

Manutenção Preditiva com Kaizen: aumentando eficiência e confiabilidade operacional

Lorena Emily de Oliveira Souza¹
Maria Eduarda Honorato Coco²
Matheus do Couto Anareli³

Resumo

Este trabalho apresenta a aplicação da manutenção preditiva com a metodologia Kaizen, buscando aprimorar os processos de manutenção em ambientes industriais. A introdução ressalta a importância da manutenção preditiva na redução de custos e no aumento da eficiência operacional. O objetivo é implementar práticas Kaizen para identificar falhas com mais precisão e prolongar a vida útil dos equipamentos. A metodologia inclui a análise de dados históricos e o uso de ferramentas Kaizen. Os resultados mostram redução nas paradas não planejadas e maior confiabilidade dos equipamentos. A discussão enfatiza a relevância da cultura de melhoria contínua promovida pelo Kaizen, que favorece tanto a manutenção preditiva quanto um ambiente de trabalho mais colaborativo e eficiente. Conclui-se que práticas Kaizen na manutenção preditiva são essenciais para o sucesso operacional, gerando ganhos de produtividade e redução de custos.

Palavras-chave: Eficiência operacional. Indústria. Kaizen. Manutenção preditiva. Melhoria contínua.

Abstract

This study explores the application of predictive maintenance combined with the Kaizen methodology to enhance the industrial maintenance processes. The introduction highlights how predictive maintenance reduces costs and improves operational efficiency. The goal is to implement Kaizen practices to optimize fault detection and extend equipment lifespan. The methodology involves the analysis of historical data and the use of Kaizen tools. The results show a decrease in unplanned downtime and greater equipment reliability. The discussion underscores the importance of the culture of continuous improvement fostered by Kaizen, which favors both predictive maintenance and a more collaborative and efficient workplace. It is concluded that adopting Kaizen practices in predictive maintenance is crucial for operational success, delivering higher productivity and cost savings.

Keywords: Continuous improvement. Industry. Kaizen. Operational efficiency. Predictive maintenance.

1 Introdução

¹Graduanda em Gestão da Produção Industrial pela Fatec Dr. Thomaz Novelino – Franca/SP. Endereço eletrônico: lorenaemilyoliveirasouza@gmail.com

²Graduanda em Gestão da Produção Industrial pela Fatec Dr. Thomaz Novelino – Franca/SP. Endereço eletrônico: maria.coco@fatec.sp.gov.br

³Mestre em Desenvolvimento Regional, Docente da Fatec Dr. Thomaz Novelino – Franca/SP. Endereço eletrônico: matheus.anareli@fatec.sp.gov.br

A busca por otimizar a eficiência operacional em ambientes industriais tem impulsionado a adoção de novas práticas de manutenção. Neste contexto, a integração entre a manutenção preditiva e a filosofia Kaizen surge como uma estratégia promissora para reduzir paradas inesperadas, prolongar a vida útil dos equipamentos e melhorar o desempenho geral das operações. A manutenção preditiva, por meio da análise de dados contínuos, permite a antecipação de falhas, enquanto o Kaizen, com suas ferramentas de melhoria contínua, contribui para a otimização dos processos de manutenção. Este estudo de caso tem como objetivo investigar a viabilidade e os benefícios dessa integração em uma empresa industrial.

Para alcançar os objetivos propostos, este estudo adotou uma metodologia que envolveu a análise de dados históricos de manutenção da empresa, além da implementação de projetos Kaizen focados em componentes-chave dos equipamentos. A hipótese central é que a combinação da manutenção preditiva e do Kaizen pode gerar ganhos substanciais em eficiência operacional. Ao integrar a capacidade da manutenção preditiva de antecipar falhas com a cultura de melhoria contínua do Kaizen, espera-se otimizar os processos de manutenção e reduzir significativamente as paradas inesperadas.

Os resultados preliminares deste estudo demonstram a eficácia da integração entre a manutenção preditiva e o Kaizen. Foi observada uma redução significativa nas paradas inesperadas, além de um aumento na confiabilidade dos sistemas. Esses resultados corroboram a hipótese inicial de que a combinação dessas duas metodologias pode gerar ganhos substanciais em eficiência operacional. A cultura de melhoria contínua promovida pelo Kaizen mostrou-se um fator fundamental para o aprimoramento da manutenção preditiva, evidenciando o potencial dessa integração para otimizar os processos produtivos.

2 Manutenção

A manutenção refere-se ao conjunto de atividades destinadas a assegurar que os bens de produção permaneçam em condições ideais de operação. Isso enfatiza a ideia de preservar e cuidar dos recursos existentes para garantir seu funcionamento eficiente e evitar falhas inesperadas (Xenos, 2004).

Conforme explica Slack, et al. (1997 p. 635), “A função de manutenção complementa a função de operação, e juntas formam a função de produção”. Portanto ela está intimamente ligada aos setores produtivos, impactando diretamente a qualidade e a produtividade, exercendo assim um papel estratégico crucial na otimização dos resultados operacionais e financeiros das empresas.

A área de manutenção passou a ser considerada uma função estratégica devido ao seu papel essencial nos sistemas produtivos. O seu bom desempenho é crucial para assegurar a disponibilidade dos ativos e suas calibrações adequadas. Isso, por sua vez, contribui para garantir a qualidade dos produtos, sendo a manutenção uma participante ativa e importante da estratégia das organizações (Nascif; Kardec, 1999).

Atualmente, a manutenção desempenha um papel crucial na indústria, evoluindo de uma atividade meramente associada a custos para uma função essencial para a competitividade das empresas. Devido à sua crescente importância, diversas técnicas e tipos de gestão da manutenção foram desenvolvidos ao longo do tempo, sendo atualmente três tipos principais de manutenções: a corretiva, a preventiva e a preditiva. Esses métodos oferecem abordagens mais precisas e eficientes para garantir o funcionamento otimizado dos equipamentos e sistemas industriais (Santos; Santos, 2017).

2.1 Manutenção corretiva

A manutenção corretiva é caracterizada por ser realizada exclusivamente após a ocorrência de falhas, como quebras, defeitos ou redução no desempenho dos equipamentos. Este tipo de manutenção é amplamente utilizado no setor industrial e permanece como uma das práticas mais comuns de reparo. Embora não seja necessariamente classificada como manutenção emergencial, seu principal objetivo é corrigir ou restaurar o funcionamento normal do equipamento.

Em termos financeiros, a manutenção corretiva pode parecer mais econômica inicialmente, já que os custos diretos estão limitados à reposição de peças e à mão de obra necessária para o reparo. No entanto, seus custos indiretos podem ser significativamente mais elevados. Entre os principais custos, destacam-se as interrupções na produção, que afetam a capacidade de cumprir prazos e

comprometem a eficiência operacional. Além disso, as falhas podem causar danos em outros componentes, aumentando a complexidade e o custo total do reparo. Outro impacto relevante é a perda de qualidade nos produtos, já que interrupções no processo produtivo podem resultar em lotes defeituosos ou fora das especificações (Pereira, 2009).

Apesar de sua ampla aplicação, a manutenção corretiva apresenta limitações significativas. Como é realizada apenas após o agravamento de um problema, pode comprometer severamente a vida útil do equipamento e prejudicar a continuidade da produção. Quando falhas são tratadas apenas em estado crítico, há um aumento nos riscos de danos adicionais, atrasos na programação e desorganização da cadeia produtiva. Isso resulta não apenas em dificuldades para manter a eficiência da linha de produção, mas também em maiores custos associados às paradas não planejadas e aos reparos de emergência (Viana, 2002).

2.2 Manutenção preventiva

A manutenção preventiva é caracterizada por intervenções programadas e periódicas, baseadas em recomendações dos fabricantes, com o objetivo de substituir componentes antes que falhem. Essas ações visam otimizar o desempenho dos equipamentos, prolongar sua vida útil e reduzir a ocorrência de paradas não planejadas. Além disso, ao estabelecer um cronograma rigoroso de manutenções, as empresas conseguem minimizar os riscos de falhas catastróficas e garantir a continuidade das operações (Filho, 2013).

Entre os principais benefícios da manutenção preventiva estão a redução de paradas inesperadas, o aumento da vida útil dos equipamentos e a melhoria da segurança, já que máquinas bem mantidas são menos propensas a falhas que podem ocasionar acidentes. Adicionalmente, a manutenção regular favorece uma operação contínua e eficiente. Para alcançar esses resultados, um plano eficaz deve incluir inspeções periódicas, substituição de peças desgastadas, lubrificação, ajustes e o registro detalhado de todas as atividades realizadas, permitindo monitorar a eficácia das ações e realizar ajustes sempre que necessário (Freitas, 2016).

Embora apresente diversas vantagens, a manutenção preventiva também possui limitações, como a possível substituição prematura de componentes e o risco

de erros humanos durante os procedimentos. No entanto, os benefícios de sua implementação, como maior controle sobre a produtividade e a redução de interrupções na produção, superam essas desvantagens (Nascif; Kardec, 1999).

Por fim, para garantir o sucesso na implementação da manutenção preventiva, é essencial manter registros atualizados dos equipamentos. Esses documentos são fundamentais para planejar as intervenções, monitorar o histórico das máquinas e ajustar as estratégias de manutenção, assegurando maior eficiência no processo.

2.3 Manutenção preditiva

A manutenção preditiva consiste no monitoramento contínuo dos equipamentos durante sua operação, com intervenções realizadas apenas quando alterações indicativas de possíveis falhas são detectadas. Esse tipo de manutenção utiliza indicadores, como vibração, temperatura e pressão, para identificar sinais de anomalia. Embora a vibração possa ser necessária para certas funções, ela se torna um sinal de alerta quando os equipamentos não estão operando conforme o esperado. Se essas anomalias não forem corrigidas a tempo, podem resultar em riscos operacionais, financeiros e de segurança. Vibrações excessivas, por exemplo, podem causar danos significativos, levando a paradas inesperadas e prejuízos financeiros consideráveis (Holanda, 2016).

As transformações tecnológicas recentes têm levado as indústrias a reavaliarem sua abordagem em relação à manutenção. Antes vista como uma função puramente operacional e técnica, muitas vezes considerada um custo inevitável, hoje a manutenção é reconhecida como uma fonte de valor estratégico. Seu papel no desempenho empresarial se torna ainda mais evidente à medida que tecnologias avançadas permitem um monitoramento mais eficiente e decisões mais informadas (Sezer; et al., 2018).

Nesse contexto, a manutenção preditiva destaca-se como uma estratégia eficaz para compreender melhor o funcionamento das máquinas, utilizando dados em tempo real e históricos de desempenho. Essa abordagem permite detectar sinais iniciais de falhas e programar intervenções de maneira otimizada, reduzindo o tempo de inatividade e otimizando os recursos. Por meio de sensores e sistemas de monitoramento, informações como temperatura, vibração e pressão são coletadas e

analisadas para identificar padrões e anomalias, possibilitando ações proativas de manutenção (Lee; et al., 2020).

O objetivo principal da manutenção preditiva é garantir a confiabilidade dos equipamentos, minimizando manutenções desnecessárias e reduzindo tanto o tempo de inatividade programado quanto o não programado. Isso contribui significativamente para a redução de custos de manutenção, enquanto melhora a eficiência operacional e a segurança das operações industriais (Jesus; et al., 2024).

2.4 Kaizen

O conceito de Kaizen, com sua orientação para a melhoria contínua, propõe uma visão da evolução como um processo de constante aperfeiçoamento. Ele sustenta a ideia de que cada dia deve ser uma oportunidade para o aprimoramento, não apenas nas estruturas corporativas, mas também no desenvolvimento individual. Em essência, o Kaizen se configura como uma filosofia de progresso gradual e interminável (Shingo, 2005).

A prática de Kaizen, exemplificada pela renomada experiência da Toyota, vai além de um simples método operacional, configurando-se como uma filosofia voltada para a busca da perfeição. Ao adotar esse conceito, a Toyota demonstra como a melhoria contínua pode ser intrínseca à cultura organizacional. Sua trajetória evidencia que pequenas mudanças, implementadas de maneira constante, podem gerar significativas revoluções em eficiência e qualidade (Imai, 1994).

De acordo com Ohno (1997, p.16):

O Kaizen envolve tanto uma política quanto uma cultura. A política representa um conjunto de valores orientadores que moldam o comportamento dentro da organização. Em contraste, a cultura emerge naturalmente como os valores se incorporam no cotidiano do grupo.

A aplicação eficaz do Kaizen exige que a alta administração adote esses valores como parte integrante da política da qualidade, comprometendo-se com a inclusão de atividades que promovam o crescimento contínuo e o aumento do conhecimento entre os colaboradores.

A filosofia Kaizen também é fundamentada na eliminação de desperdícios através do bom senso e da criatividade coletiva. Ele enfatiza soluções simples e econômicas que aproveitam a motivação e a inovação dos colaboradores para

melhorar continuamente os processos de trabalho. A Toyota tornou-se um paradigma de boas práticas, demonstrando como a eficiência e a eliminação de perdas produtivas podem transformar experiências em valor (Rother, 2010).

Além disso, a reorganização do fluxo de trabalho dos operadores e a melhoria na logística da recepção e preparo da cana ajudam a aumentar a produtividade. Ao promover uma cultura de participação e colaboração entre os funcionários, o Kaizen incentiva o engajamento de todos na busca por soluções, garantindo um processo mais eficiente e com menor desperdício (Imai, 1994, p.03).

Imai (1994) ressalta como a reorganização do fluxo de trabalho e a logística, aliadas à filosofia Kaizen, podem aumentar a produtividade. Ao promover a colaboração entre os funcionários, cria-se um ambiente mais engajado e eficiente, reduzindo desperdícios e melhorando os resultados.

Portanto, o Kaizen é uma jornada de aprimoramento contínuo que requer um envolvimento total dentro da organização. Embora o investimento financeiro possa ser modesto, o esforço necessário para manter a melhoria constante é significativo. A filosofia nos ensina a ver o progresso não como um destino final, mas como um caminho perpetuamente evolutivo, onde a busca pela excelência é uma aspiração contínua e um desafio incessante.

3 Materiais e métodos

A metodologia abrange dois campos: na pedagogia, refere-se aos métodos de ensino e na ciência, à análise dos métodos de pesquisa. Embora haja etapas comuns como planejamento e execução, cada pesquisa possui suas particularidades (Tomanik, 1994).

Um estudo de caso é uma metodologia de pesquisa que envolve uma análise aprofundada de um fenômeno dentro de seu contexto real. Ele permite explorar e entender questões complexas, oferecendo *insights* detalhados sobre situações específicas. No contexto deste trabalho, o estudo de caso se concentra na implementação de manutenção preditiva em uma empresa do setor de energia, com o objetivo de reduzir desperdícios e melhorar a eficiência operacional (Bressan, 2023).

Foram realizados dois projetos utilizando a filosofia Kaizen: a alteração do rodo cushcush da moenda Farrel e a substituição de componentes da bomba de recirculação no setor de extração. Já a manutenção preditiva concentrou-se em um

relatório de diagnóstico, particularmente no motor da bomba de caldo primário 02, após a identificação de uma vibração elevada.

4 Resultados e discussões

A indústria sucroalcooleira, marcada por processos complexos e alta competitividade, busca incessantemente por otimização e eficiência. Duas metodologias se destacam nesse contexto: o Kaizen e a manutenção preditiva.

A implementação conjunta dessas metodologias traz diversos benefícios. O Kaizen, com seu foco na participação de todos os colaboradores, estimula a identificação de oportunidades de melhoria, enquanto a manutenção preditiva fornece os dados necessários para tomar decisões mais precisas. A combinação dessas abordagens permite que as empresas criem um ciclo virtuoso de melhoria contínua, onde os problemas são identificados e corrigidos de forma proativa.

Um exemplo prático da aplicação dessas metodologias na indústria sucroalcooleira pode ser observado na usina em estudo que implementou o Kaizen para otimizar o processo de moagem da cana. Através de pequenos ajustes e a participação dos operadores, foi possível reduzir o tempo de parada da moenda e aumentar a eficiência da extração do caldo. Paralelamente, a utilização da manutenção preditiva permitiu monitorar a vibração dos rolos da moenda, antecipando possíveis falhas e evitando paradas inesperadas.

A sinergia entre o Kaizen e a manutenção preditiva não se limita à área produtiva. Essas metodologias podem ser aplicadas em todos os processos da indústria sucroalcooleira, desde a logística até o controle de qualidade. Ao envolver todos os colaboradores e utilizar dados para tomar decisões mais assertivas, as empresas podem alcançar resultados excepcionais e se destacar em um mercado cada vez mais competitivo.

A combinação do Kaizen e da manutenção preditiva representa um caminho promissor para as empresas da indústria sucroalcooleira que buscam a excelência operacional. Ao implementar essas metodologias, as empresas podem otimizar seus processos, reduzir custos, aumentar a produtividade e garantir a sustentabilidade do negócio a longo prazo.

4.1 Coleta de dados Kaizen

O projeto denominado "Alteração do Rodo Cushcush da Moenda Farrel" visou solucionar problemas de espessura inadequada dos rodos talisca, que são componentes fundamentais na remoção de bagaço nas moendas. Esses rodos são geralmente feitos de borracha ou outro material resistente, e auxiliam no transporte do bagaço durante o processo de extração.

Antes da implementação do Kaizen, os rodos talisca possuíam uma espessura menor, o que os tornava suscetíveis a desgastes rápidos e falhas, impactando negativamente o rendimento da moagem devido às paradas frequentes para substituição. Com o projeto Kaizen, os rodos passaram a ser fabricados com material de maior espessura e resistência, o que resultou em uma redução significativa das falhas e aumento da vida útil do componente.

A figura 1 ilustra essas mudanças nos rodos talisca e no sistema cushcush.



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Com o Kaizen, foi implementada a mudança do material dos rodos talisca, substituindo o metal comum por metal inoxidável. Essa alteração resultou em maior espessura e resistência, reduzindo a taxa de falhas e aumentando a vida útil das peças, o que proporcionou um processo de extração mais eficiente e estável.

Antes do Kaizen, os rodos talisca eram feitos de metal comum, que possui menor resistência à corrosão e se desgastava rapidamente devido à exposição contínua à umidade e ao ambiente corrosivo da extração de caldo de cana. Isso

resultava em empenamentos e quebras frequentes, além de manutenções constantes que comprometiam a produção.

Com o metal comum antes as paradas por problemas e para manutenções eram mensais, após a substituição foram reduzidos a necessidade de troca e manutenção para a cada 3 meses.

A figura 2 mostra as notas de manutenções que eram abertas frequentemente, quando as taliscas eram feitas de metal comum, mostrando que este material não estava sendo eficiente causando quebras e manutenções frequentes.

Figura 2: Abertura de notas de manutenção do rodo cushcush com metal comum

Autor da no...	Criado por	Data de criação	CIPi	Nota	Ordem	Tipo de no...	Descrição	Prioridade	Denominação do loc. instalação
348732	CS348732	19.07.2023	0051	13405931	14016479	P1	BARRA CHATA CUSH CUSH SOLTANDO MF	Programar	ETT CUSH-CUSH PALHA MOENDA 02
350187	CS350187	20.05.2024	0051	13695313	14317574	P1	MF Troc taliscas tortas chush cush	Programar	ETT CUSH-CUSH PALHA MOENDA 02
354125	CS354125	14.06.2024	0051	13732951	14379317	P1	MF fabricar proteç eixo sup cush cush	Programar	ETT CUSH-CUSH PALHA MOENDA 02
354125	CS354125	17.06.2024	0051	13736399	14401955	P1	MF fabricar 15unidades talisca cushcush	Programar	ETT CUSH-CUSH PALHA MOENDA 02
354125	CS354125	01.07.2024	0051	13756512	14433250	P1	MF travar rodos CushCush	Programar	ETT CUSH-CUSH PALHA MOENDA 02
354125	CS349990	16.07.2024	0051	13776005	14463020	N1	MF fabricar 15unidades talisca cushcush	Programar	ETT CUSH-CUSH PALHA MOENDA 02
354125	CS354125	19.07.2024	0051	13780323	14467243	P1	MF subst rodos tortos cush cush	Programar	ETT CUSH-CUSH PALHA MOENDA 02
CS349076	CS349076	21.09.2024	0051	13867018	14557806	P1	Subst taliscas deformadas Cush-Cush M2	Programar	ETT CUSH-CUSH PALHA MOENDA 02
CS349076	CS349076	26.09.2024	0051	13873930	14565633	P1	Repor taliscas faltante CUSH-CUSH Farrel	Programar	ETT CUSH-CUSH PALHA MOENDA 02

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

A perda em questão de custo também era grande, pois a manutenção mensal causava um custo-benefício bem alto. Na figura 3 abaixo mostra o valor de cada manutenção.

Figura 3: Custo de cada manutenção que era realizada

Grupo/Denomin.	CstsEstim.	Csts.plan.	Csts.reais	M...
▼ Custos	0,00	1.511,64	3.141,72	BRL
↳ Mão de Obra Interna	0,00	1.511,64	3.141,72	BRL

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

Após a implementação, com o uso de metal inoxidável, foi possível eliminar os problemas de oxidação e corrosão, graças à camada passiva de óxido de cromo do

material, que garante alta durabilidade. Essa mudança aumentou significativamente a vida útil das peças

Em outra situação, foi feita implementação de um projeto Kaizen, como na figura 4, focado na substituição de componentes da bomba de recirculação no setor de extração.

Figura 4: Bomba de recirculação

Antes



Depois



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

A bomba de recirculação 2 utilizava carretéis de borracha em sua tubulação, que apresentavam um desgaste elevado, necessitando de substituições frequentes. Esse desgaste gerava vazamentos de caldo quente, exigindo intervenções de manutenção que duravam cerca de 2 horas para a troca dos carretéis. O projeto Kaizen propôs a troca do carretel de borracha por um de inox, material com maior resistência ao desgaste e maior durabilidade, em até 48 meses.

Na imagem 5, mostra as aberturas de nota de manutenção que eram abertas frequentemente, de mês em mês, mostrando a ineficiência do carretel de borracha.

O custo também foi significativo, pois o que era gasto antes realizando a troca do material de borracha de 6 em 6 meses com a substituição para o inox foi reduzido este gasto para uma vez a cada 4 anos.

4.2 Coleta de dados manutenção preditiva

O estudo foi realizado no setor de processamento de cana, mais especificamente no equipamento de motor da bomba de caldo primário 02. O diagnóstico foi emitido após uma análise de vibração feita em 02/09/2024, assim conforme a figura 7:

Figura 7: Análise de vibração da bomba de caldo primário 2



Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

O relatório indica uma vibração elevada na posição vertical do motor da bomba de caldo primário 02 em uma unidade de processamento de cana. Essa vibração excessiva foi detectada durante uma inspeção preditiva e, segundo o relatório, é característica de uma falta de rigidez no sistema. Este tipo de vibração anormal é característico de problemas de falta de rigidez no motor ou em seus componentes,

que pode ser por fatores como: fixação inadequada do motor, afrouxamento dos parafusos de fixação da base ou desalinhamento entre os eixos do motor e da bomba.

A recomendação é que a intervenção seja realizada o mais breve possível para evitar que a anomalia provoque falhas mais graves no equipamento, como desgastes prematuros ou até danos críticos ao motor e à bomba.

Para corrigir a vibração excessiva na bomba de caldo primário 02, causada principalmente por desalinhamento e desbalanceamento, foi realizada a seguinte intervenção: a bomba será desmontada para permitir o acesso aos componentes internos e a realização das medições necessárias. Os rolamentos foram inspecionados visualmente e, se necessário, substituídos por novos. O rotor da bomba será balanceado dinamicamente para corrigir o desbalanceamento, uma das principais causas da vibração. Os pés de apoio da bomba serão verificados e ajustados para garantir uma base sólida e nivelada. Após a realização das correções, a bomba será remontada e submetida a um teste de funcionamento para verificar a eficácia da intervenção. O objetivo desta intervenção é reduzir a vibração da bomba, eliminando o risco de danos aos componentes e garantindo a operação segura e eficiente do equipamento. Para alcançar esse objetivo, foi definido um roteiro de inspeção e manutenção, permitindo um monitoramento sistemático das condições operacionais e a identificação preventiva de possíveis falhas.

4.3 Resultados Kaizen

O Kaizen foi implementado com o objetivo de melhorar a eficiência e a durabilidade dos rodos cushcush da moenda Farrel. A equipe de manutenção da empresa em estudo, composta por engenheiros de manutenção e operadores de produção, conduziu o projeto durante um período de duas semanas. O processo envolveu a análise do desgaste dos rodos, a identificação das causas das falhas frequentes e a substituição dos componentes por materiais mais resistentes.

O primeiro resultado foi o dos rodos do cushcush. O problema com os rodos antigos era que eles eram de metal comum e se desgastavam rapidamente, causando paradas na produção e aumentando os custos de manutenção. A solução encontrada foi trocar os rodos antigos de metal comum por novos, metal inoxidável com material mais resistente e maior espessura. Essa mudança simples, mas eficaz, resultou em

diversos benefícios, o aço inoxidável é o material mais indicado para a fabricação de cushcush em moendas de cana, devido à sua alta resistência à corrosão, durabilidade, facilidade de limpeza e conformidade com as normas sanitárias.

Aumento da vida útil dos rodos os novos rodos devem durar muito mais tempo, reduzindo a necessidade de trocas frequentes, melhora na qualidade do produto final a moagem com rodos em bom estado garante um produto final de melhor qualidade. Redução de custo a diminuição na frequência de troca dos rodos resulta em uma economia significativa nos custos de manutenção. A mudança gerou um retorno financeiro de R\$ 20.000,00 e embora não tenha havido ganhos diretos em termos de tempo de operação, o aumento da durabilidade dos rodos contribuiu para a estabilidade do processo. O Kaizen foi um sucesso e demonstrou a importância de buscar soluções simples e eficazes para melhorar a eficiência e reduzir os custos.

O segundo Kaizen sobre a bomba de recirculação 2, a substituição do material do carretel, de borracha para inox, demonstrou ser uma decisão acertada. O inox, por suas propriedades de resistência à corrosão e maior durabilidade, superou as expectativas, com uma vida útil estimada em 48 meses, contra apenas 6 meses do carretel de borracha.

A substituição de carretéis de borracha por tubulações de inox em um processo industrial, como o da moenda de cana, demonstrou ser uma decisão estratégica com diversos benefícios. A principal motivação para essa mudança foi a redução de custos de manutenção a longo prazo. Apesar do investimento inicial em tubulação de inox ser maior, sua durabilidade significativamente superior compensa esse custo, pois diminui a frequência de trocas e reparos.

Além da maior durabilidade, a troca também resultou em uma redução significativa do tempo de parada da bomba durante a manutenção, otimizando o processo produtivo. Conseqüentemente, houve um aumento na produtividade geral e um retorno financeiro considerável, estimado em R\$ 5.300,00.

Os carretéis de borracha precisavam ser substituídos a cada 6 meses, a um custo unitário de R\$800,00. Para ter a mesma vida útil do inox, seriam necessários 8 carretéis, totalizando R\$6.400,00

O tempo ganho com a redução da frequência de manutenção pode ser utilizado para realizar inspeções preventivas em outros equipamentos, otimizar o planejamento operacional e aumentar a produção total. Além disso, permite investir em treinamentos

da equipe, implementar projetos de melhoria contínua e atender a outras prioridades da planta, contribuindo para maior disponibilidade, produtividade e eficiência do sistema.

Figura 8: Análise de custo do carretel de borracha para o de inox

180514620	Manutenção
Tipo*	
Redução de Custo	
Custo Antes *	Custo Depois*
6.400,00	1.100,00
Descrição do Custo Antes / Receita Antes (Total Safra)*	Descrição do Custo Depois / Receita Depois (Total Safra)*
Duração do carretel de borracha aproximadamente de 6 meses. Valor unitário aproximado: R\$800,00 Necessário 8 carretéis para ter a mesma vida útil do de inox.	Duração do carretel de inox aproximadamente de 48 meses.
Fonte dos Dados	
SAP	
Ganho Final	
5.300,00	

Fonte: Elaborado pelos autores (2024)

A análise do Kaizen demonstra a importância de buscar constantemente melhorias nos processos industriais, mesmo em componentes aparentemente pequenos como um carretel de bomba. A troca do material, além de gerar benefícios econômicos, contribui para a sustentabilidade da operação, reduzindo o desperdício e otimizando o uso de recursos.

4.4 Resultados manutenção preditiva

Com base nos dados coletados no gráfico de vibração da figura 3, foi recomendado realizar as seguintes intervenções.

O primeiro, foi conferir e apertar, verificar e ajustar os parafusos de fixação do motor e realizar o alinhamento entre os eixos do motor e da bomba. A elevação da vibração, se não corrigida, pode aumentar o desgaste do sistema, reduzir a eficiência

da operação e aumentar o risco de falhas mecânicas. O diagnóstico foi feito por análise de vibração, que recomendou a intervenção imediata para assegurar o bom funcionamento do motor e do conjunto da bomba de caldo primário 02. Este caso exemplifica como a análise preditiva pode identificar problemas de vibração e desalinhamento, possibilitando a correção antecipada e evitando danos mais graves. A recomendação de alinhamento e verificação de fixações é uma ação corretiva relativamente simples, mas que pode gerar impactos significativos na eficiência e vida útil do equipamento.

4.4 Análise comparativa

Em um estudo de caso envolvendo uma bomba centrífuga e um motor de indução, a manutenção preditiva destacou-se como uma abordagem essencial para a identificação de falhas. Foram detectadas duas situações críticas: a primeira relacionada à falha na gaiola do rolamento e a segunda, aos elementos rolantes. A análise realizada demonstrou a alta eficiência da técnica, proporcionando ao setor de manutenção a capacidade de detectar essas falhas de forma precisa, além de recomendar ações corretivas, como a substituição dos rolamentos, prevenindo danos mais graves e garantindo a continuidade operacional (Galli, 2017).

O trabalho Manutenção preditiva com Kaizen, adota uma metodologia integradora, que combina a análise de dados históricos de manutenção com ferramentas Kaizen. Essa abordagem promove não apenas a eficiência técnica, mas também a transformação cultural dentro da organização, envolvendo equipes operacionais na busca por melhorias incrementais. Em contraste, o estudo sobre análise de vibração utiliza uma abordagem mais técnica e específica, baseando-se no monitoramento contínuo de vibrações, análise espectral e detecção de padrões que indicam falhas em componentes mecânicos. Manutenção preditiva com Kaizen, os resultados demonstram uma redução significativa nas paradas não planejadas, um aumento na confiabilidade dos equipamentos e uma melhoria na cultura organizacional.

A implementação de práticas Kaizen contribuiu para um ambiente de trabalho mais colaborativo e eficiente. Por outro lado, o trabalho sobre vibração identificou falhas mecânicas específicas, como danos em rolamentos, comprovando a eficácia

da análise de vibração como técnica preditiva. Os resultados também destacaram a precisão na identificação de problemas antes que causassem interrupções significativas.

Ambos os trabalhos oferecem perspectivas valiosas sobre a manutenção preditiva. O trabalho em estudo manutenção preditiva com Kaizen, se destaca por sua abordagem holística e impacto organizacional, enquanto o estudo sobre vibração aprofunda-se na aplicação de técnicas específicas. Quando analisados juntos, esses trabalhos demonstram como métodos e técnicas podem ser complementares, oferecendo soluções integradas para melhorar a eficiência e reduzir custos em operações industriais.

Uma segunda comparação do estudo de caso, manutenção preditiva em bombas, este trabalho apresenta a manutenção preditiva como um processo técnico focado na identificação de falhas e anomalias em equipamentos antes que ocorram falhas graves (Navega; et al, 2012).

Diferenciando os trabalhos o objetivo central da manutenção em bombas é o diagnóstico técnico e práticos de manutenção preditiva em bombas, já no trabalho de manutenção preditiva com Kaizen, o objetivo é a integração da manutenção preditiva com a filosofia Kaizen para melhoria contínua.

O foco do trabalho em bombas é o detalhamento técnico das ferramentas de análise e monitoramento. Já manutenção com Kaizen o foco é estratégia organizacional e resultados econômicos de melhoria contínua.

A abordagem da manutenção em bombas é a técnica com foco em métodos como vibração e termografia, com público alvo em técnicos e engenheiros de manutenção. Já a manutenção com Kaizen tem uma abordagem estratégica com ênfase no impacto da cultura de melhoria contínua, com público alvo como gestores e equipes industriais.

Ambos os trabalhos convergem na relevância da manutenção preditiva para otimizar operações industriais, mas diferem em suas abordagens. O primeiro se concentra no aspecto técnico e específico de máquinas (bombas), enquanto o segundo expande o escopo para incluir estratégias de melhoria contínua e impactos organizacionais mais amplos, destacando a aplicação prática do Kaizen.

Considerações finais

A presente pesquisa demonstrou o potencial da integração da manutenção preditiva e do Kaizen em transformar a gestão de manutenção no setor industrial. Essa combinação não apenas otimiza a produção e reduz custos, mas também contribui para a sustentabilidade, alinhando-se aos princípios da Indústria 4.0. Ao integrar tecnologias avançadas com uma cultura organizacional voltada para a excelência, as empresas podem alcançar maior eficiência, confiabilidade e competitividade no mercado.

Este estudo contribui para a literatura ao fornecer evidências práticas de como essas metodologias, quando implementadas de forma integrada, podem superar desafios operacionais comuns e impulsionar a inovação. Recomenda-se que as empresas do setor industrial invistam em iniciativas para integrar a manutenção preditiva e o Kaizen em seus processos. Ao adotar essas práticas, as empresas podem alcançar um novo patamar de excelência operacional, garantindo a longevidade de seus negócios. Para auxiliar nessa jornada, é fundamental buscar apoio em consultorias especializadas e investir na capacitação dos colaboradores.

A implementação bem-sucedida da manutenção preditiva e do Kaizen exige uma cultura organizacional que valorize a inovação, a colaboração e o aprendizado contínuo. A liderança desempenha um papel fundamental nesse processo, incentivando a participação de todos os colaboradores e promovendo um ambiente de trabalho seguro e motivador. Sugere-se que futuras pesquisas explorem o papel da inteligência artificial na potencialização da manutenção preditiva e o desenvolvimento de modelos de avaliação da maturidade em gestão de manutenção, contribuindo para a consolidação dessas metodologias como pilares estratégicos na indústria.

Referências

BRESSAN, F. O método do estudo de caso. **Preprint**, dezembro de 2023. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/376646085>. Acesso em: 07/08/2024.

Filho, L. F. S. **Manutenção por análise de vibrações**: uma valiosa ferramenta para gestão de ativos. 2013, 57 p. Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Naval e Oceânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Rio de Janeiro, 2013.

FREITAS, L. F. **Elaboração de um plano de manutenção em uma pequena empresa do setor metal mecânico de juiz de fora com base nos conceitos da manutenção preventiva e preditiva.** 2016, 96 p. Tese (Graduação em Engenharia) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016.

GALLI, V. B. **Manutenção Preditiva por Análise de Vibração Mecânica em Máquinas Rotativas:** Estudo de caso. 2017, 78 p. Trabalho de Graduação (Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2017.

HOLANDA, S. M. S. **Aplicação da manutenção preditiva por análise de vibrações em equipamentos de trens urbanos com plano de manutenção proposto.** 2016. 99p. Tese (Mestrado em Engenharia) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Pernambuco, 2016.

IMAI, M, Kaizen: **Estratégia para o sucesso competitivo.** 5ed. São Paulo: Atlas, 1994.

JESUS, et al. **Conectividade e aprendizado de máquinas em linha de usinagem.** 2024. Disponível em: <https://abepro.org.br/biblioteca/TCE_399_1959_46577.pdf> Acesso em: 03/09/2024.

LEE; et al. Intelligent Maintenance Systems and Predictive Manufacturing. **Journal of Manufacturing Science and Engineering**, ASME, v. 142, n. 11, p. 110 – 133, 2020.

NAVEGA, et al. Manutenção preditiva em bombas. **Revista de Divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 2, n. 1, p. 173 - 177, 2012.

NASCIF, F. K.; A. **Manutenção:** Uma abordagem estratégica. 1 ed. São Paulo: Atlas, 1999.

OHNO, T. **O Sistema Toyota de Produção:** além da produção em larga escala. 1 ed. Porto Alegre: Artes Médicas, 1997.

PEREIRA, M. J. **Engenharia de manutenção – Teoria e prática.** 1 ed. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.

ROTHER, M. **Toyota Kata:** Gerenciando Pessoas para Melhoria, Adaptabilidade e Resultados Excepcionais. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2010.

SANTOS, A. E. S.; L. O. **A FMEA na gestão da manutenção de tornos mecânicos em um laboratório de mecânica do instituto federal de Sergipe -campus Lagarto.** XVII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica e Industrial, 24 a 27 de outubro de 2017. Aracaju, Sergipe.

SEZER, et al. An industry 4.0-enabled low-cost predictive maintenance approach for SMEs: A use case applied to a CNC turning centre. **International Conference on Engineering Technology and Innovation**, ICE/ITMC, v. 3, n. 18, p.153 - 198, 2018.

SHINGO, S. **O Sistema Toyota de Produção**. 1 ed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

SLACK, et al. **Administração da produção**. 1 ed. São Paulo: Atlas, 1997.

TOMANIK, E. A. **O olhar no espelho: “Conversas” sobre a pesquisa em ciências sociais**. 1994. Tese - Universidade Estadual de Maringá, 1994.

VIANA, H. R. G. **PCM: planejamento e controle da manutenção**. 1 ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

XENOS, H. G. **Gerenciando a manutenção produtiva**. 1 ed. Nova Lima: Falconi, 2004.