Dados

Foi possível identificar durante a entrevista com o coordenador de engenharia de manutenção, que a uns anos atrás, a empresa tinha o pilar manutenção planejada da TPM implementado de forma consistente, onde os operadores e mantenedores eram capacitados para a realização de pequenos reparos, para inspeções nos equipamentos para identificação de falhas iniciais e para a realização da correta organização e limpeza de seus setores e postos de trabalhos. O mesmo comenta que, isso gerava certo clima de satisfação entre os colaboradores, pois sentiam-se orgulhosos de trabalhar em uma empresa que investia em suas capacitações. Porém, devido algumas crises de mercado, que a empresa acabou atravessando durante os anos, a manutenção autônoma acabou sendo não mais uma atividade de rotina prioritária, pois a empresa acabou diminuindo os investimentos nestas áreas, realizando a contratação de profissionais já capacitados, adotando novas tecnologias de análise e operação dos equipamentos e adotando estratégias para fortalecer a base da manutenção.

Outro ponto observado, na visão do entrevistado, foi que a TPM tem sua aplicação mais direcionada para a gestão, devido as suas características de atuar como organizador e padronizar os processos e rotinas de manutenção, apresentando técnicas para executar as tarefas de forma mais eficiente.

Retratando sobre a RCM, observou-se que a empresa não possui a implementação completa, mas acabou adaptando algumas ferramentas conforme suas necessidades. Hoje, existe a utilização do FMEA de forma mais compacta para análise das falhas e atuação na causa raiz do problema, seja através de planos de manutenção mais direcionados ou projetos de melhorias. Há também um Diagrama de Pareto que apresenta todos os equipamentos críticos da planta, sendo estes

submetidos a análises mais específicas e detalhadas, para a formulação dos planos de manutenção ou possíveis melhorias.

Percebe-se na entrevista que a RCM é considerada como um método mais técnico, que trabalha com números e dados, mais quantitativo, tendo suas características voltadas para a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos.

Na análise das características apontadas pelo entrevistado, no Quadro 4, percebe-se que, embora a TPM e a RCM sejam métodos diferentes, eles são complementares, ou seja, a TPM se configura como um sistema de gestão da manutenção e a RCM como um método para gerenciar a confiabilidade dos equipamentos.

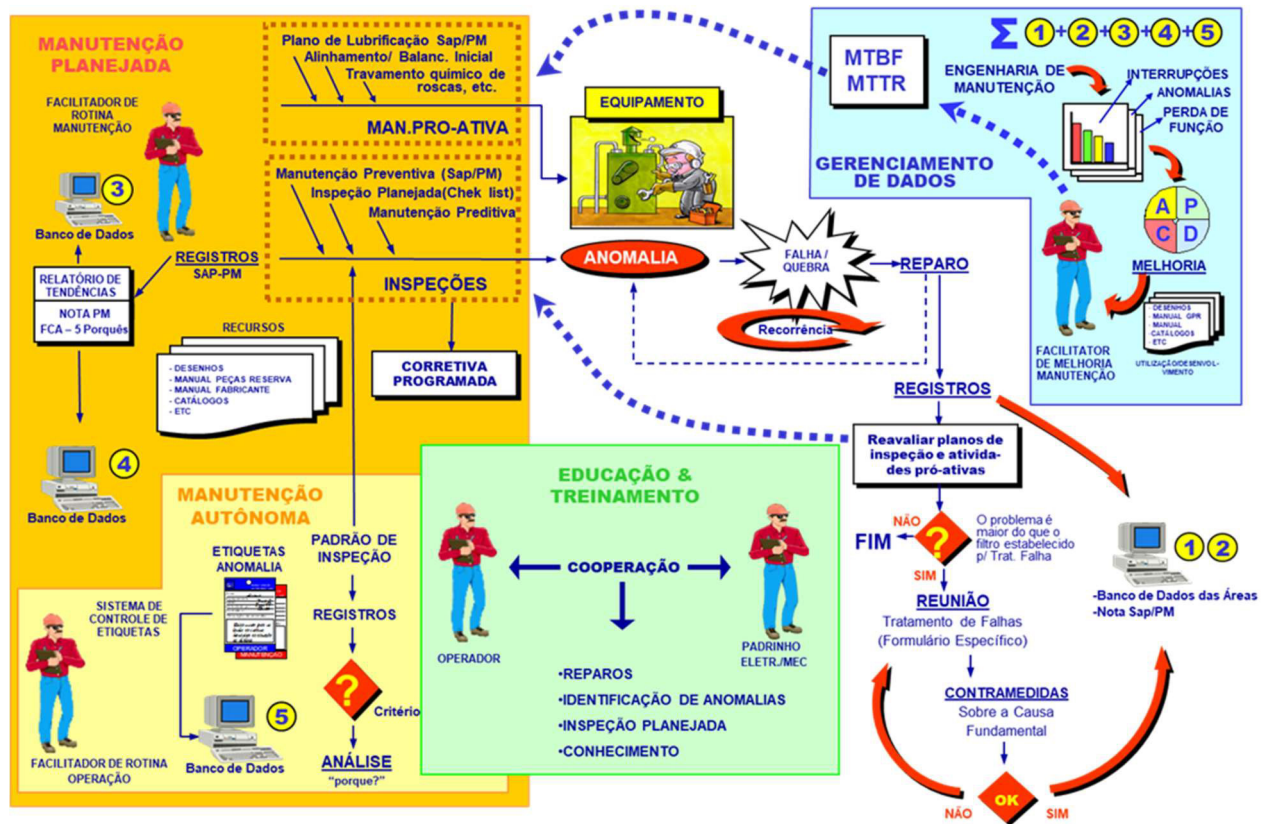
4.3 OBSERVAÇÃO DO PESQUISADOR

Após a conclusão da pesquisa qualitativa e a análise dos dados coletados, foi realizada uma análise da implementação das diversas ferramentas e práticas da TPM e RCM na empresa pelo pesquisador da presente pesquisa.

O primeiro ponto observado foi que, o sistema de gestão de manutenção da empresa, representado na Figura 7, mostra de forma direta, o funcionamento de um sistema consistente de gestão da manutenção. De forma direta também, é evidenciado o uso dos pilares Manutenção Planejada, Manutenção Autônoma e Educação e Treinamento. O Pilar Eficiência dos Equipamentos é realizado fora da sistemática mostrada na Figura 7, assim como o Pilar Manutenção Antecipada.

A área destacada como Gerenciamento de Dados é a parte onde recebe todas as informações das atividades e ocorrências de produção. Nessa área é acompanhada a vida útil dos principais equipamentos. Essa área poderia ser considerada como Engenharia de Manutenção segundo Gupta e Vardhan (2016), Garza-Reyes et al. (2018), Al-Hawari et al. (2019) e Au Young et al. (2022).

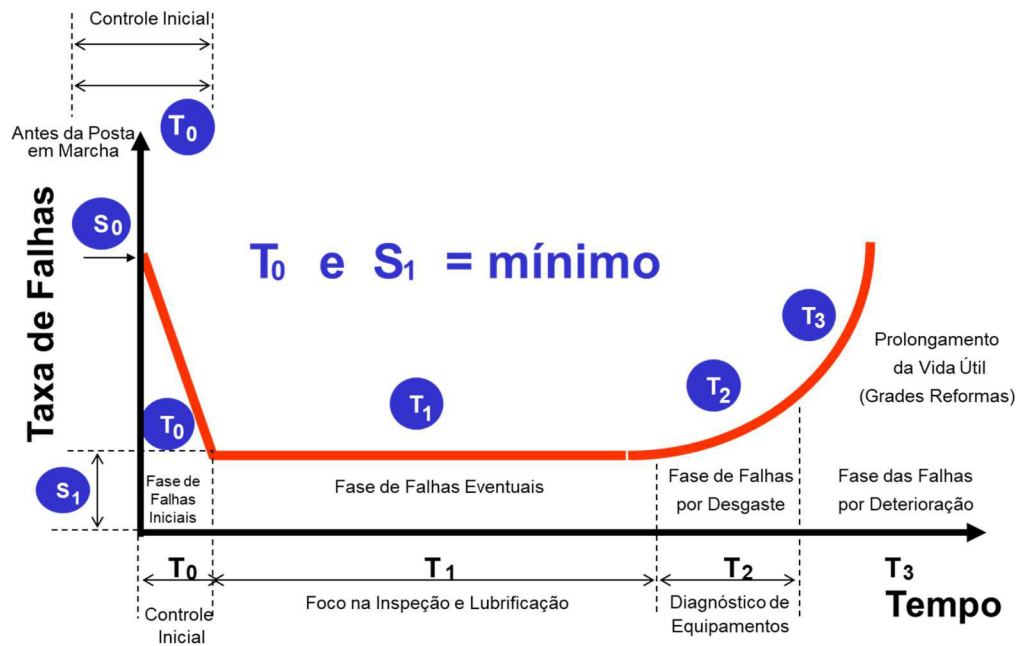
Figura 7 - Sistema de Manutenção da Empresa



Fonte: Elaborado pelo autor baseado em materiais da empresa.

Essa área também recebe os dados para cálculo do OEE, define as grandes reformas e utiliza ferramentas da RCM, como a Confiabilidade Estatística, para realizar o acompanhamento da confiabilidade e vida útil do equipamento. Nessa ferramenta, define-se o que deve ser feito em cada área da vida de um equipamento. A Figura 8 mostra a utilização da Confiabilidade Estatística, mais especificamente na análise da taxa de falhas ao longo da vida útil do equipamento. Esse padrão de estatística do exemplo é a curva ou modelo de Weibull, onde mais especificamente temos o gráfico da taxa de falhas desse modelo, também chamado de Curva da Banheira.

Figura 8 - Curva da Banheira



Fonte: Elaborado pelo autor baseado em materiais da empresa.

A área destacada Manutenção Autônoma trata-se do Pilar do TPM onde ocorrem as atividades desenvolvidas diretamente pelos operadores. Neste pilar, a ideia é que a Manutenção e a Produção trabalhem juntos para manter o equipamento nas condições normais de funcionamento. Nessa área, o operador faz uso de sua experiência para interagir com a máquina na busca de sinais que apontem alguma irregularidade. A rotina do operador acaba possuindo “caráter cuidador” do equipamento, ao invés de um utilizador apenas. A rotina do operador pode ser percebida em sua atitude que, ao invés de apenas operar o equipamento, o mesmo identifica sintomas que podem preceder uma falha como ruídos, vibrações, aquecimento, entre outros. Ao identificar um desses sintomas, o operador sinaliza o problema, podendo ele mesmo reparar. O operador também recebe rotinas mais técnicas de cuidado do equipamento como lubrificação, limpeza, ajustes, alguns reparos, entre outros.

Como ilustração, na Figura 9 apresenta um painel visual, onde contém instruções de trabalho, fichas de controles de atividades, gestão das etiquetas de anomalia, registro de ideias e projetos de melhoria e exposição dos treinamentos

realizados. Esse painel consolida o pilar Manutenção Autônoma da empresa em questão.

Figura 9 - Painel da Manutenção Autônoma



Fonte: Elaborado pelo autor baseado em materiais da empresa.

O Painel do Pilar da Manutenção Autônoma mostra uma visão geral do *status* e das atividades de manutenção na linha de produção.

A Rotina de Inspeção Operacional é uma ficha (documento) onde formaliza todos os pontos de inspeção, frequência, critérios e registros realizados pelo operador no equipamento. Todos os pontos críticos de inspeção são demonstrados no roteiro para auxiliar o operador. Apesar dessa atividade ser voltada ao operador, essa atividade de inspeção é planejada e monitorada pela Engenharia de Manutenção da empresa. Os operadores participam da elaboração e de revisões nesse documento.

A Figura 10 ilustra a Rotina de Inspeção Operacional da empresa em questão.

Figura 10 - Rotina de Inspeção Operacional

Área				Setor		Equipamento:		Mês:		Períodos de Inspeção:		Legenda de Marcação:		PLANILHA 1																								
MANUTENÇÃO				BLOCO DE UTILIDADES		GERAL				T: Turno - início do turno D: Diário - 2º turno S: Semanal - 1ª e 3ª semana no 2º turno		☐ Programação das Inspeções ☐ Inspeção sem anomalias ☒ Emissão de etiquetas																										
T	Turno	Per	Pos	Componente	Verificar / Parâmetro	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
T	Caldeira 1, 2 e 3 *	T	A1	Garrafa de nível	Baixar nível/prestar alarme																																	
			C2	Reservatório diesel	Mantê-lo cheio																																	
			AB3	Manômetros e Termômetros	Pres. vapor caldeira 5,5 - 6,5 kg/cm ²																																	
					Pres. óleo BPF 2 kg/cm ²																																	
					Pres. vapor alimentação 1 - 1,3 kg																																	
					Temp. Óleo BPF 100 - 110°C																																	
			D11	Boiler	Nível de água conforme marca																																	
					D12	Termômetros	Temperatura água 37 a 40°C																															
			T	Caldeira 1, 2 e 3 *	T	A1	Garrafa de nível	Baixar nível/prestar alarme																														
						C2	Reservatório diesel	Mantê-lo cheio																														
AB3	Manômetros e Termômetros	Pres. vapor caldeira 5,5 - 6,5 kg/cm ²																																				
		Pres. óleo BPF 2 kg/cm ²																																				
		Pres. vapor alimentação 1 - 1,3 kg																																				
		Temperatura óleo BPF 100 - 110°C																																				
B4	Queimador princ./prio	Sem entupimentos, louça danificada																																				
		C5				Ventilador a combustão	Sem ruídos, vibrações excessivas																															
B6	Fotocélula	Inspeccionar se necessário limpar																																				
		C7				Bombas água/óleo	Sem vazamentos, ruídos anormais																															
A8	Válvulas segurança	Testar conforme padrão																																				
		F9	Motores elétricos	Síntons desancapados, caixa de bombas aberta, aquecimento e ruídos anormais																																		
C10	Caixa de cinzas	Se necessário limpar																																				
		D11	Boiler	Nível de água conforme marca																																		
D12	Manômetros/Termômetros	Se várias, temperatura água 37 a 40°C																																				
		D13	Válvulas/Cilind/Manguera	Sem vazamentos																																		
F14	Bombas de água	Água deve estar gotejando																																				
		F9	Motores elétricos	Síntons desancapados, caixa de bombas aberta, aquecimento e ruídos anormais																																		
D15	Conjunt. lubrific.	Óleo min. 1/2 copo, pres. 4 - 6 kg/cm																																				
		A1	Garrafa de nível	Baixar nível/prestar alarme																																		
C2	Reservatório diesel	Mantê-lo cheio																																				
		AB3	Manômetros e Termômetros	Pres. vapor caldeira 5,5 - 6,5 kg/cm ²																																		
Pres. óleo BPF 2 kg/cm ²																																						
Pres. vapor alimentação 1 - 1,3 kg																																						
Temp. Óleo BPF 100 - 110°C																																						
D11	Boiler	Nível de água conforme marca																																				
		D12	Termômetros	Temperatura água 37 a 40°C																																		

Realização 12/06/2000 * Só quando caldeira 3 estiver em serviço

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em materiais da empresa.

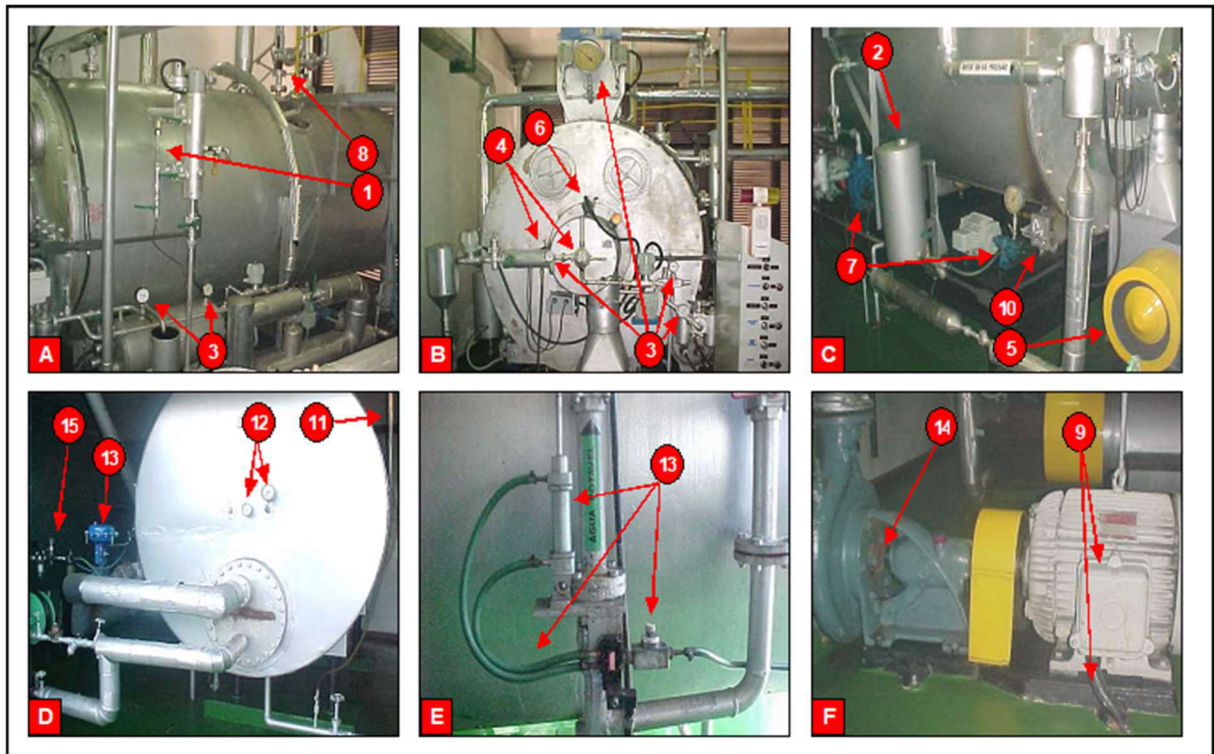
A Figura 11, mostra o verso da Rotina de Inspeção Operacional. O verso desse documento apresenta as fotos de todas as partes da máquina nas quais o operador possui rotina de inspeção, bem como sinalizações para melhor orientar o operador na correta execução da atividade.

Embora o operador tenha experiência na execução das atividades de interação com a máquina, a Rotina de Inspeção Operacional serve também como um instrumento de treinamento para novos operadores ou instrução de trabalho para operadores que venham a substituir o operador oficial da máquina.

Embora a Rotina de Inspeção Operacional aborde apenas os pontos críticos, o histórico do funcionamento desse pilar (Manutenção Autônoma) mostra que a

quantidade de itens aumenta com o tempo devido o envolvimento cada vez maior do operador com o equipamento.

Figura 11 - Pontos Críticos



Fonte: Elaborado pelo autor baseado em materiais da empresa.

Outra ferramenta utilizada pelo pilar Manutenção Autônoma, e que consta no painel mostrado na Figura 9, é o sistema chamado Etiquetas de Registro de Anormalidades ou Etiquetas de Manutenção Autônoma. Esse sistema resume-se na rotina do operador emite as etiquetas para sua própria equipe ou para a manutenção a partir da constatação de qualquer anormalidade identificada, seja na Rotina de Inspeção Operacional ou qualquer outra forma de inspeção ou operação. Ao perceber uma anomalia, o operador toma uma etiqueta do Painel de Manutenção Autônoma, a qual é confeccionada em duas vias, preenche a mesma e fixa diretamente no ponto da máquina onde percebeu a anomalia e a outra via coloca no Painel de Manutenção Autônoma. Essa estratégia visual proporciona uma mais rápida resolução do problema, seja pelo próprio operador ou outra área. A Figura 12 ilustra as etiquetas utilizadas pela empresa.

Figura 12 - Etiquetas de Registro de Anormalidades

MANUTENÇÃO
AUTÔNOMA-URS

Área: Aciaria

Equipamento Forno 2

Data:

Detectado por: Renato

Controle n:

Descrição da anomalia

Ruído muito forte na
bomba do sistema
hidráulico de elevação
da abóboda

OPERADOR

MANUTENÇÃO

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em materiais da empresa.

Percebe-se pela Figura 12 que, existem dois tipos de etiquetas para o registro de anomalias. A diferença está no tipo de resolução da anomalia, ou seja, se o problema for de competência do setor de Produção resolver ou de competência do setor de Manutenção resolver. As etiquetas também são diferenciadas por cor. No exemplo da empresa as azuis são de competência do setor de Produção e as vermelhas são de competência do setor de Manutenção.

As etiquetas são contabilizadas mensalmente, através de um controle, e divulgadas nas áreas de produção, manutenção e demais setores da empresa. Com base nas etiquetas de manutenção autônoma concluídas, é realizada uma análise para identificar problemas crônicos e eliminar suas causas.

Outro sistema utilizado no pilar Manutenção Autônoma são as melhorias no equipamento. Essas melhorias são oriundas das ideias que surgem diretamente dos operadores ao longo da operação do equipamento. Os registros dessas melhorias tornam-se importantes para a empresa no quesito de serem incluídos no histórico de vida do equipamento. A Figura 13 apresenta o modelo utilizado para a realização de

registro de melhorias dos equipamentos, onde é identificado o problema e proposto uma sugestão de melhoria, a qual é avaliada posteriormente pela Engenharia de Manutenção.

Figura 13 - Registro de Melhorias

MANUTENÇÃO AUTÔNOMA				ITEM			
REGISTRO DE MELHORIAS				2			
Área:	Trefila 2	Célula:	Galvanização	Gr.Máquinas:	Linha Zincagem 2 e 3	Respon.:	Marcelo
Problema Problemas de descentragem das bobinas		Antes 					
Melhoria Proposta Melhorar projeto guia superior do estocador		Depois 					
Justificativas (Vantagens/Custos/Orgamentos/Projetos) 							
Avaliação de Desempenho 							

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em materiais da empresa.

Cada melhoria tem o seu registro documentado desde a sua concepção até sua implementação, além das aprovações pertinentes.

Além de cada melhoria ter seu registro separado e com as informações consideradas pertinentes pela empresa em questão, existe também um documento no qual gerencia cada melhoria realizada ao longo do tempo. Este documento funciona como um plano de ação visual tem caráter mais de monitoramento da implementação da melhoria. A Figura 14 mostra o exemplo de um documento de controle das melhorias dos equipamentos.

Figura 14 - Controle das Sugestões de Melhorias

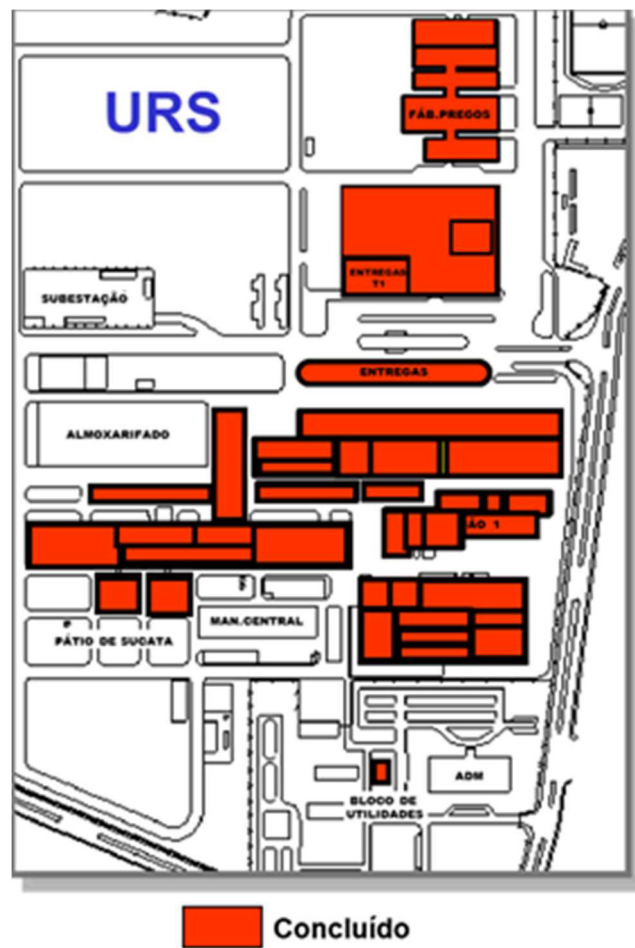
MANUTENÇÃO AUTÔNOMA CONTROLE DAS SUGESTÕES DE MELHORIAS							
Área: Manutenção		Célula: Bloco de Utilidades		Grupo de Máquinas: Geral			
ITEM	SUGESTÃO Descrição sucinta da ideia	QUEM? Sugeriu	ONDE? Equipamento e localização	PORQUE? Benefícios da melhoria	COMO? Providências e encaminhamentos	RESPONS. Execução	PRAZO Previst/ concl
1	Melhorar condição para limpeza no alto dos equipamentos	Revaldo	Para uso em todo o BU	Facilitar a limpeza	Comprar escada de abrir de 2,5m	Paulo	OK
2	Melhorar condição de limpeza do piso após pintura	Revaldo	Em todo BU	Facilitar e tornar mais rápida a limpeza	Comprar kit de limpeza	Scherer	OK
3	Melhorar aspecto do banheiro	Rogério	Banheiro do BU	Azulejos quebrados e antigos	Substituir todos azulejos	J. Adair	OK
4	Campainha externa para telefone	Revaldo	Parte externa do prédio	Avisar operador qdo estiver na parte externa	Instalar campainha externa	Amo	OK
5	Melhorar condição para limpeza no alto dos equipamentos	Alfeu	Salas e canaletas	Eliminar ratos	Contratar empresa especializada	Paulo	CANCELADO
6	Melhorar condição de limpeza do piso após	Rogério	Sala dos operadores	Manter produtos na temperatura adequada	Colocar refrigerador pequeno na sala	Paulo	OK
7	Melhorar acondicionamento produtos químicos p/ análise água	Rogério	Sala dos operadores	Porta está precária	Substituir porta	Paulo	OK
8	Melhorar porta entre caldeiras e sala de refrigeração	Rogério	Sala dos operadores	Porta está precária	Substituir porta	Paulo	OK
9	Facilitar abastecimento de hipoclorito	Rogério	Para uso nas bacias	É muito frequente o transporte	Utilizar bamba de 50 litros	Paulo	OK
10	Melhorar válvula de entrada de água	Alfeu	Caixa 4	válvula atual não funciona bem	Trocar válvula	Carlos	OK
11	Melhorar condição de limpeza	Alfeu	Central de produtos químicos	Facilitar a limpeza	Instalar mangueira de ar comprimido na sala	Carlos	OK
12	Melhorar organização dos produtos químicos	Revaldo	Central de produtos químicos	Produtos não estão em local adequado	Fazer suporte adequado	Paulo	OK
13	Melhorar condição de limpeza das portas e piso	Carlos	No BU	Para facilitar e tornar mais rápida a limpeza	Comprar lava jato pequena	Paulo	OK

Fonte: Elaborado pelo autor baseado em materiais da empresa.

Todas as sugestões são avaliadas e divulgadas para os solicitantes acompanharem o andamento de cada uma delas.

Foi percebido pelo pesquisador que a empresa possui uma implementação consistente do pilar Manutenção Autônoma, pois todos os equipamentos que foi planejada a implementação desse pilar foi realizada. Figura 15 mostra o layout da planta com a identificação dos setores que possuem a implementação do pilar de manutenção autônoma.

Figura 15 - Layout da Planta de Produção



Fonte: Elaborado pelo autor baseado em materiais da empresa.

Após a conclusão da pesquisa qualitativa e da análise dos dados coletados, foi possível estruturar um quadro que consolida a aplicação das ferramentas da TPM e RCM nas diversas linhas produtivas da empresa. Esse quadro é apresentado na Figura 16.

O quadro da Figura 16 oferece uma visão detalhada das práticas de gestão da manutenção, implementadas em cada etapa do processo produtivo, destacando a integração e abrangência das estratégias adotadas para garantir a eficiência e a confiabilidade das operações.

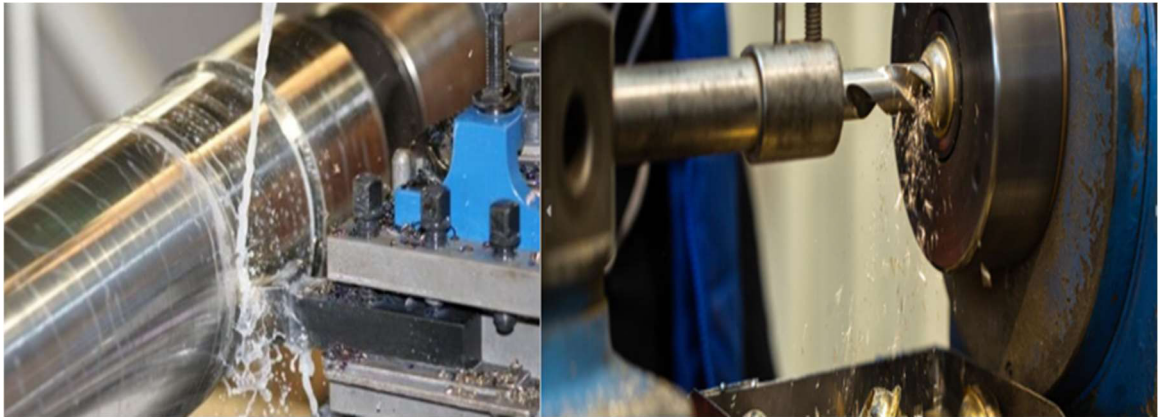
Figura 16 - Observações do Pesquisador

Ferramentas	TPM	RCM	APLICAÇÃO / OBJETIVO
Análise de Árvore de Falhas		x	Todas as máquinas
Confiabilidade Estatística		x	Acompanhamento da vida útil dos equipamentos
Diagrama de Pareto		x	Todas as máquinas
Eficiência dos equipamentos (OEE)	x		Todos os processos contínuos
FMEA		x	Equipamentos críticos
FMEA de Processo		x	Todas as peças fabricadas
Manutenção Autônoma	x		Todas as máquinas
Manutenção Planejada	x		Todas as máquinas
Controle Inicial ou Manutenção Antecipada	x		Equipamentos novos
Melhorias Específicas	x		Melhorar a eficiência dos equipamentos
Treinamentos	x		Todos os funcionários

Fonte: Elaborado pelo autor.

No setor de manutenção da empresa são utilizados alguns processos de fabricação mecânica pelo setor de manutenção. As manutenções, por diversas vezes, requerem reparos específicos em determinado componente da máquina. E para este reparo, pode ser necessário realizar processos de fabricação como soldagem, torneamento, fresamento, furação, entre outros. Não raramente, torna-se necessário, até mesmo, a construção de peças idênticas as que são substituídas devido a mesma já não existir disponível para venda no mercado. A Figura 17 apresenta a ilustração do processo de usinagem de um eixo. A realização deste processo dentro da empresa colabora com a redução de gastos na contratação de empresas terceiras. Também, essa prática pode reduzir o tempo médio de reparo, ocasionando um menor tempo de máquina parada algumas vezes.

Figura 17 - Processo de Usinagem



Fonte: Elaborado pelo autor baseado em materiais da empresa

Outro processo realizado é a soldagem, utilizado para reparos em estruturas dos equipamentos, eixos, fabricação de peças e melhorias nos equipamentos. A Figura 18 apresenta o processo de reparo utilizando a soldagem.

Figura 18 - Processo de Soldagem



Fonte: Elaborado pelo autor baseado em materiais da empresa

4.4 CARACTERÍSTICAS E COMPLEMENTARIEDADES DA TPM E RCM

A pesquisa sobre a literatura base mostrou o conceito, as principais características e o mecanismo de funcionamento dos métodos TPM e RCM. Já a revisão sistemática permitiu a seleção das características da TPM e RCM contidas na base de dados *SCOPUS*. O resultado desta revisão sistemática serviu de elemento para ser discutido com os resultados da pesquisa qualitativa e da observação do pesquisador no estudo de caso selecionado.

Para facilitar a discussão dos resultados, um quadro preliminar foi criado com as características dos dois métodos estudados. A estrutura do quadro foi criada a partir da literatura base de Nakajima (1989), Moubray (2000), Kardec e Nascif (2010) e Fogliatto e Ribeiro (2011). As informações contidas nesse quadro foram coletadas, também, dos artigos da revisão sistemática. A Figura 19 apresenta o referido quadro com as principais características dos dois métodos:

Figura 19 - Principais características da TPM e RCM.

Características	TPM	RCM
Abordagem	Enfoque na manutenção preventiva e produtiva para maximizar a eficiência dos equipamentos e processos de produção.	Foco na identificação das falhas críticas dos equipamentos e desenvolvimento de estratégias de manutenção baseadas no risco.
Objetivo	Redução de perdas e desperdícios e aumento da produtividade.	Minimizar a probabilidade de falhas de equipamentos críticos e confiabilidade dos equipamentos.
Estratégia	Incorpora a participação de todos os membros da equipe na identificação e resolução de problemas, com foco na autonomia e responsabilidade.	Utiliza análises de falhas sistemáticas para determinar os modos de falha críticos e desenvolver planos de manutenção específicos.
Manutenção	Ênfase na manutenção autônoma, preventiva e preditiva, com ênfase na prevenção de falhas e paradas não planejadas.	Prioriza a manutenção baseada em condições e ações corretivas planejadas, visando evitar falhas catastróficas e prolongar a vida útil dos equipamentos.
Ciclo de Vida	Aborda o ciclo de vida completo dos equipamentos, desde a instalação até a desativação, com foco na melhoria contínua.	Concentra-se nas fases de projeto, operação e manutenção dos equipamentos, com ênfase na análise de riscos e otimização dos recursos.

Fonte: Elaborado pelo autor.

Já o quadro da Figura 20 apresenta a compilação dos resultados encontrados na revisão sistemática da literatura e pesquisa qualitativa.

Figura 20 – Compilação das características da revisão sistemática e pesquisa qualitativa.

Características	Revisão Sistemática		Pesquisa Qualitativa	
	TPM	RCM	TPM	RCM
Foco da gestão da manutenção para aumento da produtividade	x			
Aplicação de ferramentas para o aumento da vida útil e confiabilidade dos equipamentos		x		x
Enfoque na gestão de dados para históricos de manutenção dos ativos	x	x		
Foco na aplicação de ferramentas práticas para definição das melhores prática de manutenção		x	x	
Enfase na gestão da manutenção para aumento da disponibilidade	x	x		x
Concentra-se na capacitação dos colaboradores	x		x	
Aborda a utilização de metodos para gerenciar a eficiência dos equipamentos..	x			
Prioriza a aplicação da ferramenta do FMEA		x		x
Foco no equipamento		x		x
Foco nas pessoas e processos	x		x	
Gestão da Manutenção Autônoma	x			
Gestão da Manutenção Planejada	x		x	
Gestão da Manutenção Preditiva		x		
Gestão da Manutenção Preventiva	x	x		
Enfase a aplicação de ferramentas para melhorias nos equipamentos	x		x	x
Foco em ferramentas de controle qualidade	x	x		
Aborda a redução de custos e desperdícios	x	x		
Gestão da Saúde e Meio Ambiente	x			
Gestão da Segurança dos processos	x	x		

Fonte: Elaborado pelo autor.

Verifica-se que os dados resultantes da revisão sistemática da literatura e da pesquisa qualitativa vão ao encontro das características principais citadas na revisão da literatura. Apesar da revisão sistemática apontar resultados quantitativos nas implementações da TPM, a mesma não mostra a característica voltada à gestão na área de manutenção que possui a TPM. Esse fato foi revelado apenas na pesquisa qualitativa. Autores como Morales e Rodriguez (2017), Singh e Heravi et al. (2021) e Awoke (2023) apontaram apenas os resultados da aplicação da TPM. Já para a RCM, a revisão da literatura apontou o objeto máquina ou componente como sendo o escopo de aplicação, ou seja, não foi encontrado na literatura pesquisada, nada que apontasse a RCM como sendo modelo de organização de uma gestão das atividades da função manutenção na empresa.

A Figura 21 apresenta a conclusão das diferenças e complementariedades resultantes da pesquisa.

Figura 21 - Conclusão das características

CARACTERÍSTICAS	TPM	RCM
Foco na gestão dos processos	x	
Foco nos equipamentos		x
Utilização de ferramentas técnicas		x
Aborda métodos para aumento disponibilidade e gestão da eficiência dos equipamentos	x	
Enfoque em ferramentas para aumento da confiabilidade		x
Foco na aplicação de práticas para a Melhorias nos processos	x	
Foco na aplicação de ferramentas para a Melhorias nos equipamentos		x
Concentra-se na capacitação e participação de todos	x	
Prioriza métodos para padronização das atividades	x	

Fonte: Elaborado pelo autor

Com isso, tem-se que a complementaridade entre TPM e a RCM estão em suas abordagens e objetivos distintos, que, quando combinados, podem melhorar significativamente a gestão da manutenção industrial.

A TPM aborda a manutenção de forma integral, visando aprimorar a eficiência geral dos equipamentos e processos. Por outro lado, a RCM adota uma abordagem analítica e baseada em riscos para identificar e priorizar as atividades de manutenção. Realizando a integração dos dois métodos, a TPM fornece uma estrutura para a implementação de práticas de manutenção autônoma e preventiva, enquanto a RCM oferece uma metodologia para identificar falhas críticas e desenvolver estratégias de manutenção específicas.

A RCM pode ser aplicado no pilar de Manutenção Planejada da TPM, onde as equipes podem realizar análises mais detalhadas dos modos de falha críticos dos equipamentos e identificar intervenções preventivas ou preditivas mais eficazes. Além disso, a RCM pode ajudar a determinar a frequência e a extensão das atividades de manutenção autônoma com base na criticidade dos equipamentos e no impacto potencial de falhas. A RCM, com sua abordagem analítica e baseada em riscos, complementa essa iniciativa ao disponibilizar uma metodologia estruturada para identificar os modos de falha críticos dos equipamentos e desenvolver estratégias de manutenção específicas para cada um.

Quanto a prevenção de falhas e confiabilidade dos equipamentos, a TPM enfatiza a prevenção de falhas e paradas não planejadas por meio da manutenção autônoma e preventiva, enquanto a RCM visa minimizar o risco de falhas críticas por meio da análise detalhada das causas raízes e do desenvolvimento de planos de manutenção baseados no risco. Combinados, esses métodos podem trabalhar em conjunto para melhorar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos.

Já no que tange a otimização de recursos de manutenção, a TPM promove o envolvimento de todos os funcionários na identificação e resolução de problemas de manutenção, enquanto a RCM fornece uma estrutura para priorizar os recursos de manutenção com base na criticidade dos equipamentos. Ao combinar essas abordagens, as organizações podem otimizar o uso de recursos, direcionando-os para onde são mais necessários.

Na cultura de melhoria contínua, ambos os métodos promovem uma cultura de melhoria contínua, incentivando a participação ativa dos funcionários na identificação e implementação de melhorias.

Também pode a RCM ser integrado às atividades de melhoria contínua no contexto da manutenção autônoma. Ao analisar os modos de falha e as causas raízes, as equipes podem identificar oportunidades de otimização de processos, redução de custos e aumento da eficiência operacional. Isso pode incluir a implementação de novas práticas de manutenção autônoma, o desenvolvimento de procedimentos padronizados de inspeção e a utilização de tecnologias avançadas de monitoramento de condição.

A complementaridade entre a TPM e a RCM reside na combinação de suas abordagens distintas para a gestão da manutenção, resultando em uma estratégia abrangente e eficaz para melhorar a confiabilidade, disponibilidade e desempenho dos equipamentos industriais.

Ao integrar a TPM e a RCM, as organizações podem criar um ambiente que valorize a excelência operacional e o compromisso com a qualidade e confiabilidade dos produtos e processos.

5. CONCLUSÕES

A presente pesquisa atingiu o objetivo proposto, de investigar a TPM e a RCM, no qual foi verificado através da revisão sistemática da literatura, pesquisa qualitativa e observação do pesquisador.

Com base nas etapas aplicadas durante a pesquisa, verificou-se que a TPM possui uma abordagem com foco na gestão de processos e pessoas, utiliza-se de métodos para o aumento de disponibilidade e eficiência dos equipamentos, e promove a aplicação de práticas de melhoria dos processos. Já a RCM apresentou uma abordagem mais técnica e com foco nos equipamentos. A RCM possui um foco em ferramentas para aumento da confiabilidade e melhorias nos equipamentos, visando o aproveitamento máximo do ativo durante sua vida útil.

Tem-se que a complementaridade entre a TPM e a RCM estão em suas abordagens e objetivos distintos, que, quando combinados, podem melhorar significativamente a gestão da manutenção industrial.

Com isso, a RCM pode contribuir, dentro dos pilares: Manutenção Autônoma; Manutenção Planejada; Manutenção Antecipada ou Controle Inicial; e Melhorias. Desta forma, ao integrar a TPM com a RCM, as organizações podem aprimorar suas gestões da manutenção, aumentando a confiabilidade dos equipamentos e promovendo uma cultura de excelência operacional e inovação contínua.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendação para trabalhos futuros, sugere-se:

- Desenvolver um modelo teórico prático que guie as empresas na implementação de uma estratégia de manutenção baseada nos princípios da TPM e RCM, considerando as diferentes etapas e requisitos de cada método;
- Realizar a investigação, através de um estudo de caso, dos benefícios e desafios enfrentados pelas organizações que adotam uma abordagem integrada da TPM e RCM;
- Analisar como a combinação da TPM e RCM, pode impactar na inovação e competitividade das empresas.

Essas sugestões podem gerar dados quantitativos para uma posterior análise comparativa. Também, podem oferecer dados valiosos para tanto para a comunidade acadêmica como para profissionais interessados em aprimorar suas práticas de gestão da manutenção.

REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS NOMINAIS

- ABDALLAH, B.; YSSAAD, Y.; MOHAMED, D.; BENAÏSSA, B.; BENABDELLAH, Y. Maintenance Optimization for Complex System using Evolutionary Algorithms under Reliability Constraints within the Context of the Reliability-Centered-Maintenance. **International Journal of Performability Engineering**, v. 17, n. 1, 2021.
- AFZALI, P.; KEYNIA, F.; RASHIDINEJAD, M. A new model for reliability-centered maintenance prioritisation of distribution feeders. **Energy**, v. 171, p. 701-709, 2019.
- AHMAD, N.; HOSSEN, J.; ALI, S. M. Improvement of overall equipment efficiency of ring frame through total productive maintenance: a textile case. **The international journal of advanced manufacturing technology**, v. 94, p. 239-256, 2018.
- ALASWAD, Suzan; XIANG, Yisha. A review on condition-based maintenance optimization models for stochastically deteriorating system. **Reliability engineering & system safety**, v. 157, p. 54-63, 2017.
- ALIZADEH, A.; FEREIDUNIAN, A.; MOGHIMI, M.; LESANI, H. Reliability-centered maintenance scheduling considering failure rates uncertainty: A two-stage robust model. **IEEE Transactions on Power Delivery**, v. 37, n. 3, p. 1941-1951, 2021.
- ARNO, Robert; DOWLING, Neal; FAIRFAX, Stephen; SCHUERGER, Robert J.; WEBER, Joseph. What is RCM and How Could it be Applied to the Critical Loads? **IEEE transactions on industry applications**, v. 51, n. 3, p. 2045-2053, 2014.
- ARNO, R.; DOWLING, N.; SCHUERGER, R. Equipment failure characteristics & RCM for optimizing maintenance cost. In: **2015 IEEE/IAS 51st Industrial & Commercial Power Systems Technical Conference (I&CPS)**. IEEE, 2015. p. 1-8.
- AU-YONG, Cheong Peng; AZMI, Nur Farhana; MYEDA, Nik Elyna. Promoting employee participation in operation and maintenance of green office building by adopting the total productive maintenance (TPM) concept. **Journal of Cleaner Production**, v. 352, p. 131608, 2022.
- BATAINEH, O.; AL-HAWARI, T.; ALSHRAIDEH; H. DALALAH, D. A sequential TPM-based scheme for improving production effectiveness presented with a case study. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 25, n. 1, p. 144-161, 2019.
- BINTI AMINUDDIN, N. A.; GARZA-REYES, J. A.; KUMAR, V.; Antony, J.; ROCHA-LONA, L. An analysis of managerial factors affecting the implementation and use of overall equipment effectiveness. **International journal of production research**, v. 54, n. 15, p. 4430-4447, 2016.

BRAGLIA, Marcello; CASTELLANO, Davide; GALLO, Mosè. A novel operational approach to equipment maintenance: TPM and RCM jointly at work. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 25, n. 4, p. 612-634, 2019.

BRANCO FILHO, G. A Organização, o Planejamento e o Controle da Manutenção. Rio de Janeiro: **Editora Ciência Moderna LTDA.**, 2008.

BONIFÁCIO, Marcos Antônio; MARTINS, Antônio Cesar Germano. Results of the application of autonomous maintenance in the mitigation of waste generation: Case study in a footwear company in Jaú/SP. **Gestão & Produção**, v. 28, 2021.

CATELANI, M.; CIANI, L.; GALAR, D.; PATRIZI, G. Optimizing maintenance policies for a yaw system using reliability-centered maintenance and data-driven condition monitoring. **IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement**, v. 69, n. 9, p. 6241-6249, 2020.

CHAABANE, K.; SCHUTZ, J.; DELLAGI, S.; TRABELSI, W. Analytical evaluation of TPM performance based on an economic criterion. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 27, n. 2, p. 413-429, 2020.

CHAUREY, S.; KALPANDE, S. D.; GUPTA, R. C.; TOKE, L. K. A review on the identification of total productive maintenance critical success factors for effective implementation in the manufacturing sector. **Journal of quality in maintenance engineering**, Percentil Scopus: 62%; v. 29, n. 1, p. 114-135, 2023.

CHEN, Zhaoxiang; HE, Yihai; ZHAO, Yixiao; HAN, Xiao; LIU, Fengdi; ZHOU, Di; WANG, Wenzhuo. Mission reliability-oriented selective maintenance optimization for intelligent multistate manufacturing systems with uncertain maintenance quality. **IEEE Access**, v. 7, p. 109804-109816, 2019.

CHENG, Jack C. P.; CHEN, Weiwei; CHEN, Keyu; WANG, Qian. Data-driven predictive maintenance planning framework for MEP components based on BIM and IoT using machine learning algorithms. **Automation in Construction**, v. 112, p. 103087, 2020.

CHINTADA, Anusha; V, Umasankar. Improvement of productivity by implementing occupational ergonomics. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 39, n. 1, p. 59-72, 2022.

CHLEBUS, E.; HELMAN, J.; OLEJARCZYK, M.; ROSIENKIEWICZ, M. A new approach on implementing TPM in a mine - A case study. **Archives of Civil and Mechanical Engineering**, v. 15, n. 4, p. 873-884, 2015.

DE ALMEIDA JÚNIOR, J.; PARRA, R. B. **PREDICTIVE & DETECTIVE MAINTENANCE**, 2018.

DEHGHANIAN, P.; FOTUHI-FIRUZABAD, M.; AMINIFAR F.; BILLINTON, R. A comprehensive scheme for reliability centered maintenance in power distribution systems—Part I: Methodology. **IEEE Transactions on Power Delivery**, Percentil Scopus: 86%; v. 28, n. 2, p. 761-770, 2013.

ERIKSEN, Stig; UTNE, Ingrid Bouwer; LÜTZEN, Marie. An RCM approach for assessing reliability challenges and maintenance needs of unmanned cargo ships. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 210, p. 107550, 2021.

FACCHINETTI, Tullio; CITTERIO, Giuseppe. Application of the overall equipment effectiveness to a service company. **IEEE Access**, v. 10, p. 106613-106640, 2022.

FACHINI, S. J.; SELLITTO, M. A. Análise estratégica da gestão da manutenção industrial de uma empresa de metal mecânica. Revista E-Tech: **Tecnologias para Competitividade Industrial** ISSN-1983-1838, v. 7, n. 1, p. 49-66, 2014.

FANG, Feng; ZHAO, Zhi-Jie; HUANG, Chao; ZHANG, Xin-Yin; WANG, Hong-Tu; YANG, Yuan-Jian. Application of reliability-centered maintenance in metro door system. **IEEE Access**, v. 7, p. 186167-186174, 2019.

FOGLIATTO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. Confiabilidade e Manutenção Industrial. Rio de Janeiro: **Elsevier**, 2011.265p

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

FONSECA, Milton; BEZERRA, Ubiratan Holanda; BRITO, Jorge De Almeida; LEITE, Jandecy Cabral; NASCIMENTO, Manoel Henrique Reis. Pre-dispatch of load in thermoelectric power plants considering maintenance management using fuzzy logic. **IEEE Access**, v. 6, p. 41379-41390, 2018.

FROGER, A.; GENDREAU, M. I.; MENDOZA, J. E.; PINSON, E.; ROUSSEAU, L. Maintenance scheduling in the electricity industry: A literature review. **European Journal of Operational Research**, v. 251, n. 3, p. 695-706, 2016.

FUENTES-HUERTA, Marco A.; GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, David S.; CANTÚ-SIFUENTES, Mario; PRAGA-ALEJO, Rolando J. Fuzzy reliability centered maintenance considering personnel experience and only censored data. **Computers & Industrial Engineering**, v. 158, p. 107440, 2021.

FUENTES-HUERTA, M. A.; GONZÁLEZ-GONZÁLEZ, D. S.; CANTÚ-SIFUENTES, M.; PRAGA-ALEJO, R. J. RCM implementation on plastic injection molding machine considering correlated failure modes and small size sample. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 95, p. 3465-3473, 2018.

GARZA-REYES, Jose Arturo; KUMAR, Vikas; CHAIKITTISILP, Sariya; TAN, Kim Hua. The effect of lean methods and tools on the environmental performance of manufacturing organisations. **International Journal of Production Economics**, v. 200, p. 170-180, 2018.

GEISBUSH, James; ARIARATNAM, Samuel T. Reliability centered maintenance (RCM): literature review of current industry state of practice. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 29, n. 2, p. 313-337, 2023.

GERHARDT, T.; SILVEIRA, D. Métodos de Pesquisa. 1 ed. Porto Alegre: **UFRGS**, 2009.

GHOLAMI, Javad; RAZAVI, Ahmad; GHAFFARPOUR, Reza. Decision-making regarding the best maintenance strategy for electrical equipment of buildings based on fuzzy analytic hierarchy process; case study: elevator. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 28, n. 3, p. 653-668, 2022.

GIL, A. C. Como elaborar projetos de pesquisa. 4. ed. São Paulo: **Atlas**, 2007.

GLIGORIJEVIC, Jovan; GAJIC, Dragoljub; BRKOVIC, Aleksandar; SAVIC-GAJIC, Ivana; GEORGIEVA, Olga; DI GENNARO, Stefano. Online condition monitoring of bearings to support total productive maintenance in the packaging materials industry. **Sensors**, v. 16, n. 3, p. 316, 2016.

GUPTA, Gajanand; MISHRA, Rajesh P. A failure mode effect and criticality analysis of conventional milling machine using fuzzy logic: case study of RCM. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 33, n. 2, p. 347-356, 2017.

GUPTA, G.; MISHRA, R. P. A SWOT analysis of reliability centered maintenance framework. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 22, n. 2, p. 130-145, 2016.

GUPTA, P.; VARDHAN, S. Optimizing OEE, productivity and production cost for improving sales volume in an automobile industry through TPM: a case study. **International Journal of Production Research**, v. 54, n. 10, p. 2976-2988, 2016.

HERAVI, Gholamreza; KEBRIA, Majid Fazeli; ROSTAMI, Milad. Integrating the production and the erection processes of pre-fabricated steel frames in building projects using phased lean management. **Engineering, Construction and Architectural Management**, v. 28, n. 1, p. 174-195, 2021.

HOSEINIE, S. H.; KUMAR, U.; GHODRATI, B. **Reliability centered maintenance (RCM) for automated mining machinery**. Luleå tekniska universitet, 2016.

HOOI, Lai Wan; LEONG, Tat Yuen. Total productive maintenance and manufacturing performance improvement. **Journal of quality in maintenance engineering**, v. 23, n. 1, p. 2-21, 2017.

JAQIN, C.; ROZAK, A.; HARDI PURBA, H. Case study in increasing overall equipment effectiveness on progressive press machine using plan-do-check-act cycle. **International Journal of Engineering**, v. 33, n. 11, p. 2245-2251, 2020.

JUNIOR, Milton Fonseca; BEZERRA, Ubiratan Holanda; LEITE, Jandecy Cabral; RODRÍGUEZ, Jorge Laureano Moya. Maintenance tools applied to electric generators to improve energy efficiency and power quality of thermoelectric power plants. **Energies**, v. 10, n. 8, p. 1091, 2017.

KALPANDE, Shyamkumar D.; TOKE, Lalit K. Assessment of green supply chain management practices, performance, pressure and barriers amongst Indian manufacturer to achieve sustainable development. **International Journal of Productivity and Performance Management**, v. 70, n. 8, p. 2237-2257, 2021.

KARDEC, Allan; NASCIF, Júlio. **Manutenção-função estratégica**. Qualitymark Editora Ltda, 2010.

KUMAR, P.; VARAMBALLY, K. V. M.; RODRIGUES, L. R. A methodology for implementing total productive maintenance in manufacturing industries—a case study. **International Journal of Engineering Research and Development**, v. 5, n. 2, p. 32-39, 2012.

LEE, D.; CHOI, D. Analysis of the reliability of a starter-generator using a dynamic Bayesian network. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 195, p. 106628, 2020.

LU, Xue-Qin; YAN, Hong-Fang; SU, Zheng-Lian; ZHANG, Min-Xia; YANG, Xu-Hua; LING, Hai-Feng. Metaheuristics for homogeneous and heterogeneous machine utilization planning under reliability-centered maintenance. **Computers & Industrial Engineering**, v. 151, p. 106934, 2021.

MA, Zhiliang; REN, Yuan; XIANG, Xinglei; TURK, Ziga. Data-driven decision-making for equipment maintenance. **Automation in Construction**, v. 112, p. 103103, 2020.

MELANI, Arthur Henrique Andrade; MURAD, Carlos Alberto; CAMINADA NETTO, Adherbal; SOUZA, Gilberto Francisco Martha de; NABETA, Silvio Ikuyo. Criticality-based maintenance of a coal-fired power plant. **Energy**, v. 147, p. 767-781, 2018.

MENEZHINI, Cristiano; ZAIONS, Douglas Roberto. A manutenção centrada em confiabilidade aplicada a um sistema de embalagem de presunto de uma indústria alimentícia. **Brazilian Journal of Business**, v. 1, n. 3, p. 1197-1206, 2019.

MISHRA, Akanksha. Evaluation of TPM adoption factors in manufacturing organizations using fuzzy PIPRECIA method. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 30, n. 1, p. 101-119, 2024.

MOHAN, R.; ROSELYN, J. P.; UTHRA, R. A. LSTM based artificial intelligence predictive maintenance technique for availability rate and OEE improvement in a TPM implementing plant through Industry 4.0 transformation. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, n. ahead-of-print, 2023.

MOHAN, T. Roosefert; ROSELYN, J. Preetha; UTHRA, R. Annie; DEVARAJ, D.; UMACHANDRAN, K. Intelligent machine learning based total productive maintenance approach for achieving zero downtime in industrial machinery. **Computers & Industrial Engineering**, v. 157, p. 107267, 2021.

MOUBRAY, J. Gerenciamento de Manutenção: um novo paradigma. **São Paulo: SQL Systems Brasil Ltda**, 1997.

MOUBRAY, J. Manutenção Centrada em Confiabilidade. **São Paulo: Aladon Ltda**, 2000.

MORAES, Cayo Cid de França; PINHEIRO, Plácido Rogério; ROLIM, Ivo Goncalves; COSTA, Jose Luis da Silva; ELIAS JUNIOR, Marcos da Silva; DE ANDRADE, Sidney Jose Meireles. Using the multi-criteria model for optimization of operational routes of thermal power plants. **Energies**, v. 14, n. 12, p. 3682, 2021.

MORALES MÉNDEZ, Jonathan David; RODRIGUEZ, Ramon Silva. Total productive maintenance (TPM) as a tool for improving productivity: a case study of application in the bottleneck of an auto-parts machining line. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 92, p. 1013-1026, 2017.

MUFTUOGLU, Suleyman; CEVIKCAN, Emre; DURMUSOGLU, Bulent. Autonomous maintenance preparation system design with axioms. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 29, n. 2, p. 460-480, 2023.

MUSMAN, Ahmadi Hamdan; AHMAD, Rosmaini. Critical component identification and autonomous maintenance activities determination using fuzzy analytical hierarchy process method. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, v. 28, n. 3, p. 360-378, 2018.

NAKAJIMA, Seichi. Introdução ao TPM – Total Productive Maintenance. **São Paulo: IMC Internacional Sistemas Educativos**, 1989.

OHELLA, Sunday; SHAFIEE, Mahmood; SANSOM, Chris. An RUL-informed approach for life extension of high-value assets. **Computers & Industrial Engineering**, v. 171, p. 108332, 2022.

OPPONG, Steward Harrison. The problem of sampling in qualitative research. **Asian journal of management sciences and education**, v. 2, n. 2, p. 202-210, 2013.

PALEI, Sanjay Kumar; DAS, Smarak; CHATTERJEE, Snehamoy. Reliability-centered maintenance of rapier dragline for optimizing replacement interval of dragline components. **Mining, Metallurgy & Exploration**, v. 37, n. 4, p. 1121-1136, 2020.

PIECHNICKI, Flávio; Dos Santos, Cleiton Ferreira; Loures, Eduardo De Freitas Rocha; Dos Santos, Eduardo Alves Portela. Data fusion framework for decision-making support in reliability-centered maintenance. **Journal of Industrial and Production Engineering**, v. 38, n. 1, p. 1-17, 2021.

RIBEIRO, José Luis Duarte; NODARI, Christine T. Tratamento de dados qualitativos: técnicas e aplicações. **FEENG**. Porto Alegre, v. 130, 2001.

SHAMAYLEH, Abdulrahim; AWAD, Mahmoud; ABDULLA, Aidah Omar. Criticality-based reliability-centered maintenance for healthcare. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 26, n. 2, p. 311-334, 2020.

SHARMA, Richa; SINGH, Jagtar; RASTOGI, Vikas. Importance and effectiveness of human related issues in implementing total productive maintenance: a study of Indian

manufacturing organisations. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, v. 23, n. 4, p. 420-434, 2016.

SHINDE, Dnyandeo Dattatraya; PRASAD, Ramjee. Application of AHP for ranking of total productive maintenance pillars. **Wireless Personal Communications**, v. 100, p. 449-462, 2018.

SINGH, Shashi B.; SURESHA, Ramu; SACHIDANANDA, Krishnamurthy H. Reliability centered maintenance used in metro railways. **Journal Européen des Systèmes Automatisés**, v. 53, n. 1, p. 11-19, 2020.

SINGH, Ajit Pal; AWOKE, Nardos Fentaw. Relationship between TPM practices and operational performance in soft drinks manufacturing industry. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, 2023.

SINGH, Rajesh Kumar; GURTU, Amulya. Prioritizing success factors for implementing total productive maintenance (TPM). **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 28, n. 4, p. 810-830, 2022.

SINHA, R. S.; MUKHOPADHYAY, A. K. Reliability centered maintenance of cone crusher: a case study. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**, v. 6, p. 32-35, 2015.

SMITH, A. "RCM in a nutshell: the learnings of Mac Smith", **Society for Maintenance and Reliability Professionals (SMRP) Solutions**, Vol. 8 No. 3, pp. 12-16, 2013.

SMITH, J. Application of Data Analysis Techniques for Predictive Maintenance in Industrial Systems. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Percentil Scopus: 80%; vol. 45, no. 2, 2022.

SONG, M.; ZHANG, X.; LIND, M. Automatic identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance analysis by using functional modeling and reasoning. **Computers & Industrial Engineering**, p. 109409, 2023.

TANG, Yang; LIU, Qingyou; JING, Jiajia; YANG, Yan; ZOU, Zhengwei. A framework for identification of maintenance significant items in reliability centered maintenance. **Energy**, v. 118, p. 1295-1303, 2017.

TOKE, Lalit K.; KALPANDE, Shyamkumar D. An assessment of key performance indicators and its relationship for implementation of total productive maintenance in manufacturing sector. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, p. 1-13, 2023.

TORTORELLA, G. L.; FOGLIATTO, F. S.; CAUCHICK-MIGUEL, Paulo A.; KURNIA, Sherah; JURBURG, Daniel. Integration of industry 4.0 technologies into total productive maintenance practices. **International Journal of Production Economics**, v. 240, p. 108224, 2021.

TORTORELLA, G. L.; SAURIN, T. A.; FOGLIATTO, F. S.; TLAPA, D.; MOYANO-FUENTES, J.; GAIARDELLI, P.; SEYEDGHORBAN, Z.; VASSOLO, R.; VERGARA, A.

F. Mac Cawley; SUNDER M, V.; SREEDHARAN, V. R.; SENA, S. A.; FORSTNER, F. F. The impact of Industry 4.0 on the relationship between TPM and maintenance performance. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 33, n. 3, p. 489-520, 2022.

TORTORELLA, G. L.; SAURIN, T. A.; FOGLIATTO, F. S.; TLAPA, D.; MOYANO-FUENTES, J.; GAIARDELLI, P.; SEYEDGHORBAN, Z.; VASSOLO, R.; VERGARA, A. F. Mac Cawley; SUNDER M, V.; SREEDHARAN, V. R.; SENA, S. A.; FORSTNER, F. F.; de ANDA, E. M. Digitalization of maintenance: exploratory study on the adoption of Industry 4.0 technologies and total productive maintenance practices. **Production Planning & Control**, p. 1-21, 2022.

VAZ, E.; DE SÁ, J. C. V.; SANTOS, G.; CORREIA, F.; ÁVILA, P. The value of TPM for Portuguese companies. **Journal of Quality in Maintenance Engineering**, v. 29, n. 1, p. 286-312, 2023.

WAKJIRA, Melesse Workneh; SINGH, Ajit Pal. Total productive maintenance: A case study in manufacturing industry. **Global Journal of researches in engineering Industrial engineering**, v. 12, n. 1, p. 25-32, 2012.

WANG, Yuanhang; DENG, Chao; WU, Jun; WANG, Yingchun; XIONG, Yao. A corrective maintenance scheme for engineering equipment. **Engineering Failure Analysis**, v. 36, p. 269-283, 2014.

WICKRAMASINGHE, G. L. D.; PERERA, Asanka. Effect of total productive maintenance practices on manufacturing performance: Investigation of textile and apparel manufacturing firms. **Journal of Manufacturing Technology Management**, v. 27, n. 5, p. 713-729, 2016.

WIREMAN, Terry. Manutenção Produtiva Total. **Imprensa Industrial Inc.**, 2004.
ZAIONS, Douglas Roberto. Consolidação da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade em uma planta de Celulose e Papel. 2003.

VRIGNAT, Pascal; AGGAB, Toufik; AVILA, Manuel; DUCULTY, Florent; KRATZ, Frédéric. Improvement indicators for total productive maintenance policy. **Control Engineering Practice**, v. 82, p. 86-96, 2019.

XENOS, H. Gerenciando a Manutenção Produtiva. Belo Horizonte: **Editora de Desenvolvimento Gerencial**, 1998.

YANG, Li; ZHAO, Yu; PENG, Rui; MA, Xiaobing. Hybrid preventive maintenance of competing failures under random environment. **Reliability Engineering & System Safety**, v. 174, p. 130-140, 2018.

YANG, Xiuzhen; HE, Yihai; ZHOU, Di; ZHENG, Xin. Mission reliability-centered maintenance approach based on quality stochastic flow network for multistate manufacturing systems. **Eksploracja i Niezawodność**, v. 24, n. 3, 2022.

YANG, Y.; ZHANG, X.; ZHAO, Z.; WANG, G.; HE, Y.; WU, Y.; LI, J. Applying reliability centered maintenance (RCM) to sampling subsystem in continuous emission monitoring system. **IEEE Access**, v. 8, p. 55054-55062, 2020.

YSSAAD, B.; KHIAT, M.; CHAKER, A. Reliability centered maintenance optimization for power distribution systems. **International Journal of Electrical Power & Energy Systems**, v. 55, p. 108-115, 2014.

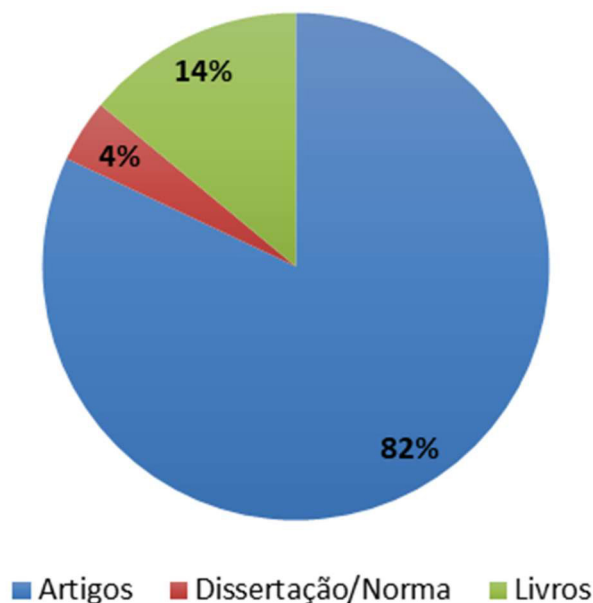
YU, P.; FU, W.; WANG, L.; ZHOU, Z.; WANG, G.; ZHANG, Z. Reliability-centered maintenance for modular multilevel converter in HVDC transmission application. **IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics**, v. 9, n. 3, p. 3166-3176, 2020.

ZHOU, D.; ZHANG, H.; LI, Y.; WENG, S. A dynamic reliability-centered maintenance analysis method for natural gas compressor station based on diagnostic and prognostic technology. **Journal of Engineering for Gas Turbines and Power**, v. 138, n. 6, p. 061601, 2016.

REFERÊNCIAS POR ESTRATO

Figura 22 - Distribuição Bibliográfica por Estrato

Distribuição Bibliográfica por Estrato

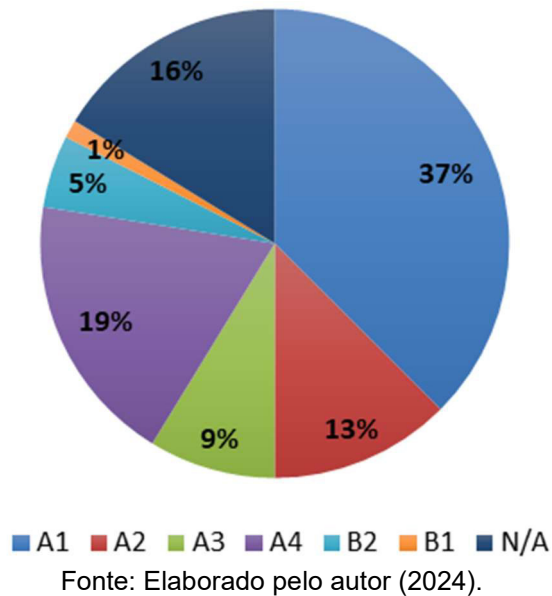


Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

REFERÊNCIAS POR QUALIS

Figura 23 - Distribuição dos Artigos por Qualis

Distribuição dos Artigos por Qualis



REFERÊNCIAS POR DATA DOS ARTIGOS

Figura 24 - Distribuição por Data dos Artigos

Distribuição por Datas dos Artigos

