

APLICAÇÃO DE MCC NA EMPACOTADORA DE CERVEJARIAS: AUMENTO DA CONFIABILIDADE E DESEMPENHO OPERACIONAL

APPLICATION OF MCC IN BREWERY PACKAGING: INCREASING RELIABILITY AND OPERATIONAL PERFORMANCE

Evandro Legramanti¹ 

Andres Eberhard Friedl Ackermann² 

Vinicius da Rosa Pepe³ 

Resumo: A manutenção é um componente essencial na Engenharia de Manutenção, fundamental para garantir a confiabilidade e o bom desempenho dos ativos produtivos. Este estudo de caso, realizado no setor cervejeiro, aborda a aplicação da metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) na gestão de manutenção de uma empacotadora aplicada ao processo produtivo de uma empresa bebidas. A empacotadora foi escolhida devido ao grande número de paradas para manutenção e sua importância estratégica no processo de produção, sendo responsável pelo empacotamento dos fardos de latas. O objetivo principal do estudo foi aplicar a MCC para otimizar a estratégia de manutenção, aumentar a confiabilidade do equipamento, reduzir custos com manutenções corretivas e melhorar a eficiência do processo produtivo. A pesquisa, classificada como aplicada, focou na coleta de dados de desempenho da empacotadora, identificação dos itens críticos e desenvolvimento de um plano de manutenção adequado. Após a implementação da metodologia, observou-se um aumento significativo na produtividade, com uma redução nas falhas e quebras de máquinas. A ineficiência da produção caiu de 2,26% para 1,46%, e a operação da empacotadora aumentou de 134 para 150 pacotes por minuto, representando um ganho de 12%. Com a aplicação das análises 5W2H e FEC, a confiabilidade dos equipamentos foi aprimorada, e a empresa passou a planejar suas atividades de manutenção de forma mais eficiente, garantindo maior estabilidade no processo produtivo e maior lucratividade.

Palavras-chave: Engenharia de Manutenção. Manutenção Centrada em Confiabilidade. Plano de Manutenção. Ciclo PDCA. 5W2H. Empacotadora. Cervejaria.

¹ Bacharel em Engenharia de Produção, Centro Universitário Ritter dos Reis (UNIRITTER), E-mail: evandro.legramanti91@gmail.com.

² Doutor em Engenharia de Produção e Sistemas pela UNISINOS. Professor do Centro Universitário Ritter dos Reis (UNIRITTER). E-mail: andres.ackermann@ulife.com.br.

³ Doutor em Engenharia Mecânica pela UFRGS. Professor do Centro Universitário Ritter dos Reis (UNIRITTER). Pesquisador no Complex Flow Systems Lab do Institute of Earth Sciences. E-mail: vinicius.pepe@ulife.com.br.

Abstract: Maintenance is an essential component of Maintenance Engineering, crucial for ensuring the reliability and optimal performance of productive assets. This case study, conducted in the brewing sector, focuses on the application of Reliability-Centered Maintenance (RCM) methodology in the maintenance management of a packaging machine in Line 1 of the production process. The packaging machine was selected due to its high number of maintenance stoppages and its strategic importance in the production process, as it is responsible for packaging bundles of cans. The main objective of the study was to apply RCM to optimize the maintenance strategy, increase equipment reliability, reduce corrective maintenance costs, and improve production process efficiency. The research, classified as applied, focused on collecting performance data of the packaging machine, identifying critical items, and developing an appropriate maintenance plan. After the methodology was implemented, a significant increase in productivity was observed, with a reduction in machine failures and breakdowns. Production inefficiency decreased from 2.26% to 1.46%, and the packaging machine's operation increased from 134 to 150 packages per minute, representing a 12% gain. By applying 5W2H and FMEA analyses, equipment reliability was enhanced, and the company began planning its maintenance activities more efficiently, ensuring greater stability in the production process and increased profitability.

Keywords: Maintenance Engineering. Reliability Centered Maintenance. Maintenance Plan. PDCA Cycle. 5W2H.

1 INTRODUÇÃO

A busca contínua por produtividade nas indústrias de bebidas torna a manutenção uma função essencial para o funcionamento dos equipamentos. A intensa competição e as rigorosas exigências regulatórias forçam as empresas a manterem altos padrões operacionais, o que torna a excelência operacional uma prioridade. Assim, as organizações investem em tecnologias avançadas e sistemas de gestão para garantir uma posição competitiva sólida (Dos Santos, 2021).

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) é uma abordagem estratégica que permite às indústrias enfrentarem os desafios do mercado. Integrando técnicas como a análise de falhas por meio de FMEA (*Failure Mode and Effects Analysis*), em tradução livre, Análise de Modos de Falha e seus Efeitos, a MCC identifica e prioriza falhas potenciais, ajudando a prever padrões de falha e a recomendar ações corretivas. Essa metodologia contribui para a melhoria da gestão de ativos e a redução de paradas não programadas (Kardec; Nasfic, 2019).

A implementação da MCC resulta em uma gestão de manutenção mais eficiente e proativa, focando na confiabilidade dos equipamentos e na identificação de ativos críticos. Isso aumenta a eficiência do processo produtivo e permite que as equipes priorizem suas atividades de acordo com seu impacto (De Lima; Lopes, 2020). A MCC também ajuda na escolha de estratégias de manutenção adequadas, como as preventivas e preditivas (Silva, 2021).

Este artigo examina os princípios e etapas da MCC, destacando os principais desafios enfrentados pela indústria de bebidas, em um estudo de caso específico em uma empacotadora de uma cervejaria. Este estudo busca demonstrar como a implementação da MCC pode impactar positivamente a disponibilidade e o desempenho dos sistemas de produção, utilizando dados sobre defeitos do equipamento de embalagem analisados entre 2022 e 2023 para evidenciar a eficácia das ferramentas da MCC no desenvolvimento de um plano de manutenção.

A manutenção é um elemento vital no setor cervejeiro, onde a produção contínua e a qualidade do produto são essenciais para a competitividade no mercado. Este setor enfrenta desafios como a necessidade de atender a regulamentações rigorosas, a variabilidade na demanda do consumidor e a

complexidade dos processos produtivos, que envolvem equipamentos sofisticados e interdependentes.

A manutenção inadequada pode resultar em falhas operacionais, comprometendo não apenas a eficiência da produção, mas também a qualidade da cerveja, o que pode levar a perdas financeiras significativas e danos à reputação da marca. Portanto, a adoção de estratégias de manutenção proativas, como a MCC, é fundamental para garantir a operação eficiente dos sistemas e a satisfação do cliente.

Este trabalho é direcionado a engenheiros de manutenção, gestores de produção e profissionais do setor cervejeiro que buscam implementar práticas de manutenção mais eficazes e sustentáveis, visando a melhoria contínua e a excelência operacional.

2 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

2.1 Manutenção Centrada em Confiabilidade

A MCC é uma metodologia que surgiu nas décadas de 1960 e 1970, especialmente na indústria aeronáutica, para enfrentar altas taxas de falhas em aeronaves. Desde então, sua aplicação se expandiu para diversos setores industriais, tornando-se uma abordagem estratégica para otimizar a confiabilidade e o desempenho dos ativos, ao mesmo tempo que reduz custos de manutenção (Zadiran; Maxim, 2023).

Os princípios da MCC incluem práticas essenciais para formalizar ações de manutenção. Isso começa com a identificação de funções e falhas críticas, que busca entender as funções de um ativo e as falhas potenciais. A análise de modos de falha examina como e por quê essas falhas ocorrem, enquanto a análise de consequências avalia seu impacto na operação, segurança e custos, permitindo priorizar as falhas mais severas. Com essas informações, a seleção de estratégias de manutenção determina quando e como realizar manutenções preventivas, preditivas ou corretivas (Alizadeh *et al.*, 2022).

A MCC também exige a definição de intervalos de manutenção para equilibrar a necessidade de manutenção e a prevenção de falhas, além de um monitoramento

e melhoria contínua para ajustar estratégias conforme dados reais. Por fim, o envolvimento da equipe é crucial para garantir uma tomada de decisão eficaz e colaborativa entre diferentes áreas. Outra característica importante da MCC é o envolvimento de equipes multidisciplinares, que assegura que todas as perspectivas sejam consideradas nas decisões de manutenção. Essa colaboração é essencial para garantir que as estratégias escolhidas sejam efetivas e adequadas ao contexto operacional da organização (Al-Harbi *et al.*, 2022).

Apesar de suas muitas vantagens, a aplicação da MCC pode apresentar desafios, como a necessidade de manter processos que não geram altos custos de reparo. No entanto, sua adoção é fundamental na gestão de ativos, contribuindo para a confiabilidade e maximização do retorno sobre o investimento ao longo do ciclo de vida dos equipamentos (Kardec; Lafraia, 2002).

O FMEA é uma ferramenta crucial que avalia possíveis falhas e seus impactos, permitindo a redução da frequência de problemas e o aumento da confiabilidade dos processos (Slack, 2019). O principal objetivo do FMEA é avaliar os processos executados, focando na redução de custos associados a ações corretivas e no aumento da confiabilidade. Essa metodologia é amplamente utilizada na análise de processos de produção, ajudando especialistas a detectar erros e entender suas causas subjacentes. A MCC pode ser aplicada em diversos setores, como aviação e manufatura, e pode ser combinada com outras ferramentas para resultados mais eficazes (Dos Santos, 2021).

Embora a MCC traga benefícios significativos, sua implementação na indústria de bebidas pode enfrentar resistência cultural entre os funcionários. A conscientização dos colaboradores sobre os objetivos da metodologia e a participação ativa deles são fundamentais para o sucesso da implementação. Além disso, a aplicação da MCC pode exigir investimentos em recursos financeiros e tecnológicos, considerados essenciais para a melhoria da eficiência dos processos produtivos (Zanetti; Fernandes, 2019).

A adoção da MCC abre oportunidades para reduzir gastos com manutenção e aumentar a eficiência operacional, além de melhorar a qualidade dos produtos. A MCC tem sido amplamente utilizada em diferentes contextos industriais para aprimorar a confiabilidade e eficiência da manutenção, abrangendo todas as áreas. A análise de riscos, é realizada em etapas de identificação e avaliação dos riscos

associados a falhas de equipamentos. Essa análise permite priorizar os serviços de manutenção e definir estratégias eficazes de reparo ou substituição, resultando em uma gestão de manutenção mais eficiente e na maximização da confiabilidade dos equipamentos (Rezende, 2019).

As tecnologias de monitoramento e diagnóstico de falhas estão se tornando cada vez mais comuns na indústria, visando melhorar a eficiência dos processos produtivos e reduzir os custos de manutenção. Esses recursos são aliados importantes da metodologia MCC, pois possibilitam a detecção antecipada de falhas nos equipamentos, permitindo uma abordagem preventiva na manutenção (Moraes, 2015). Entre as tecnologias de monitoramento mais empregadas na indústria, destacam-se o monitoramento de vibração, temperatura e corrente elétrica. Esses métodos ajudam a identificar anomalias nos equipamentos, como desalinhamentos, desgaste de rolamentos e falhas em engrenagens, entre outros problemas (Kardec; Nascif, 2019).

A aplicação das tecnologias de monitoramento e diagnóstico de falhas pode resultar em uma redução de até 70% no tempo de parada dos equipamentos, aumentar a disponibilidade em até 90% e diminuir os custos de manutenção em até 30%. Além disso, possibilita que a manutenção seja realizada de maneira mais eficiente, reduzindo intervenções desnecessárias e, conseqüentemente, os custos relacionados à manutenção corretiva (Nakagawa, 2017).

Outra tecnologia eficaz na indústria é a análise de dados em tempo real. Essa abordagem permite que os dados gerados pelos equipamentos sejam avaliados instantaneamente, o que facilita a identificação precoce de falhas e a tomada de decisões mais precisas em relação à manutenção (Ribeiro *et al.*, 2016).

2.2 Indicadores de Desempenho

A eficácia de um sistema de controle de manutenção depende da disponibilidade de informações operacionais, como indicadores que ajudam a identificar lacunas e problemas potenciais. A taxa de avaria (λ), ou taxa de falhas, é um indicador fundamental que representa a frequência de falhas em sistemas e

equipamentos ao longo do tempo, sendo crucial para a análise de confiabilidade e disponibilidade (Henrique, 2023).

A taxa de recuperação (μ) é uma métrica que representa a frequência com que um sistema é capaz de se recuperar de falhas. Em outras palavras, ela indica a capacidade do sistema de retornar ao seu estado operacional após uma falha ter ocorrido. A relação entre a taxa de avaria (λ), que mede a frequência de falhas, e a taxa de recuperação (μ) é fundamental para entender a estabilidade de um sistema. Se a taxa de avaria (λ) é maior que a taxa de recuperação (μ), isso significa que o sistema está falhando mais rapidamente do que consegue se recuperar, levando a uma instabilidade operacional. Por outro lado, se a taxa de recuperação é maior que a taxa de avaria, o sistema é considerado estável, pois ele consegue se recuperar das falhas de forma eficaz.

Portanto, a taxa de recuperação é crucial para a análise de confiabilidade e disponibilidade de sistemas, pois ajuda a determinar a eficiência das intervenções de manutenção e a capacidade do sistema de operar de forma contínua e confiável (Cerveira; Sellitto, 2015).

O Tempo Médio Entre Falhas (MTBF) é uma métrica fundamental na confiabilidade e manutenção de sistemas, refletindo o tempo médio que um equipamento opera antes de falhar. Expresso em unidades de tempo, como horas ou dias, quanto maior o MTBF, maior a confiabilidade do sistema, indicando menos falhas, representado pela equação 1 (Biehl; Sellitto, 2015).

$$MTBF = T/N \tag{1}$$

onde, MTBF é o tempo médio entre falhas, T é o somatório das falhas de trabalho em bom funcionamento e N é o número de paradas para manutenção corretiva.

O indicador MTBF ajuda as equipes de manutenção a programarem inspeções e reparos, minimizando o tempo de inatividade e otimizando os custos de manutenção. Embora útil, o MTBF não deve ser a única métrica considerada para avaliar a confiabilidade, pois não considera a natureza das falhas nem eventos imprevisíveis. Outros fatores, como o Tempo Médio para Reparo (MTTR), também são importantes na análise da confiabilidade de um sistema (Henrique, 2023). O MTTR é uma métrica essencial que mede o tempo médio necessário para restaurar

um sistema após uma falha. Ele é frequentemente utilizado em conjunto com o MTBF para oferecer uma visão completa da confiabilidade de um sistema. Um MTTR baixo é crucial em setores como manufatura e tecnologia da informação (TI), pois minimiza o tempo de inatividade e garante a continuidade das operações. Para calcular o MTTR, é necessário registrar o tempo total desde a detecção da falha até a completa restauração do sistema, incluindo reparo, diagnóstico e testes (Biehl; Sellitto, 2015). A equação 2 demonstra o cálculo do tempo médio para reparo.

$$MTTR = T_p / N \quad (2)$$

onde, MTTR é o tempo médio para reparo, T_p é o tempo total de paradas para reparo e N é o número de falhas ou número de paradas para manutenção.

Melhorar o MTTR envolve planejamento preventivo, manutenção preditiva e gestão eficaz de estoque de peças de reposição. Quando mantido baixo, o MTTR contribui para a satisfação do cliente e a redução de custos operacionais, refletindo a eficiência do processo de manutenção (Biehl; Sellitto, 2015).

A disponibilidade (D) de um ativo é a capacidade de estar operacional quando necessário, sendo fundamental para o sucesso em diversos setores, como manufatura e tecnologia da informação. Sua gestão envolve práticas de manutenção corretiva (reparação após falhas), preventiva (inspeções regulares) e preditiva (coleta de dados em tempo real). A disponibilidade impacta diretamente a produtividade, pois a indisponibilidade de ativos essenciais pode causar paralisações e perdas financeiras, afetando a reputação da empresa e a satisfação do cliente. Também está ligada à gestão de estoque, onde manter peças de reposição adequadas é crucial para reduzir o tempo de inatividade (Santos *et al.*, 2022). A disponibilidade é medida em porcentagem e calculada pela equação 3 (Slack, 2019).

$$D = (T_{\text{útil}} - T_{\text{parada}}) / T_{\text{útil}} \quad (3)$$

onde, D é disponibilidade do ativo, $T_{\text{útil}}$ é o tempo útil de trabalho, T_{parada} é o tempo de paradas não programadas.

O Índice de Eficiência Global (OEE - *Overall Equipment Effectiveness*) é uma métrica essencial na gestão da produção e manutenção industrial, utilizada para avaliar a eficiência de equipamentos em fábricas sendo definido por:

$$OEE = D + D_E + Q \quad (4)$$

onde, *OEE* é O índice de eficiência global, *D* é disponibilidade do ativo, D_E é o desempenho e *Q* a qualidade.

O resultado do *OEE*, varia de 0 a 100%, onde 100% indicam eficiência máxima. O *OEE* é fundamental para identificar gargalos na produção, programar manutenção preventiva e melhorar a qualidade. Apesar de sua importância, muitas indústrias ainda não reconhecem totalmente os benefícios dessa ferramenta estratégica, mas esforços estão sendo feitos para integrar suas práticas na gestão do tempo e análise de perdas de produção (Nunes; Sellitto, 2016).

O *FMEA* é uma metodologia que avalia possíveis falhas e seus impactos em ambientes de produção, visando reduzir a frequência de falhas e melhorar a qualidade dos produtos e processos. Seu principal objetivo é diminuir os custos relacionados a ações corretivas e aumentar a confiabilidade (Slack, 2019). O *FMEA* é uma técnica analítica que permite a detecção de erros e identificação das causas subjacentes. Implementado por uma equipe multidisciplinar, ele analisa detalhadamente cada componente ou etapa, considerando modos de falha, causas e efeitos. Essa análise pode ser aplicada em diversas fases do desenvolvimento, desde a concepção até a produção em larga escala, tornando-se uma ferramenta versátil para a melhoria contínua da qualidade e confiabilidade ao longo da vida útil de produtos e processos (Kardec; Nascif, 2019).

O método dos 5 Porquês é uma técnica que busca identificar a causa fundamental de um problema ao questionar repetidamente o motivo de sua ocorrência. A ideia é que, ao conectar cada resposta à causa anterior, chega-se à raiz do problema (Do Prado *et al.*, 2021). Essa abordagem, embora simples, exige atenção e um conhecimento profundo do tema para se chegar à solução correta. O objetivo é descobrir a causa subjacente de um problema, sempre seguindo a pergunta "por quê?" (Da Rocha *et al.*, 2022).

2.3 Ciclo PDCA

O ciclo *PDCA* é um método essencial para garantir a melhoria contínua de processos e resultados em um negócio. Ele proporciona uma abordagem sistemática para identificar problemas, desenvolver soluções e monitorar resultados, permitindo

que os gestores tomem decisões mais efetivas baseadas em dados e mensuração (Slack, 2019).

Na etapa de planejar, são definidos os objetivos do processo e os métodos necessários para sua implementação. A fase de fazer envolve a execução das ações por uma equipe treinada. Apurar os dados coletados e compará-los com o plano original para avaliar o sucesso alcançado é o fundamento da etapa checar. Por fim, na fase de agir, são implementadas ações corretivas com base nas conclusões da análise anterior, reiniciando o ciclo se os resultados desejados não forem atingidos. É um processo contínuo e iterativo, já que após a fase de agir, a equipe retorna à fase de planejar para estabelecer novos objetivos, permitindo um refinamento constante dos processos e a busca por maior qualidade e eficiência ao longo do tempo (Henrique, 2023). Além disso, o ciclo PDCA estimula a participação de toda a equipe, criando um ambiente colaborativo onde todos contribuem para a identificação de problemas e soluções. Essa abordagem não apenas melhora a eficácia dos processos, mas também promove o desenvolvimento e o engajamento dos funcionários (Moreira *et al.*, 2021).

2.4 Metodologia 5W2H

A metodologia 5W2H é uma ferramenta eficaz na gestão de projetos e resolução de problemas, fornecendo um guia estruturado para a tomada de decisões e definição de planos de ação (Okada *et al.*, 2022). O acrônimo representa sete perguntas fundamentais em inglês: *What* (O que?), *Why* (Por quê?), *Where* (Onde?), *When* (Quando?), *Who* (Quem?), *How* (Como?) e *How much* (Quanto?). Essa abordagem ajuda a coletar e analisar informações essenciais antes de iniciar um projeto (Do Prado *et al.*, 2021).

A ferramenta 5W2H é composta por etapas que visam compor planos de ação de maneira rápida e eficiente. Ela é flexível e se aplica em diversos cenários, como gestão de recursos humanos e desenvolvimento de produtos. Devido à sua simplicidade e objetividade, o 5W2H é amplamente utilizado em diversas áreas de gestão, como gerenciamento de projetos e planejamento estratégico (Da Rocha *et al.*, 2022).

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O estudo de caso tem diferentes objetivos, tais como a identificação de situações do mundo real, a preservação do objeto de estudo, a descrição de contextos de pesquisa e o desenvolvimento de teorias e hipóteses. A teoria ajuda a explicar as variáveis causais de fenômenos em um contexto complexo. Neste sentido, este trabalho é classificado como estudo de caso de natureza aplicada, pois busca adquirir conhecimentos que serão utilizados em uma situação específica e empírica. Este estudo foca na verificação pontual do equipamento para prever possíveis problemas que poderiam resultar em custos elevados com manutenções corretivas (Gil, 2022).

Este estudo começou pela definição clara do tema da pesquisa. Foi apoiado em livros e artigos acadêmicos que foram pesquisados na base de dados google acadêmico e que serviram de base teórica e metodológica. A coleta de dados foi realizada por meio de levantamento de campo para observar fenômenos relevantes. Foram utilizadas ferramentas de qualidade para identificar e resolver problemas, com o objetivo de implementar e avaliar abordagens modernas de gestão de manutenção com enfoque na MCC (Miguel, 2018).

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 Equipamento Objeto de Estudo

Este trabalho visa implementar e analisar métodos modernos de gestão de manutenção, com foco na MCC. A proposta busca otimizar rotinas de manutenção na empacotadora térmica, fabricada na Itália, visando melhorias em desempenho, redução de custos, aumento da segurança e ampliação da vida útil dos equipamentos, contribuindo para a qualidade produtiva.

A empacotadora a qual é aplicada o estudo é uma máquina automática que envolve latas em filmes termo retráteis, formando pacotes de 6, 12 ou 18 latas. Ela opera com um Controlador Lógico Programável (CLP) e uma Interface Homem

Máquina (IHM), que permitem monitoramento e ajustes em tempo real, assegurando eficiência no processo.

Equipado com um sistema de solda por resistência e corte acionado por servo motor, a empacotadora apresenta uma complexidade que justifica um estudo aprofundado. Essa análise integra conhecimentos de processos, melhoria contínua, custos e segurança, fundamentais para garantir o desempenho e a confiabilidade do equipamento.

4.2 Análise das Falhas da Empacotadora

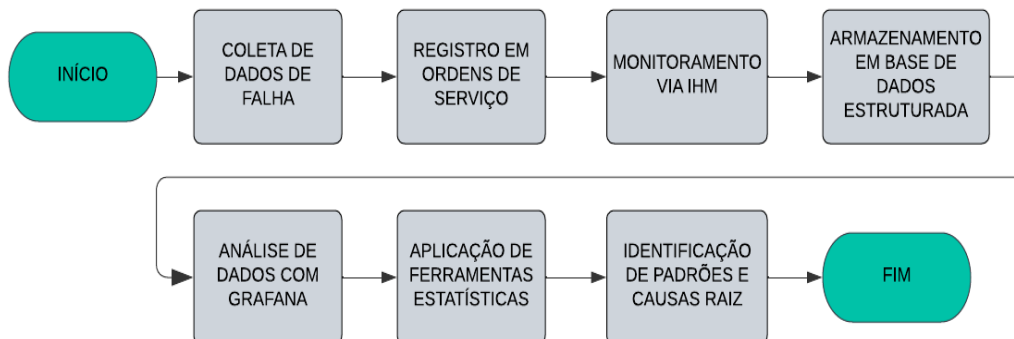
A análise de problemas de manutenção na empacotadora apresenta desafios significativos que podem impactar a eficiência da linha de produção. A coleta de informações sobre falhas é frequentemente baseada em ordens de serviço que não são sempre precisas ou bem documentadas. Essa defasagem na documentação representa um dos maiores obstáculos para a implementação da metodologia de MCC. Portanto, é crucial estabelecer uma base de dados estruturada e confiável, além de manter registros históricos de manutenção atualizados e detalhados, que devem ser devidamente documentados após a realização de qualquer atividade de manutenção.

O processo de coleta de dados de falhas na empacotadora foi realizado de forma sistemática e estruturada, conforme ilustra a Figura 1, visando garantir a precisão e a confiabilidade das informações. Inicialmente, foram utilizadas ordens de serviço para registrar cada ocorrência de falha, incluindo detalhes como a natureza da falha, o tempo de inatividade e as ações corretivas realizadas. Para melhorar a precisão dos dados, foi implementado um sistema de monitoramento em tempo real, que capturou informações diretamente da Interface Homem-Máquina (IHM) dos equipamentos.

Os dados coletados foram armazenados em uma base de dados estruturada, permitindo fácil acesso e análise. Para a análise dos dados, foram utilizados *softwares* como o Grafana, que possibilitou a visualização das informações em gráficos e tabelas, facilitando a identificação de padrões e tendências nas falhas. Além disso, ferramentas estatísticas foram empregadas para realizar análises mais

profundas, como a identificação de causas raiz e a aplicação da técnica dos 5 Porquês.

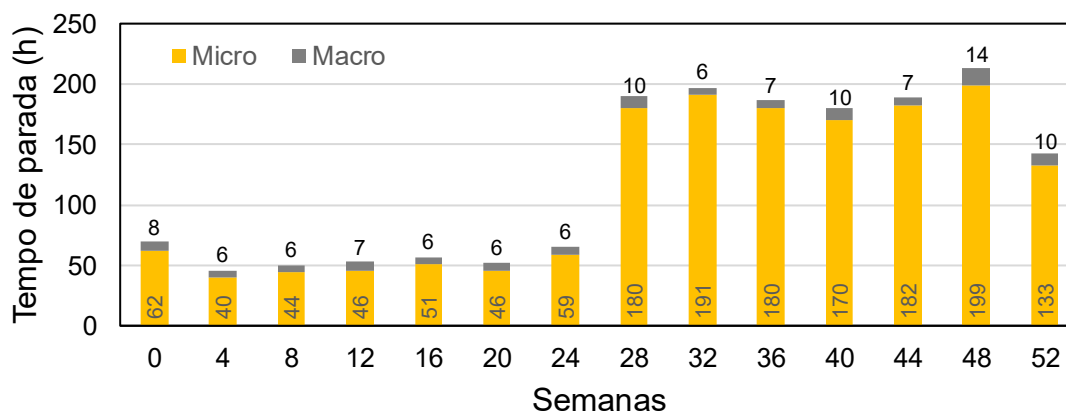
Figura 1 – Fluxograma de coleta de dados



Fonte: Elaborada pelos autores.

A pesquisa abrangeu um período de 52 semanas, iniciando no primeiro semestre de 2022, e a quantidade de horas paradas da empacotadora é apresentada na Figura 2, que mostra a quantidade de paradas por mês divididas em micro (pequenas paradas de um equipamento) e macro (grandes paradas de um equipamento, paradas essas acima de 10 min), permitindo uma avaliação visual da performance do equipamento ao longo do tempo.

Figura 2 – Quantidade de horas paradas da empacotadora em 52 semanas

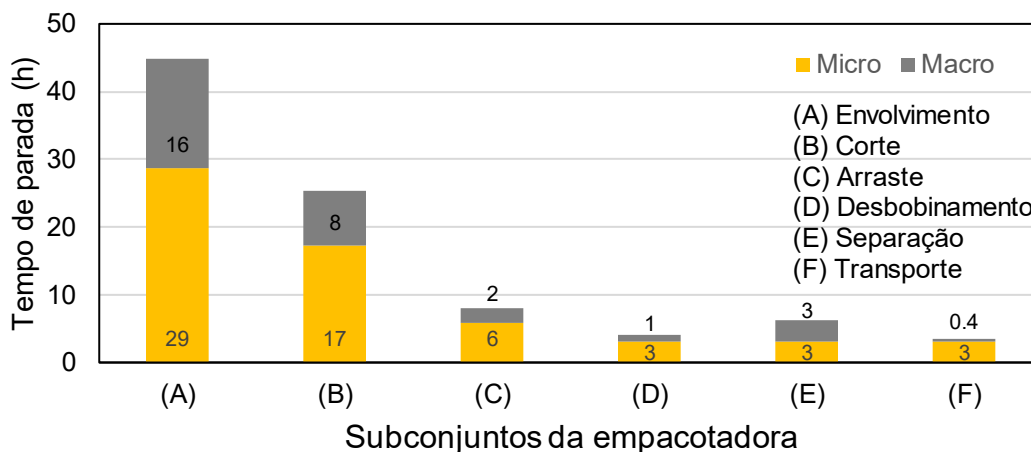


Fonte: Elaborada pelos autores.

Além de analisar as paradas totais, as ocorrências foram classificadas por subconjuntos da empacotadora, conforme mostrado na Figura 3, que mostra os

subconjuntos que apresentaram as maiores interrupções, destacando os sistemas de envolvimento e de corte como os principais responsáveis pelas paradas significativas.

Figura 3 – Quantidade de paradas por subconjunto



Fonte: Elaborada pelos autores.

As deficiências identificadas no sistema de corte incluem desgaste das lâminas, ajustes incorretos, falta de tensionamento adequado do filme e desgaste das correias transportadoras. No sistema de envolvimento, as falhas frequentemente relatadas foram sensores defeituosos e ajustes inadequados de tensão.

Para compreender melhor as falhas, foi aplicada a técnica dos 5 Porquês, que ajudou a identificar as causas raiz dos problemas no sistema de corte. As falhas identificadas geraram a necessidade de ações corretivas, que incluem a criação de um plano de manutenção preventiva, definindo intervalos de manutenção, procedimentos a serem seguidos e responsabilidades dos funcionários. A formação contínua dos operadores e a implementação de um sistema de monitoramento regular foram propostas para garantir que o plano de manutenção seja seguido e que o sistema de corte opere de forma eficaz. A análise de falhas no sistema de envolvimento também foi realizada utilizando o método dos 5 Porquês, e os resultados dessa investigação estão disponíveis no Quadro 1.

Quadro 1 – Análise de 5 Porquês no subsistema de envolvimento

ID	1º por quê	2º por quê	3º por quê	4º por quê	5º por quê	Ação
1	Falha no sistema de envolvimento	Pacote mal formado	Elipse do pacote aberta	Filme com envolvimento fora da posição	Altura das correntes dos varões de envolvimento desalinhadas	Criar padrão de posicionamento dos ajustes das alturas das correntes dos varões
2	Falha no sistema de envolvimento	Latas caídas sobre os tapetes de envolvimento	Varão de envolvimento puxando filme fora da posição	Filme atrasado na entrega da mesa de envolvimento	Correias de vácuo atrasando entrega do filme devido ajuste de tensão nas correias de vácuo	Revisar plano de manutenção das correias de vácuo
3	Falha no sistema de envolvimento	Filme dobrado na mesa de envolvimento	Faltando entrega de filme na mesa de envolvimento	Sistema de ar que auxilia o transpasse do filme entre transporte fora da posição	Parafuso solto no sistema de ar de auxílio do transpasse do filme.	Criar plano de inspeção e ajuste do sistema de transpasse do filme entre transportes
4	Falha no sistema de envolvimento	Latas tombadas sobre mesa de envolvimento	Tapete da mesa de envolvimento deslocado	Rolamento do rolo do tapete danificado	Desgaste no rolamento do rolo do tapete	Revisar plano de inspeção quanto a rolamentos dos rolos
5	Falha no sistema de envolvimento	Alarme de lata tombada	Sensor de lata com sujeidade no foco	Falha no 5S do equipamento	Operador sem treinamento de limpeza e inspeção	Revisar <i>check list</i> e treinamento da operação

Fonte: Elaborado pelos autores.

O Quadro 1 apresenta uma visão detalhada das causas subjacentes, permitindo uma compreensão aprofundada das falhas e a formulação de estratégias para mitigá-las. Para evitar problemas futuros, a implementação de um plano de manutenção preventiva regular é fundamental, incluindo inspeções periódicas, lubrificação adequada e substituição de peças desgastadas.

A análise FEC (Frequência, Severidade e Consequência) foi utilizada para classificar os componentes da empacotadora em termos de criticidade. Essa ferramenta ajuda a identificar quais ativos merecem atenção especial em termos de manutenção e segurança. A classificação foi estabelecida com base no histórico de ocorrências e na operação do equipamento, conforme apresentado nos Quadros 2 a 4. Os índices de ocorrência, severidade e detecção foram analisados em conjunto, permitindo a criação de um quadro detalhado de priorização para as falhas. Após a divisão do processo, é fundamental determinar os critérios da FEC e seus índices correspondentes, conforme apresentado no Quadro 2.

Quadro 2 – Índice de Ocorrência

Nota de ocorrência	Faixa de ocorrência	Descrição da ocorrência
1 a 3	Ocorrência baixa	Eventos com baixa probabilidade de ocorrência. Raramente ocorrem e são considerados altamente improváveis.
4 a 6	Ocorrência moderada	Eventos com probabilidade moderada de ocorrência. Podem ocorrer em situações específicas, mas não são frequentes.
7 a 8	Ocorrência alta	Eventos com alta probabilidade de ocorrência. São relativamente comuns e prováveis de ocorrer regularmente.
9 a 10	Ocorrência muito alta	Eventos com probabilidade muito alta de ocorrência. São eventos quase certos e ocorrem com frequência.

Fonte: Elaborado pelos autores.

No Quadro 3, a severidade é representada pelo valor atribuído aos efeitos mais significativos para um determinado modo de falha. A severidade é variações de forma relativa, dentro do contexto do FEC individual.

Quadro 3 – Índice de Severidade

Nota de severidade	Faixa de gravidade	Descrição da ocorrência
1 a 3	Severidade baixa	Eventos de baixa gravidade, com impacto mínimo nas operações, segurança, meio ambiente e saúde dos trabalhadores.
4 a 6	Severidade moderada	Eventos moderadamente graves, com impacto significativo, geralmente gerenciáveis e sem potencial de causar danos graves.
7 a 8	Severidade alta	Eventos de alta gravidade, capazes de causar danos às operações, segurança, meio ambiente e saúde dos trabalhadores, exigindo atenção imediata e medidas mitigatórias.
9 a 10	Severidade muito alta	Eventos extremamente graves e críticos, representando uma ameaça severa para as operações, segurança, meio ambiente e saúde dos trabalhadores, exigindo ação imediata e priorização máxima.

Fonte: Elaborado pelos autores.

O Quadro 4 distribuiu a seguinte classificação para a detecção, que varia de 1 a 10, representando a probabilidade de identificar a falha antecipadamente.

Quadro 4 – Índice de Detecção

Nota de detecção	Descrição da ocorrência
1	Detecção quase impossível, sem inspeção ou sistema de alerta em vigor.
2	A detecção muito arriscada, requer uma inspeção muito minuciosa e rara.
3	A detecção de probabilidade, requer uma inspeção específica em condições específicas.
4	Detecção relativamente atraente, possível detecção através da inspeção de rotina.
5	Detecção moderadamente moderada, detectável em inspeção regulares.
6	Detecção moderada, provavelmente notada na inspeção de rotina.
7	Detecção moderadamente voluntária, geralmente notada durante as inspeções padrão.
8	Detecção provável, facilmente identificada por inspeções regulares.
9	Detecção muito provável, notada quase automaticamente durante as inspeções regulares.
10	Detecção quase certa, difícil de não ser notada em qualquer inspeção de rotina.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão. Paranaguá, PR, v.10, n.2, 2025.

A partir dessa análise, os componentes críticos foram classificados, e os que apresentaram alta frequência e severidade foram identificados como prioritários para ações de manutenção. O Quadro 5 apresenta a estratégia de análise FEC, que compila as reuniões e as discussões com a equipe de manutenção, produção e segurança.

Quadro 5 – Estratégia análise FEC

Sistema ou Conjunto	Subconjunto ou Componente	Função do Componente (verbo+objeto+parâmetro de desempenho)	Falha Funcional (negação da função)	Severidade	Ocorrência	Deteção	RPN
Painel Elétrico	ACOPOS 1090 (servo drive SVDV)	Controle de processo e posição do conjunto	Não controle de processo e posição do conjunto	6	3	3	54
Painel Elétrico	Painel de força e comando (PNC512033)	Alimentação de energia elétrica para funcionamento dos periféricos	Não alimentação de energia elétrica para funcionamento dos periféricos	6	3	3	54
Desenrola e corta filme	Rolamento 208	Diminuir o atrito do sistema de tração de corte	Não diminuir o atrito do sistema de tração de corte	8	5	5	200
Desenrola e corta filme	Lâmina de corte do filme	Realizar o corte do filme	Não realizar o corte do filme	7	5	5	175
Desenrola e corta filme	Correias de vácuo	Transportar o filme cortado na região de envolvimento	Não transportar o filme cortado na região de envolvimento	5	5	3	75
Desenrola e corta filme	Rolo ESP 3 (Rolos do bailarino)	Tensionar filme para auxiliar o corte	Não tensionar filme para auxiliar o corte	4	3	3	36
Desenrola e corta filme	Sistema de corte	Realizar o corte do filme	Não realizar o corte do filme	4	3	3	36
Zona de envolvimento	Tapete de transferência 01	Transportar latas do sistema de envolvimento até o forno	Não transportar latas do sistema de envolvimento até o forno	5	5	3	75
Zona de envolvimento	Tapete de transferência 02	Transportar latas do sistema de envolvimento até o forno	Não transportar latas do sistema de envolvimento até o forno	5	3	1	15
Zona de envolvimento	Correntes barras de envolvimento	Promover o movimento ao conjunto designado	Não promover o movimento ao conjunto designado	5	3	3	45
Zona de envolvimento	Barras de envolvimento	Envolver filme entorno do pacote	Não envolver filme entorno do pacote	5	3	3	45
Zona de envolvimento	Sensores foto elétricos refletivos	Enviar sinal de presença de pacote durante o envolvimento	Não enviar sinal de presença de pacote durante o envolvimento	6	1	3	18
Zona de envolvimento	Barras de envolvimento	Envolver filme entorno do pacote	Não envolver filme entorno do pacote	5	1	3	15
Lubrificação	Bomba de lubrificação	Lubrificar componentes mecânicos	Não lubrificar componentes mecânicos	7	1	3	21

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com base nessa análise, os componentes críticos foram classificados, e os que apresentaram alta frequência e severidade foram identificados como prioritários para ações de manutenção. O Quadro 6 ilustra essa estratégia de criticidade, mostrando a relação entre os componentes e suas respectivas classificações. As ações de manutenção preventiva *offline*, que envolvem inspeções e trocas programadas de peças, são essenciais para evitar falhas inesperadas e prolongar a vida útil dos equipamentos.

Quadro 6 – Análise de criticidade da empacotadora

RPN \ Criticidade	maior que 160	entre 160 e 75	entre 75 e 40	menor que 40
A	(I) (II)	(II) (III) (IV)	(IV) (V)	(VI)
B	(II) (III) (IV)	(II) (IV)	(VI) (V)	(VI)
C	(III) (IV) (V)	(IV) (V)	(VI)	(VI)

(I) PDM *full online* / monitoramento *online* / inteligência artificial
 (II) Manutenção preditiva *offline*
 (III) Manutenção preventiva / troca mandatória (base tempo ou base horímetro)
 (IV) Inspeção quantitativa (parâmetros)
 (V) Inspeção de rota (visual / auditiva / eventos de qualidade / teste de segurança)
 (VI) *Checklist* operacional

Fonte: Elaborada pelos autores.

A implementação da análise FEC de criticidade, aliada à metodologia de MCC, é uma estratégia eficaz para melhorar a confiabilidade da empacotadora. O contínuo monitoramento e registro das ações de manutenção, juntamente com o treinamento adequado dos operadores, são essenciais para garantir a eficiência da produção e a qualidade das embalagens. Essa abordagem não apenas melhora a operação da empacotadora, mas também contribui para um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A proposta de melhoria na manutenção da empacotadora da cervejaria começou com reuniões com os membros da equipe de manutenção, que incluíam

quatro técnicos eletromecânicos e o supervisor. A partir dos relatos das reuniões, foram identificadas ações para abordar as falhas detectadas. Durante as semanas 9 a 18 de 2022, um plano de ação foi executado, visando aumentar a confiabilidade e eficiência do processo produtivo, utilizando ferramentas como o Grafana, análise FMEA e a técnica 5 Porquês.

Os resultados obtidos com a aplicação da MCC na empacotadora de cervejas têm implicações significativas para a indústria de bebidas como um todo. A busca por eficiência operacional e a redução de custos são desafios constantes enfrentados por empresas do setor, e as lições aprendidas neste estudo podem ser aplicadas em diversas áreas da produção de bebidas.

A melhoria na produtividade da empacotadora, que passou de 134 para 150 pacotes por minuto, demonstra que a adoção de práticas de manutenção proativas pode resultar em ganhos substanciais de eficiência. Para a indústria de bebidas, onde a demanda pode ser volátil e a concorrência acirrada, a capacidade de aumentar a produção sem comprometer a qualidade é um importante diferencial competitivo. A implementação de estratégias de manutenção que minimizem o tempo de inatividade pode, portanto, ser vista como uma prioridade para as empresas que buscam se destacar no mercado.

Desta forma, as análises realizadas com a metodologia 5W2H identificaram diversas falhas no sistema de envolvimento da empacotadora, auxiliando para o incremento de produtividade, como a tensão inadequada das correias e parafusos soltos, que afetavam a entrega do filme e o alinhamento dos pacotes. Para resolver esses problemas, foram elaborados planos de inspeção e ajustes, incluindo a troca de correias e rolamentos, com custos variando de R\$ 166,00 a R\$ 76.456,00. Além disso, foi implementado um treinamento para operadores a fim de melhorar a limpeza e a inspeção do sistema, seguindo os conceitos básicos da manutenção autônoma. O Quadro 7, que detalha essas ações, foi fundamental para monitorar o progresso das intervenções.

Quadro 7 – Plano de ação 5W2H do sistema de envolvimento

O que	Prazo	Quem	Onde	Porque	Como	Quanto (R\$)
Varão de envolvimento está puxando o filme fora da posição	08/04/2023	Técnico Mecânico	Sist. Env. Empacot.	Correias de vácuo estão atrasando a entrega de filme devido ao ajuste de tensão das correias de vácuo	Revisão do plano de inspeção das correias e criado troca mandatória das correias e rolamentos	76.456,00
Falta da entrega do filme para a mesa de envolvimento	13/04/2023	Técnico Eletromecânico	Sist. Env. Empacot.	Parafuso solto do sistema de ar de auxílio ao transpasse do filme	Criado um plano de inspeção e ajuste do sistema de transpasse do filme entre transportadores	406,00
O tapete da mesa de envolvimento está deslocado	18/04/2023	Técnico Mecânico	Sist. Env. Empacot.	Desgaste dos rolamentos dos rolos de tração do tapete	Revisado plano de inspeção quanto aos rolamentos dos rolos e tempo de troca	4.704,00
Sensor de lata tombada com sujidade no foco	28/04/2024	Operação	Sist. Env. Empacot.	Operador sem treinamento de limpeza e inspeção	Revisado o plano de inspeção (<i>check list</i>) e treinamento de operação	166,00
Elipse do pacote está aberta	03/05/2024	Técnico Mecânico	Sist. Env. Empacot.	Altura das correntes dos varões está desalinhada	Criado padrão de posicionamento para o ajuste da altura das correntes dos varões de envolvimento	244,00

Fonte: Elaborada pelos autores.

As falhas no sistema de envolvimento foram abordadas por meio de ações como a troca de componentes desgastados e ajustes nos sistemas de operação. Cada intervenção foi acompanhada de prazos e custos estimados, o que permitiu uma gestão eficaz dos recursos. Após a análise dos subconjuntos críticos da empacotadora, o sistema de envolvimento foi classificado como prioritário para atividades preventivas, dada a falta de um plano de manutenção adequado segundo a metodologia MCC. A implementação desse plano teve como objetivo aumentar o MTBF do equipamento, identificando modos de falha e definindo ações de melhoria.

O plano de manutenção documenta as frequências e intervalos para as atividades de manutenção, visando a redução de custos e a minimização de falhas. A avaliação da criticidade dos ativos, detalhada no Quadro 8, permitiu classificar

componentes em níveis de importância, onde os de criticidade A requerem atenção máxima. A manutenção preventiva, realizada em intervalos programados, é crucial para evitar desgastes e garantir a continuidade dos processos produtivos.

Quadro 8 – Procedimentos após implantação MCC

Criticidade	Sistema ou Conjunto	Descrição breve do plano
B	Sistema de acionamento cilindros	Inspecionar atuadores dos agitadores, válvulas pneumáticas
A	Lâmina de corte do filme	Substituir faca e inspecionar contra faca
A	Tapete de transferência	Inspecionar tapete, rolamentos e engrenagens
B	Tapete de transferência	Trocar tapete branco e rolamentos
B	Cabo de reinício M12x4	Inspeção de rota da rede Ethernet
A	ACOPOS 1090 (servo drive SVDV001)	Inspeção preventiva em servo drive
B	Moto redutor	Manutenção preventiva de motores
A	Painel de força e comando (PNC020)	Manutenção preventiva no circuito elétrico
A	Correntes barras de envolvimento	Inspecionar correntes do sistema de envolvimento
A	Correias de vácuo	Trocar correia de vácuo e rolamentos

Fonte: Elaborada pelos autores.

Após a implementação do plano de MCC entre 2022 e 2023, ocorreu uma redução significativa nas quebras de máquinas e falhas na produção, resultando de uma ineficiência de 2,26% da produtividade em 2022 para 1,46% em 2023, obtendo uma melhoria de 11,94% na produtividade da linha de embalagem.

Essa melhoria não apenas trouxe ganhos financeiros, mas também aumentou a confiabilidade do processo produtivo. Apesar dos desafios enfrentados, a gestão da manutenção estratégica mostrou-se essencial para garantir a competitividade da empresa, enfatizando a importância do planejamento e reavaliação constante dos processos críticos. A adoção da MCC promoveu a priorização dos sistemas com base na criticidade. O processo de avaliação de riscos e a priorização de subconjuntos permitiram um direcionamento eficaz dos esforços de manutenção, resultando em um plano que aumentou o MTBF do equipamento após a implementação do MCC, entre o período de março a novembro de 2023.

A implementação do plano de manutenção resultou em uma redução significativa de 0,8% da ineficiência da produtividade nas paradas não programadas,

aumentando a eficiência operacional e a competitividade da empresa. Os resultados positivos demonstram a relevância da manutenção estratégica e a necessidade de um planejamento contínuo, que não só atenda às demandas atuais, mas também prepara a empresa para os desafios futuros.

Os resultados indicaram uma redução significativa nos custos associados a manutenções corretivas e paradas não programadas. Para a indústria de bebidas, onde as margens de lucro podem ser estreitas, a redução de custos operacionais é vital. A adoção de um plano de manutenção preventiva e a utilização de ferramentas de monitoramento, como o Grafana, podem ajudar as empresas a identificar e corrigir problemas antes que se tornem dispendiosos, promovendo uma gestão financeira mais saudável.

A implementação da MCC e a formação contínua dos operadores promovem uma cultura de melhoria contínua dentro da organização. Para a indústria de bebidas, onde a inovação e a adaptação são fundamentais para o sucesso, cultivar uma mentalidade de melhoria contínua pode levar a novas ideias e práticas que impulsionem ainda mais a eficiência e a qualidade. A capacitação dos funcionários e o envolvimento da equipe nas decisões de manutenção são aspectos que podem ser replicados em outras áreas da produção.

As implicações dos resultados deste estudo para a indústria de bebidas são amplas e significativas. A adoção de práticas de MCC pode não apenas melhorar a eficiência e reduzir custos, mas também elevar a qualidade do produto e promover uma cultura de melhoria contínua. Esses aprendizados são valiosos para empresas que buscam se adaptar a um mercado em constante evolução e garantir sua competitividade a longo prazo.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho abordou a implementação e análise de métodos modernos de gestão de manutenção, com ênfase na MCC. A adoção dessas abordagens demonstrou ser uma estratégia transformadora que impacta positivamente a competitividade das empresas. Para tanto, foi realizada uma análise detalhada do sistema de uma empacotadora de cervejas, identificando componentes, modos de

falha potenciais e suas interações. A implementação de recursos de manutenção focados em confiabilidade melhorou a eficiência operacional e permitiu a definição de periodicidades para as atividades de manutenção, contribuindo para uma gestão mais eficaz.

Os resultados mostraram um aumento significativo no desempenho do equipamento, redução de custos operacionais, melhoria na segurança, diminuição de desperdícios e extensão da vida útil dos ativos. A produtividade na linha de envase estudada aumentou de 134 para 150 pacotes por minuto, representando um ganho de 11,94%.

A implementação da MCC demonstrou ser uma estratégia eficaz para otimizar a manutenção industrial, resultando em um aumento significativo na produtividade da empacotadora, com a ineficiência da produção reduzida de 2,26% para 1,46%. Essa melhoria reflete a capacidade da MCC de priorizar e gerenciar ativos críticos, resultando em menos falhas e quebras de máquinas.

A melhoria na eficiência operacional não apenas aumentou a produtividade, mas também contribuiu para a qualidade do produto final, um fator importante na indústria de bebidas, onde a percepção do consumidor é fundamental. Assim, a MCC se destaca como uma abordagem estratégica que permite às indústrias enfrentar os desafios do mercado moderno, caracterizado por alta competitividade e necessidade de eficiência.

Sugere-se que a metodologia deste estudo pode ser aplicada em diversos setores industriais, promovendo melhorias na confiabilidade, segurança, qualidade e eficiência de custos. Apesar de realizado em uma única empacotadora de uma única cervejaria, o que pode limitar a generalização dos resultados para outras indústrias ou mesmo para outras áreas dentro do setor de bebidas. A MCC se demonstrou eficaz e com potencial para abranger a diversidade de equipamentos e processos em diferentes contextos expandindo sua aplicabilidade em cenários variados.

A análise foi realizada em um período relativamente curto, o que pode não capturar completamente os efeitos a longo prazo da implementação da MCC. Mas a gestão dos processos de manutenção associados com processos de melhoria contínua, serão um caminho a ser implementado, buscando a sustentabilidade dos resultados ao longo do tempo.

Além disso, a implementação da MCC pode fortalecer as estratégias operacionais de outras empresas, garantindo operações mais eficientes e sustentáveis. Esses avanços oferecem uma base sólida para o aprimoramento contínuo e a obtenção de vantagens competitivas, fornecendo capacidade de entendimento valiosas para empresas de diversos setores.

Como atividades de avanço e desenvolvimento futuro, a integração de tecnologias emergentes, como IoT (Internet das Coisas) e análise de *big data*, na implementação da MCC poderia revelar novas oportunidades para otimização da manutenção e melhoria da eficiência operacional.

REFERÊNCIAS

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**, vol. 37, no. 3, pp. 1941-1951, Doi: 10.1109/TPWRD.2021.3101458, 2022.

AL-HARBI, T. T.; AL-OWAIFEER, M. M.; AL-ISMAIL, F. S. Development of Reliability Centered Maintenance System Using Artificial Intelligence. **Saudi Arabia Smart Grid (SASG)**, Riyadh, Saudi Arabia, pp. 1-6, 2022.

BIEHL, N. C.; SELLITTO, M. A. TPM e manutenção autônoma: estudo de caso em uma empresa da indústria metal-mecânica. **Revista Produção Online**, v. 15, n. 4, p. 1123-1147, 2015.

CERVEIRA, D. S.; SELLITTO, M. A. Manutenção centrada em confiabilidade (MCC): análise quantitativa de um forno elétrico a indução. **Revista Produção Online**, v. 15, n. 2, p. 405-432, 2015.

DA ROCHA, T. S; PAKES, P. R.; SILVA, B. B. Aplicação de ferramentas da qualidade no processo de melhoria contínua na engenharia de produto em uma empresa de produtos hospitalares. **Revista Foco**, v. 15, n. 3, p. e397-e397, 2022.

DE LIMA, P. R. F.; LOPES, E. C. Gestão da produção: estudo de tempos de métodos em uma indústria potiguar de pré-moldados. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão** (ISSN: 2525-4782), v. 5, n. 8, 2020.

DO PRADO, M. B., JUNIOR, J. D. S. F., RAPHANHIN, J. F., SARRETA, M. D. Â. M. Determinação e gestão de causas raízes de falhas e proposta de melhoria por meio do 5W2H no setor de atendimento de uma pizzaria em Minas Gerais. **Brazilian Journal of Business**, v. 3, n. 4, p. 3295-3305, 2021.

DOS SANTOS, C. G. Manutenção produtiva total: uma revisão de literatura dos artigos do encontro nacional de engenharia de produção. **Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão** (ISSN: 2525-4782), v. 6, n. 2, 2021.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. 7.ed. São Paulo: Atlas, 2022.

HENRIQUE, D. R. **MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE: um estudo de caso aplicado em equipamentos de fábrica de fitas autoadesivas**. Centro Universitário Ritter dos Reis, 2023.

KARDEC, A.; LAFRAIA, J. R. B. **Gestão estratégica e confiabilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

KARDEC, A.; NASFIC, J. **Manutenção: função estratégica**. 5ª. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2019.

Revista Mundi Engenharia, Tecnologia e Gestão. Paranaguá, PR, v.10, n.2, 2025.

MIGUEL, P. *et al.* **Metodologia de Pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. 3 ed. Grupo GEN, 2018.

MORAES, A. C. **Tecnologias de monitoramento de condição de equipamentos: fundamentos, aplicações e perspectivas**. São Paulo: Blucher, 2015.

MOREIRA, M de M. A. C. *et al.* Ferramentas da qualidade: uma revisão de diagrama de Ishikawa, 5W2H, ciclo PDCA, DMAIC e suas interrelações. 2021, Anais. São Carlos, SP: **EESC-USP**, 2021.

NAKAGAWA, E. Y. *et al.* **Análise de vibrações em máquinas rotativas**. 2. ed. São Paulo: **Blücher**, 2017.

NUNES, I. L.; SELBITTO, M. A. Implantação de técnicas de manutenção autônoma em uma célula de manufatura de um fabricante de máquinas agrícolas. **Revista Produção Online**, v. 16, n. 2, p. 606-632, 2016.

OKADA, R. H. *et al.* Implementação da ferramenta 5w2h no processo de produção para a obtenção de resultados e melhorias no processo. **Revista Interface Tecnológica**, v. 19, n. 2, p. 974-984, 2022.

REZENDE, S. F. *et al.* RCM - Manutenção centrada em confiabilidade: uma análise crítica. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 23, n. 2, p. 470-480, 2019.

RIBEIRO, R. V. M.; CARVALHO, J. R.; SANTOS, D. S. Monitoramento de vibrações para manutenção preditiva de máquinas rotativas: uma revisão bibliográfica. In: **Encontro Nacional de Engenharia e Desenvolvimento Social**, 5., 2016, Ponta Grossa. Anais [...]. Ponta Grossa: EDESP, 2016.

SANTOS, B. L. P., CAMPOS, M. S., VIANA, F. D. F., FREITAS, D. M., SILVA, A. L. Aplicação da engenharia da confiabilidade na manutenção de sistemas reparáveis: uma revisão sistemática da literatura. **XLII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**, 2022.

SILVA, A. G. **Implementação Do pilar de manutenção planejada da TPM em uma Linha de produção de bebidas**. Lajeado, 2021.

SLACK, N., JONES, A., JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 9. Ed. São Paulo: **Atlas**, 2019.

ZANETTI, R. V.; FERNANDES, M. A. R. **Análise de falhas em uma indústria alimentícia utilizando a metodologia RCM**, 2019.

ZADIRAN, K.; MAXIM, S. V. New Method of Degradation Process Identification for Reliability-Centered Maintenance of Energy Equipment. **Energies Magazine**, vol. 16, no. 2: 575, 2023.