



AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA PARA SUBSTITUIÇÃO DO TAMBOR CONVENCIONAL POR UM OTIMIZADO DO TRANSPORTADOR CONTÍNUO

Larissa Bonfante Martinelli¹

Anderson Daleffe²

Henrique Cechinel Casagrande³

Joelson Vieira da Silva⁴

Gilson de March⁵

Jovani Castelan⁶

Resumo: Na indústria, é muito utilizado um equipamento denominado transportador contínuo, para facilitar o processo de transporte dentro da empresa. Para cada modelo desse dispositivo, existem diversos elementos que podem compô-lo, variando de acordo com suas especificações e requisitos de funcionamento. Os transportadores contínuos são sistemas de transporte utilizados principalmente em operações subterrâneas, como mineração e construção de túneis. Eles são projetados para movimentar materiais de forma eficiente e segura tanto a céu aberto quanto em ambientes subterrâneos, onde o espaço pode ser limitado e as condições são desafiadoras. São fundamentais para o transporte de minérios, materiais de construção e outros produtos em minas e túneis, contribuindo para a eficiência e produtividade das operações subterrâneas. O componente estudado no presente trabalho é denominado de tambor, um item de extrema importância para o funcionamento do transportador contínuo. O objetivo desse estudo é validar o modelo de tambor helicoidal ou de contenção interna desenvolvido na empresa Carbonífera Metropolitana, desde o projeto, ao estudo da sua viabilidade técnica e econômica. Para essa validação foi necessário fazer um estudo desde o ano da sua aplicação de teste, comparando-o com o tambor convencional, que vem sendo usado até o presente, buscando assim detectar quais as falhas, períodos de trabalhos, maior e menor manutenção, os gastos, fabricação, dentre outros aspectos que se tornam relevantes para um levantamento de custo benefício da empresa. Os resultados das análises desenvolvidas foram satisfatórios, tornando assim os tambores aptos para serem aplicados nos transportadores contínuos das carboníferas da região. Além disso este investimento tende a ter retorno de curto prazo, que nesse estudo levou cerca de seis meses devido a sua baixa manutenção.

Palavras-chave: Tambor. Transportador Contínuo. Custo benefício. Subsolo.

¹ Graduando em Engenharia Mecânica 2023-1. E-mail: larimartinelli@hotmail.com

² Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br

³ Mestrando em Eng. Metalúrgica UniSATC. E-mail: henrique_cechinel@hotmail.com

⁴ Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: Joelson.silva@satc.edu.br

⁵ Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: gilson.march@satc.edu.br

⁶ Professor do Centro Universitário UniSATC. E-mail: jovani.castelan@satc.edu.br



1 INTRODUÇÃO

Existem vários modelos de transportador contínuo, e para cada modelo há vários elementos que o caracterizam, como os tambores, rolos, roletes, mancais, redutores, motores, estrutura, entre outros. Além dos elementos, esses transportadores podem ser diferenciados pelos tipos de correias. Esses componentes podem ser dos mais variados tipos: lisas, correias com nervuras, travessas ou bordos de contenção, correias em sanduíche, correias elevadoras ou correias deslizantes (P. Bortnowski, et al. 2022).

Há várias maneiras de especificar esses componentes: por meio de cálculos, características, meio onde será instalada, inclinação, dimensões, velocidade, peso, material que será transportado ou produto, dentre vários outros fatores relevantes para o seu dimensionamento. A correia transportadora proporciona uma facilidade no processo dentro da empresa, realizando o movimento de sólidos de um ponto ao outro ponto desejado (Lodewijks, et. al, 2018).

Os tambores no transportador contínuo são subdivididos com base em sua posição e função, podendo ser classificados entre dois tipos: os movidos e os motrizes. Os tambores movidos executam o movimento giratório devido ao contato com a correia que recebe o movimento dos tambores motrizes, que são os responsáveis pelo acionamento do movimento da correia, ou seja, a tração. Os tambores podem ainda serem subdivididos em: acionamento primário, acionamento secundário, retorno, encosto, desvio, esticamento e outros tipos mais específicos (Habib, et al,2020).

O tambor a ser estudado opera em carboníferas da região sul do Brasil, em que compõem uma correia transportadora com objetivo de transportar o carvão bruto do subsolo até a superfície para poder ser beneficiado, e assim tornando-o pronto para a comercialização.

Atualmente são utilizados tambores convencionais, que possuem um determinado tempo de vida útil, para isso é feita a sua manutenção e quando necessário é realizada a sua troca, por muitas vezes devido ao desgaste de eixos e quebra de rolamento.

Como este problema vem se repetindo muito, sendo responsável por 17 % das paradas dos transportadores contínuos na empresa Carbonífera Metropolitana



S/A, tornou-se necessária a busca de uma solução. Em função do comprometimento da produção e disponibilidade do equipamento, o objetivo passou a ser tanto tecnológico como econômico.

Ao buscar as soluções notou-se que a maior parte da quebra deste componente era proveniente da lubrificação inadequada dos componentes ou até mesmo a falta dela. Assim foi elaborada uma pesquisa e desenvolvido um tambor experimental com lubrificação interna de óleo, fundamentada no aumento de produção e redução de custos de manutenção. A produção de rolos deve obedecer à alguns critérios de fabricação devido a desvios relacionados à excentricidade e ao ângulo de deflexão dos rolamentos. Esses fatores são indicativos essenciais da qualidade desses componentes (Aguiar, 2023).

O desenvolvimento desse novo elemento buscou substituir o tambor denominado convencional, por um tambor helicoidal ou um tambor movido com tubo de contenção interna para evitar não somente a quebra, mas também a redução de sua manutenção que ocorre com muita frequência. Com isso o estudo buscou viabilizar o tambor helicoidal ou movido com tubo de contenção interna e fazer com que o tambor passe a ter uma duração de trabalho superior ao convencional, além de prever o custo necessário para a troca, analisando a viabilidade de a longo prazo, implantar o modelo proposto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo, é apresentado o referencial de pesquisa utilizado para aprofundar o entendimento sobre o tema em estudo. Este referencial é de vital importância para fornecer embasamento teórico ao trabalho, abordando aspectos cruciais relacionados aos tambores de transportadores contínuos.

A análise dos estudos prévios e da literatura existente permitirá uma compreensão mais abrangente das características, funcionamento, materiais de construção, métodos de fabricação, manutenção e desafios operacionais associados aos tambores utilizados nesses sistemas industriais. Ao explorar esse referencial de pesquisa, será possível contextualizar de forma sólida e fundamentada as questões abordadas neste estudo, contribuindo para uma análise mais completa e embasada do tema em questão.

2.1. TRANSPORTADORES

O transporte de materiais em grandes quantidades é uma atividade comum em diversas indústrias, como a mineração. Para otimizar esse processo, muitas empresas utilizam sistemas de transporte baseados em correias transportadoras conforme Fig. 1. No entanto, alguns desafios técnicos ainda precisam ser superados nesse tipo de sistema, como a perda de energia devido ao atrito da correia com o material transportado e a dificuldade em transportar materiais particulados com propriedades viscosas (Szymanski, 2021).

Figura 1: Correia transportadora MEL (mina esperança leste).



Fonte: Carbonífera Metropolitana, 2023.

Os tambores são componentes essenciais em sistemas de transportadores contínuos, desempenhando um papel crucial na movimentação eficiente e confiável de materiais em uma variedade de indústrias, conforme a Fig. 2. Esses sistemas são amplamente utilizados em setores como mineração, construção, agricultura, manufatura e logística para transportar cargas pesadas e a granel de um ponto a outro de forma contínua e automatizada (Zhang, 2019).

Figura 2: Correia Transportadora Mina Fontanella.



Fonte: Carbonífera Metropolitana, 2023.

São projetados para suportar cargas variáveis e condições ambientais adversas, garantindo a operação segura e eficiente do sistema. Eles são compostos por um tambor cilíndrico robusto, geralmente fabricado em aço ou materiais compostos de alta resistência, que é montado em um eixo e girado por meio de sistemas de acionamento (Zhou, 2021).

Além de proporcionar o movimento necessário para o transporte de materiais, os tambores desempenham um papel importante na tração e no alinhamento adequado da correia transportadora, garantindo assim a estabilidade e a integridade do sistema como um todo. Para atender às demandas operacionais específicas, os tambores podem ser projetados com características como revestimentos de borracha para melhorar a aderência, sistemas de resfriamento para operações de alta temperatura e dispositivos de limpeza para evitar acúmulo de material. (Keller, 2020).

O tambor por sua vez não é o único problema a ser melhorado na correia transportadora, há também a contaminação do ambiente industrial por óleo. Com isso foi feito um estudo em que as correias começaram a usar rolos preenchidos com líquido iônico em sistemas de correias transportadoras. O líquido iônico é capaz de absorver e reter o óleo da correia transportadora, evitando que ele escape para o meio ambiente e garantindo que o transporte seja feito de forma mais segura e limpa. Buscando reduzir a poluição ambiental associada ao transporte industrial, melhorando a qualidade do ar e da água e garantindo um ambiente de trabalho mais seguro para os funcionários (Yao, 2020).



O problema mais comum dos tambores atualmente utilizados nas correias transportadoras nas indústrias, é a falha dos rolamentos. Com isso apresentou-se uma nova abordagem para monitorar e detectar falhas de rolamento em rolos nesses equipamentos. Foi utilizado um modelo de máquina de vetores de suporte de mínimos quadrados com variação de parâmetros (SS-LSSVM) combinado com a entropia diferencial para identificar falhas em rolos com precisão. O SS-LSSVM é uma técnica de aprendizado de máquina que permite a previsão de falhas com alta precisão. E a entropia diferencial é uma medida usada para avaliar a complexidade e a irregularidade dos sinais de vibração (Szymanski, 2021).

Os equipamentos de Transporte acabam gerando perdas de rendimento e custos com manutenção em função das frequentes trocas de óleo, essas máquinas costumam apresentar vazamentos de óleo devido aos desgastes dos elementos de vedação e ao tempo de trabalho (Miot, Daleffe, Fernandes, 2020).

Os testes realizados mostraram que a técnica desenvolvida é capaz de detectar com sucesso falhas de rolamento em rolos de correia transportadora, apresentando resultados superiores a outras técnicas existentes. A detecção precoce de falhas em rolos de correia transportadora é crucial para garantir a segurança e a eficiência do transporte industrial e a abordagem descrita no artigo pode ser aplicada em diversos setores industriais (Zhou, 2021).

Estudos direcionados, atestam que o transportador de correia com almofada e a camada viscosa podem ser utilizadas com sucesso para melhorar a eficiência do transporte de materiais particulados em indústrias que requerem alta capacidade de transporte. Além disso, a pesquisa é um importante passo em direção à mudança de uma matriz energética mais limpa e sustentável nas atividades de transporte de grandes volumes de materiais (Zhang, 2019).

Os testes foram conduzidos em diferentes condições de operação, variando a velocidade da correia transportadora, em que a velocidade da correia e da quantidade de alimentação do material transportado na fricção entre a correia e a camada viscosa foram analisadas. O estudo mostrou que a adição de uma camada viscosa pode reduzir significativamente a resistência de transporte do material, melhorando a eficiência do sistema de transporte. Além disso, o uso do tambor helicoidal melhora a mistura do material transportado, o que aumenta ainda mais a eficiência (Keller, 2020).



2.2 VIABILIDADE ECONÔMICA DE UMA CORREIA AO REALIZAR MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A manutenção preventiva é definida como uma estratégia de manutenção planejada com o objetivo de reduzir o tempo de inatividade de equipamentos, melhorar a qualidade do produto, aumentar a segurança do trabalho, prolongar a vida útil do equipamento e reduzir custos de manutenção corretiva (Seo, 2021).

Ao pensar em fazer qualquer pesquisa ou aprimoramento de processos deve-se abordar e levar em consideração as variáveis financeiras e ambientais, avaliando-se os custos e benefícios, em evidência nesse caso a da manutenção preventiva em comparação com a manutenção corretiva, demonstrando que a primeira pode aumentar a eficiência, reduzir os custos e a emissão de poluentes (Mayanganie, 2021).

Buscando a melhor estratégia de manutenção para cada empresa, estudos mostram que a manutenção preventiva pode ser mais eficiente e rentável do que a manutenção corretiva, uma vez que evita paradas não programadas, reduzindo os custos e aumentando a disponibilidade do sistema. Além disso, a simulação permitiu avaliar diferentes cenários e identificar a estratégia mais adequada para cada empresa em termos de custos e benefícios (Sixto, et. al, 2021).

Desse modo, estudos apresentam uma contribuição importante para a gestão da manutenção de correias transportadoras, destacando a importância da manutenção preventiva para a redução dos custos e para o aumento da eficiência operacional. O uso de simulação como ferramenta de avaliação é destacado como uma opção viável e prática para identificar a melhor estratégia de manutenção para cada empresa (Seo, 2021).

Além de outros estudos realizados em empresas do setor manufatureiro que mostram que a adoção de um programa de manutenção preventiva está associada a uma melhoria significativa no desempenho operacional e financeiro das organizações. Destacando algumas práticas que podem ajudar as empresas a implementar com sucesso um programa de manutenção preventiva, como a definição clara de responsabilidades e cronogramas, o uso de tecnologias avançadas e o investimento em treinamento e capacitação de funcionários (Sixto et. al, 2021).

Com isso nota-se a necessidade de as empresas adotarem estratégias preventivas para otimizar a gestão dos equipamentos de transporte, tornando-os mais



rentáveis e menos prejudiciais ao meio ambiente. Essa abordagem promove a sustentabilidade empresarial, que é cada vez mais essencial para o sucesso dos negócios no mundo atual (Mayanganie, et al, 2021).

2.3 VIABILIDADE TÉCNICA DO USO ÓLEO EM COMPARAÇÃO A GRAXA

A troca de tambores com graxa por aqueles que utilizam óleo pode oferecer diversos benefícios significativos, especialmente em termos de desempenho, durabilidade e custo de manutenção. Os tambores lubrificados com óleo tendem a ter um atrito mais baixo em comparação com aqueles lubrificados com graxa. Isso resulta em menos desgaste dos componentes internos do tambor, como rolamentos, engrenagens e eixos. Conseqüentemente, a vida útil dos tambores lubrificados com óleo é geralmente mais longa, o que reduz a necessidade de substituições frequentes e os custos associados (Mishra, 2021).

A redução do atrito proporcionada pelo óleo pode resultar em uma operação mais suave e eficiente do equipamento. Isso pode levar a uma diminuição do consumo de energia e a uma produção mais consistente e confiável. Em muitos casos, os tambores lubrificados com óleo exigem menos manutenção do que aqueles lubrificados com graxa. A lubrificação com óleo pode ser mais fácil de aplicar e requer menos frequência de reaplicação. Isso pode reduzir os custos de mão de obra e tempo associados à manutenção do equipamento (Nagarajan, 2022).

Embora os tambores lubrificados com óleo possam ter um custo inicial ligeiramente mais alto, os benefícios a longo prazo em termos de menor necessidade de manutenção e substituição podem resultar em economias significativas. Essas economias podem ser especialmente notáveis em ambientes de produção de alta intensidade, onde o desgaste e a manutenção são fatores críticos. Em ambientes de operação desafiadores, como altas temperaturas, baixas temperaturas ou presença de contaminantes, os tambores lubrificados com óleo podem oferecer um desempenho mais consistente e confiável do que aqueles lubrificados com graxa. Isso pode resultar em menos paralisações não planejadas e maior disponibilidade do equipamento (Saxena, 2023).

Contudo a troca de tambores com graxa por aqueles que utilizam óleo pode proporcionar uma série de benefícios, incluindo redução do atrito e desgaste, melhoria na eficiência operacional, facilidade de manutenção, redução de custos a longo prazo



e desempenho aprimorado em condições adversas. Esses benefícios podem contribuir significativamente para a eficácia e a rentabilidade das operações industriais. Uma alternativa de estudo, seria a realização de ensaios de desgaste que podem reduzir a perda de tempo, custos e gastos com testes práticos nas indústrias (Fernandes et. Al, 2020).

3 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Os procedimentos experimentais desempenham um papel fundamental na pesquisa científica, podendo oferecer abordagens distintas, como sistemática por meio de hipóteses, relações casuais e gerar inovações. Ao modificar cuidadosamente certas variáveis e observar o que acontece, os experimentos ajudam os pesquisadores a confirmar suas teorias, garantir que seus resultados sejam confiáveis e entender melhor as relações de causa e efeito.

Além disso, os experimentos fornecem uma estrutura para explorar novos fenômenos, desenvolver teorias científicas robustas, aplicar descobertas na prática, tudo que possa contribuir significativamente para o avanço do conhecimento em diversas áreas.

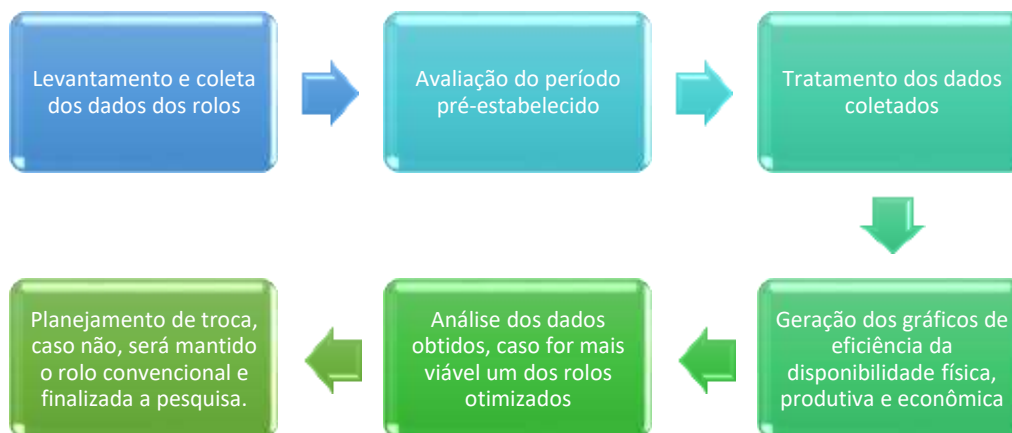
Já o aprimoramento de um processo com base em testes é um tipo de procedimento experimental. Que por meio de contexto os testes são realizados para avaliar diferentes abordagens, métodos ou ajustes em um processo existente, com o objetivo de melhorar sua eficiência, qualidade ou desempenho geral.

Os experimentos podem envolver a manipulação controlada de variáveis, a coleta de dados e a análise dos resultados para determinar quais mudanças são mais benéficas. Sendo um tipo de abordagem designada às áreas como engenharia, manufatura, gestão de operações e desenvolvimento de produtos, onde a otimização contínua é essencial para alcançar melhores resultados.

O procedimento em estudo, iniciou com a coleta dos dados, do rolo convencional e do rolo helicoidal, estabelecendo primeiramente um período em que possibilite a realização dos tratamentos e análise dos resultados. Gerando por meio desses gráficos de eficiência da disponibilidade física, produtiva e econômica.

Por meio deste contexto obtém-se qual dos dois tambores é o mais viável e aplicável, determinando se o tambor analisado, terá a necessidade do planejamento de troca, sendo realizado, conforme as etapas apresentadas na Figura 3.

Figura 3: Etapas do procedimento experimental.



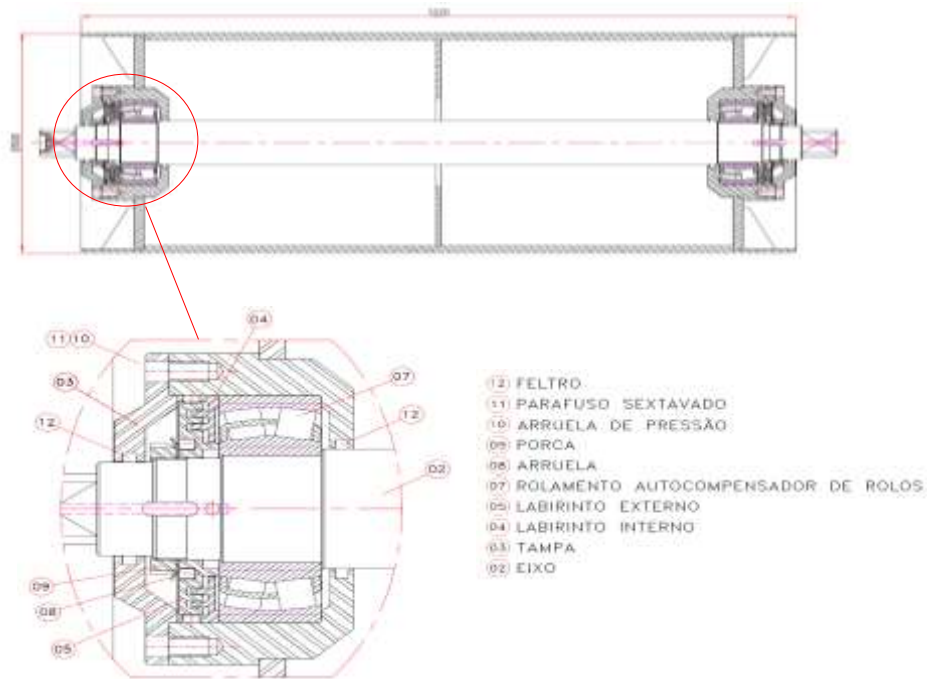
Fonte: Do autores (2023).

O procedimento que foi aplicado tem como fundamento a análise de dados, disponibilizado pela empresa Carbonífera Metropolitana S.A., decidindo qual dos dois tambores é o mais viável economicamente. Isso foi proporcionado por meio de orçamentos realizados com cinco empresas, com base na disponibilidade dos desenhos fornecidos às empresas, para assim ter um padrão contendo todos os elementos e medidas necessárias para a sua fabricação, para assim obter uma média de custos do tambor normal e do tambor helicoidal.

O rolo convencional é um rolo movido, que é projetado para girar quando uma força externa é aplicada, seja através de um motor, correia ou outro mecanismo de acionamento. Eles podem ser revestidos com borracha ou outros materiais para fornecer aderência ou proteção adicionais, dependendo das necessidades específicas do processo.

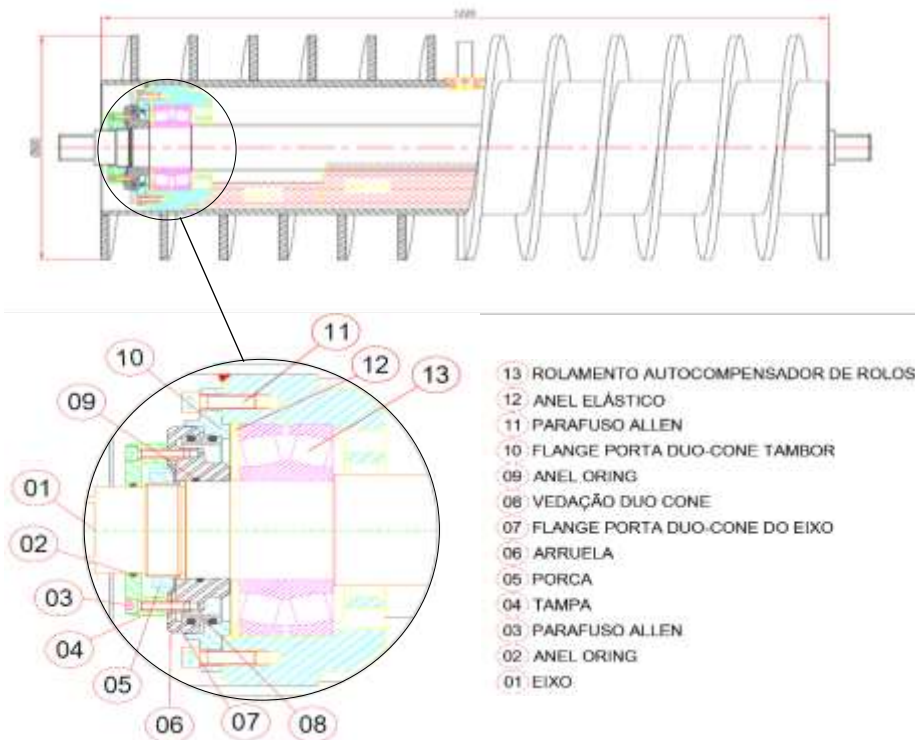
Nesse caso, a empresa Carbonífera Metropolitana usa tambor revestido por uma camada de borracha, sendo ele lubrificado seus componentes com graxa e suas dimensões macros são o diâmetro de 500 mm e seu comprimento de 1 220 mm, conforme a Fig. 4.

Figura 4: Tambor convencional, utilizado nas carboníferas da região.



Fonte: Dos Autores, 2023.

Figura 5: Tambor helicoidal do estudo a ser aplicado.



Fonte: Dos Autores, 2023.

O rolo helicoidal por sua vez não possui revestimento e a lubrificação de seus componentes é realizada pelo lubrificante que se concentra em seu interior, que é o óleo. As suas dimensões macros são as mesmas, sendo o diâmetro de 500 mm e seu comprimento de 1 220 mm, conforme as Fig. 5 e 6.

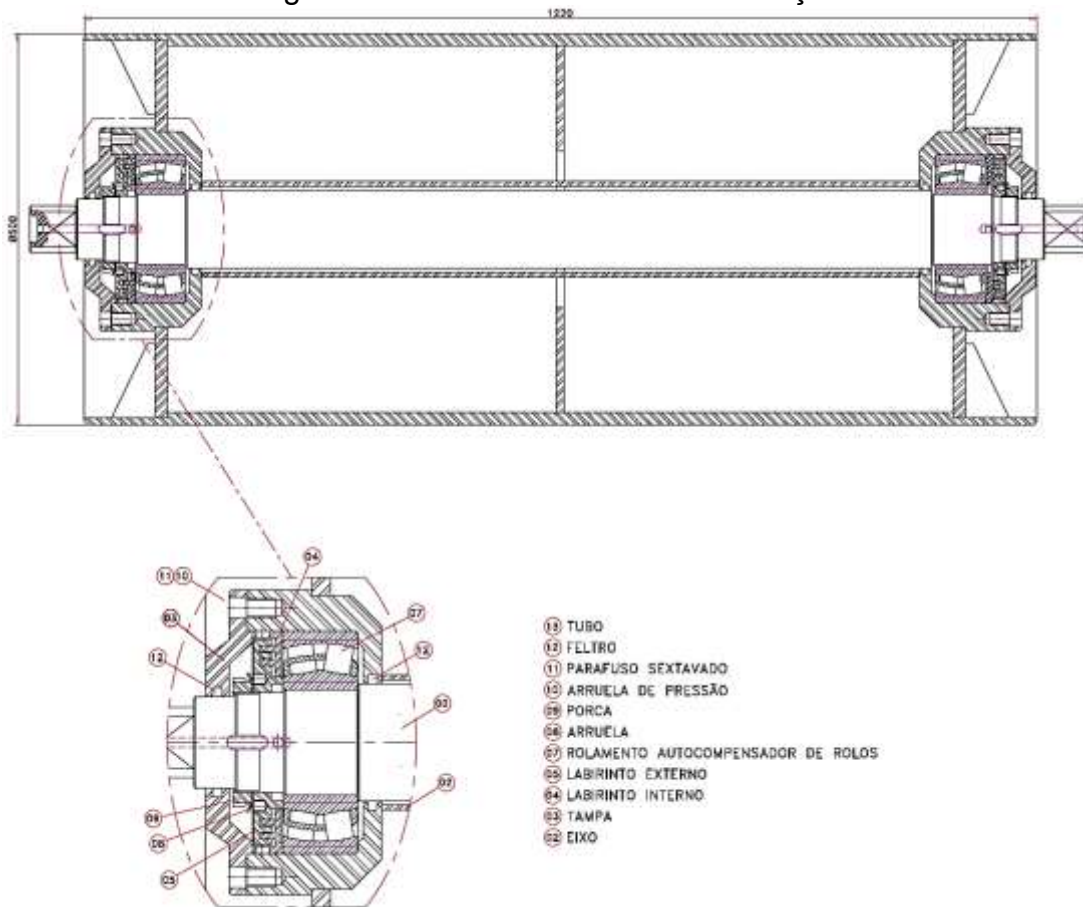
Figura 6: Tambor Helicoidal.



Fonte: Dos Autores, 2023

O tambor movido com tubo de contenção interna com e sem revestimento de uma camada de borracha, depende do local onde foi instalado. Sendo ele lubrificado com graxa e suas dimensões macros são: diâmetro de 500 mm e seu comprimento de 1220 mm, conforme a Fig. 7 e 8.

Figura 7: Tambor com tubo de contenção interna.



Fonte:

Dos Autores, 2023.

Figura 8: Tambor Helicoidal.



Fonte: Dos Autores, 2023

Além da parte orçamentária desse processo, também foram recolhidos dados do servidor da empresa, conforme a Fig. 9. Nessa planilha, as informações são lançadas através dos boletins de operação dos trabalhadores, o que permitiu estipular um comparativo de funcionalidade dos dois tambores, comprando o tempo de vida

útil de ambos. Isso é possível, pois a empresa colocou-os eles em prática e monitoramento em meio a sua operação, em um período de aproximadamente 36 a 48 meses.

Figura 9: Imagem do servidor

Corretiva		Preventiva		
Descr. Conjunto	Pedido por	Centro Custo	Descrição Centro de Custo	Serviço Solicitado
CORREIAS TRANSPORTAD	INSPECTOR	1.301	CT-01 Mina Fontanella	Trocar roletes de carga danificados
CORREIAS TRANSPORTAD	INSPECTOR	1.301	CT-01 Mina Fontanella	Trocar roletes de retorno danificados
CORREIAS TRANSPORTAD	INSPECTOR	1.301	CT-01 Mina Fontanella	Correia pegando no suporte de retorno em 4
CORREIAS TRANSPORTAD	INSPECTOR	1.301	CT-01 Mina Fontanella	Trocar parafuso de fixação gasto na metade
CORREIAS TRANSPORTAD	INSPECTOR	1.302	CT-02 Mina Fontanella	Trocar roletes de carga danificados
CORREIAS TRANSPORTAD	INSPECTOR	1.302	CT-02 Mina Fontanella	Trocar roletes de retorno danificados
CORREIAS TRANSPORTAD	INSPECTOR	1.304	CT-04 Mina Fontanella	Engatar rolos do cabeçote
CORREIAS TRANSPORTAD	INSPECTOR	1.304	CT-04 Mina Fontanella	Correia pegando nos pés no TV 01
CORREIAS TRANSPORTAD	INSPECTOR	1.304	CT-04 Mina Fontanella	Ajustar rolete guia no TV 01 lado esquerdo
CORREIAS TRANSPORTAD	INSPECTOR	1.304	CT-04 Mina Fontanella	Center correia, varrer pontos a correia está

Fonte: Dos Autores, 2023.

Com isso, também realizamos um acompanhamento dos tambores visando detectar os principais elementos que necessitam de manutenção ou reparo corretivo ou preventivo durante sua operação, determinando um período em comum aos dois, buscando saber qual dentre esses dois tipos apresentará mais benefícios de custos em relação a sua manutenção.

O equipamento, foi comparado usando como base a gestão de dados o OEE (Eficiência Global do Equipamento), por meio de gráficos que facilitam a comparação e demonstração dos resultados obtidos.

Outro resultado que busca-se por meio dos dados trabalhados e disponibilizados, chegar a um valor de custo de manutenção e de fabricação, para assim validar qual destes tambores é mais favorável para o processo da empresa. Sendo por permanecer com os tambores normais já utilizados ou passar a utilizar os tambores que foram estudados, se isso se aplicar será realizado estudo de planejamento de troca, levando em conta a necessidade de tempo para isso, para assim conseguir remanejar todos sem a necessidade de um investimento instantâneo.

A substituição de componentes industriais é uma decisão crítica para as operações e finanças de uma empresa. Antes de implementar uma mudança, é essencial realizar uma avaliação econômica detalhada para determinar se o novo componente é economicamente vantajoso em comparação com o antigo. Neste contexto, será realizado o cálculo do *payback* do equipamento.



A escolha da melhor abordagem para avaliação econômica de substituição de componentes dependerá das características específicas do componente, do contexto da substituição e dos objetivos do projeto. Uma análise abrangente que combine várias dessas técnicas pode fornecer uma visão mais completa da viabilidade econômica da substituição do componente, ajudando as empresas a tomar decisões informadas e eficazes para melhorar suas operações.

O período de *payback* é um método básico para avaliar a viabilidade de um projeto ou investimento. Ele é definido como o tempo necessário para recuperar o investimento inicial, podendo ser expresso em anos, meses, semanas, etc. Para calcular o período de *payback* de um projeto, soma-se os valores dos fluxos de caixa recebidos em cada período até que o total acumulado iguale o valor do investimento inicial. O período em que essa soma se completa é o período de *payback*.

Apesar de sua simplicidade e rapidez na obtenção de resultados, e de oferecer uma medida preliminar de risco (indicando que quanto menor o período de *payback*, mais líquido e menos arriscado é o investimento). Analisando o *payback* de uma peça específica é fundamental para entender sua viabilidade financeira e determinar se o investimento inicial será compensado ao longo do tempo. O *payback* é uma métrica que calcula o tempo necessário para recuperar o investimento inicial com os lucros gerados pelo projeto ou pela peça em questão.

Primeiramente, é importante considerar e entender o custo inicial da peça, incluindo sua compra, instalação e eventuais custos adicionais, como manutenção e reparos. Em seguida, é necessário estimar os benefícios financeiros que a peça proporcionará, como aumento na produção, redução de custos operacionais ou melhoria na qualidade do produto final.

Uma análise detalhada também deve considerar a vida útil da peça, pois isso afetará diretamente o período de tempo em que os benefícios serão colhidos. Além disso, é crucial levar em conta o fluxo de caixa ao longo do tempo, considerando possíveis variações nos lucros e nos custos operacionais.

Uma vez que todos esses dados estejam disponíveis, o cálculo do *payback* pode ser feito. O *payback* é determinado pelo tempo necessário para que os fluxos de caixa positivos provenientes da peça igualem o investimento inicial. Um *payback* mais curto geralmente indica uma maior viabilidade financeira do projeto.

Em resumo, analisar o *payback* de uma peça específica é uma etapa essencial no processo de tomada de decisão de investimento, fornecendo *insights*

valiosos sobre a viabilidade financeira do projeto e ajudando a garantir que os recursos sejam alocados de forma eficiente e eficaz.

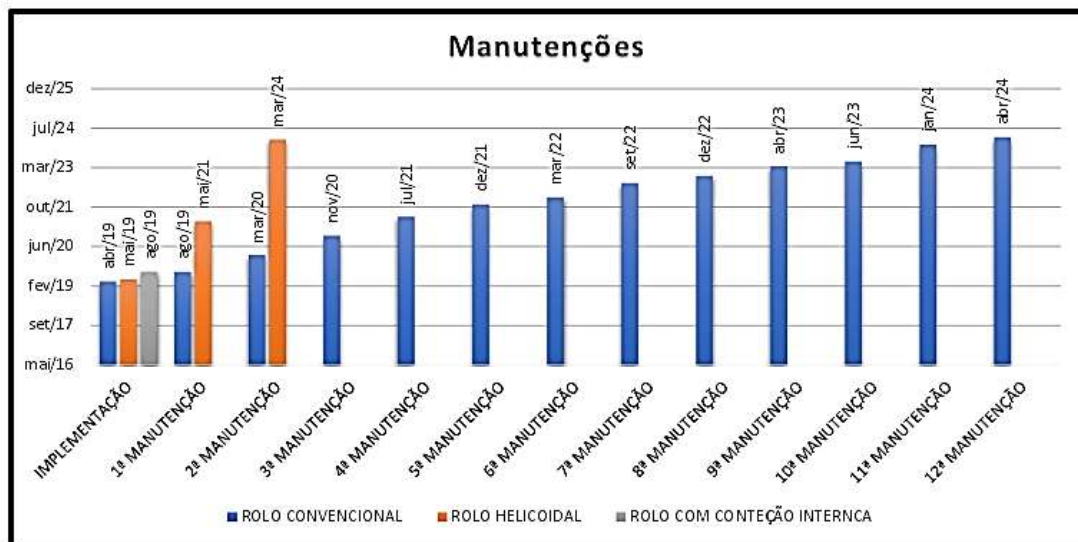
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa do trabalho será analisado os dados obtido por meio do sistema da mina denominado SGE, ou seja, o servidor da empresa, para analisar assim os dados obtidos e comparar se os dois tambores técnicos superam o convencional, e qual deles será mais vantajoso se aprovado para a empresa.

4.1 COLETA DE DADOS DO SERVIDOR E INFORMAÇÕES

Para o início da avaliação dos dados segue abaixo a Fig. 10, com dados retirados do sistema da mina denominado SGE, de uma forma mais breve para melhor interpretação e realização da análise.

Figura 10 – Dados obtidos via sistema da empresa.



Fonte: Dos autores (2024)

Com os dados das datas, foi retirado do sistema o motivo na qual foi necessário realizar a manutenção e os gastos que teve em cada mês. Na Tab. 1 são apresentados os valores de manutenção nos tambores convencionais. Sendo implementado uma unidade do modelo proposto em condições igualitárias aos outros modelos de tambores que foram desenvolvidos e implementados.



Tabela 1 – Manutenções do Tambor Convencional.

ROLO CONVENCIONAL		
DATA	DESCRIÇÃO MANTENÇÃO FEITA	VALOR APROXIMADO
ago/19	TROCA DE ROLAMENTO E VEDAÇÕES.	R\$ 2 678,47
mar/20	TROCA DE ROLAMENTO E VEDAÇÕES.	R\$ 2 678,47
nov/20	TROCA CARCAÇA, CARCAÇA DANIFICADA	R\$ 12 122,00
jul/21	TROCA DE ROLAMENTO E VEDAÇÕES.	R\$ 2 678,47
dez/21	TROCA DE ROLAMENTO E VEDAÇÕES.	R\$ 2 678,47
set/22	TROCA DE ROLAMENTO E VEDAÇÕES.	R\$ 2 678,47
dez/22	TROCA DE ROLAMENTO E VEDAÇÕES.	R\$ 2 678,47
abr/23	TROCA CARCAÇA, CARCAÇA DANIFICADA	R\$ 12 122,00
jun/23	TROCA DE ROLAMENTO E VEDAÇÕES.	R\$ 2 678,47
jan/24	TROCA DE ROLAMENTO E VEDAÇÕES.	R\$ 2 678,47
abr/24	TROCA DE ROLAMENTO E VEDAÇÕES.	R\$ 2 678,47

Fonte: Dos autores (2024).

As informações do tambor helicoidal, para poder fazer a comparação das manutenções realizadas, são apresentadas na Tab. 2. Sendo este também implementado nas mesmas condições e quantidade dos demais analisados neste estudo.

Tabela 2 – Manutenções do Tambor Helicoidal.

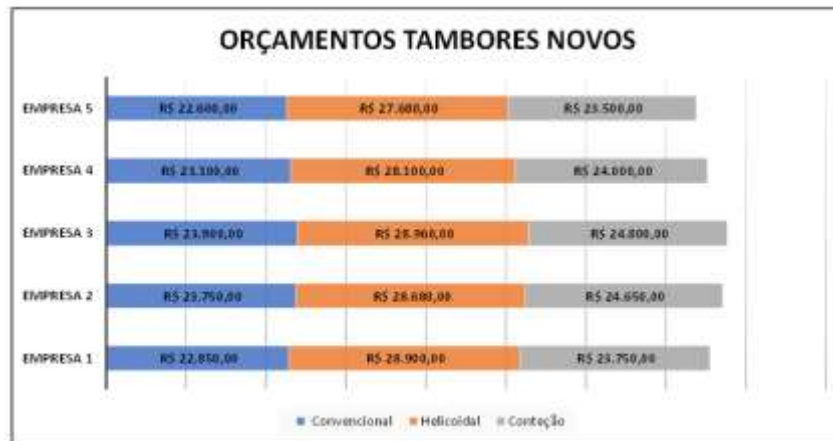
ROLO HELICOIDAL		
DATA	DESCRIÇÃO MANTENÇÃO FEITA	VALOR APROXIMADO
mai/21	TROCA DE ANEL DUO-CONE, COM VAZAMENTO.	R\$ 2.738,90
jan/24	TROCA DE ANEL DUO-CONE, COM VAZAMENTO.	R\$ 2.738,90

Fonte: Dos autores (2024)

Por fim, as informações do tambor com contenção interna foram obtidas do mesmo método dos demais, porém este constatou-se que não sofreu nenhuma manutenção até junho de 2024. Assim, foi considerado que seu tempo sem manutenções superou os outros, no quesito de reparo e manutenção.

Foram executados orçamentos com cinco empresas para obter uma média de valores para a realização dos cálculos do investimento e para analisar qual deles é mais viável, conforme a Fig. 11.

Figura 11 – Valores para implantação dos rolos



Fonte: Dos autores (2024).

A partir desses orçamentos foi realizada a média para o desenvolvimento dos cálculos base para a realização da análise, apresentados na Tab. 3.

Tabela 3 – Média dos Orçamentos.

Média dos Orçamentos	TAMBORES		
	Convencional	Helicoidal	Contenção
R\$	23.240,00	28.464,00	24.140,00

Fonte: Dos autores (2024)

4.2 CÁLCULOS PAYBACK PARA A ANÁLISE DO INVESTIMENTO

O tambor convencional tem custo inicial de R\$ 23.240,00, com os custos de manutenção em cinco anos, com doze manutenções e em cada manutenção um custo médio de R\$ 2.678,47. Totalizando nos cinco anos um valor de R\$ 23.240,00 + (10 x R\$ 2.678,47 + 2 x 12.122,00) = R\$ 74.2468,70.

O tambor helicoidal tem custo inicial de R\$ 28.464,00, com os custos de manutenção em cinco anos, com três manutenções e em cada manutenção um custo médio de R\$ 1.428,47. Totalizando nos cinco anos um valor de R\$ 28.464,00 + (3 x R\$ 2.738,90) = R\$ 36.680,70.

O tambor com contenção interna tem custo inicial de R\$ 24.140,00, com os custos de manutenção em cinco anos, com zero manutenções até junho de 2024. Totalizando nos cinco anos um valor de investimento de R\$ 24.140,00.



Na sequência realizamos o cálculo de base de investimento que seria o *Payback*, o cálculo mais simples e rápido para uma análise. Sendo assim, $Payback = \text{Investimento Inicial} / \text{Fluxo de Caixa Anual}$ *Payback*.

Para o fluxo de caixa anual foi considerado o valor da manutenção do tambor convencional descontando o valor de manutenção de cada um dos tambores que estão sendo estudados, com isso podemos ter uma noção em relação à peça ou equipamento em estudo.

Sabendo disso é necessário realizar os cálculos utilizando como base o que o tambor helicoidal e de contenção interna economizou em relação ao convencional no quesito manutenção, para isso seguem os resultados obtidos, na Fig. 12.

Figura 12 – Calculos com Payback.

CONVENCIONAL VALOR MANUTENÇÃO	→	$(10 * 2.678,47 + 2 * 12.122,00)$	→	R\$ 51.028,70
TAMBOR HELICOIDAL	→	$\frac{28.464,00}{(51.028,70 - (3 * 2.738,90))}$	→	0,669 ANOS
TAMBOR CONTENÇÃO	→	$\frac{24.140,00}{51.028,70}$	→	0,473 ANOS

Fonte: Dos autores (2024)

4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Ao analisar um investimento, uma empresa deve considerar diversos aspectos para garantir sua viabilidade e sucesso. Inicialmente, é crucial avaliar a viabilidade econômica e financeira. Para analisar se o projeto é importante para a empresa, levar em consideração a qualidade do novo projeto e o número de manutenções geradas.

Um dos aspectos importantes a ser citado é a mudança e a forma que vai ser realizada, e considerar o que se torna mais prático e mais acessível quanto ao seu custo benefício. Ao analisarmos isso, o tambor com contenção interna é uma adaptação do tambor convencional, tornando essa alteração mais acessível em valores e na praticidade de troca e reaproveitamento dos tambores existentes, ao se comprar com os demais tambores desenvolvidos no estudo.



Do ponto de vista técnico, a empresa deve verificar a viabilidade técnica do investimento, assegurando que os recursos tecnológicos e operacionais são adequados. A capacidade de implementação deve ser analisada para garantir que a infraestrutura, habilidades da equipe e cronograma de execução sejam apropriados.

Por isso fica mais acessível trocar o tambor convencional pelo tambor com contenção interna ao realizar uma manutenção, pois para isso ocorrer, pode ser feita uma adaptação ou melhoria no tambor convencional.

A empresa Carbonífera Metropolitana realiza suas manutenções dentro da empresa com sua própria mão de obra, porém é necessário fazer um plano de troca. Pois a empresa possui hoje na mina Fontanella cerca de vinte e quatro transportadores contínuos e na Mina Leste Esperança três quantidades de transportadores contínuos. Não há possibilidade em realizar essa troca em uma só vez, pois cada um desses transportadores contínuos tem cerca de quatro a cinco tambores movidos, dependendo dos modelos de correrias que estão montadas em cada conjunto.

Portanto é sugerido nesse caso realizar a troca ou melhoria do tambor, quando este vir a superfície realizar a sua manutenção corretiva ou preventiva. Para assim realizar aos poucos e a empresa não ser submetida a um choque inesperado na sua questão econômica, podendo assim investir e ter retorno com o tempo certo.

Na tab. 4, pode ser observada uma estimativa do valor por tambores adaptados, considerando o valor da manutenção já inclusa, que foi utilizado o valor de manutenção mais presente que seria o motivo de troca de rolamentos e vedações.

Tabela 4 – Comparação de valores, adaptação x novo.

TAMBOR COM CONTEÇÃO INTERNA		
ADAPTAÇÃO	X	NOVO
R\$ 3.510,31	Em comparação com o valor de um novo, se torna muito mais visível a adaptação para a empresa.	R\$ 24.140,00

Fonte: Dos autores (2024).

O tambor de contenção interna se torna mais viável, fazendo sua adaptação dentro da empresa, pois não há muita dificuldade ao fazer a adaptação do tubo de contenção interna. Apesar da mão de obra da empresa ser interna, ela é capaz de realizar tal procedimento. O tambor de contenção interna teve um ótimo



desempenho, atuando até os dias de hoje sem a realização de nenhuma manutenção corretiva por quebra ou desgastes.

Em resumo, a análise detalhada desses fatores financeiros, técnicos e estratégicos permite que a empresa tome decisões mais acertadas, mitigando riscos e maximizando os retornos potenciais de seus investimentos, obtendo assim um resultado mais que satisfatório em relação aos tambores movidos, tanto para a pesquisa quanto para a empresa, pois esta avaliação técnica e econômica se sobressaiu ao mostrar que a adaptação dos tambores já existente ao fazer a manutenção é uma ótima opção para economia e para diminuir a quantidade de manutenção presentes destes elementos.

5 CONCLUSÃO

Com base nos resultados da pesquisa sobre tambores de transportador contínuo, é evidente que cada tipo de tambor apresenta vantagens e desafios distintos em termos de manutenção e desempenho operacional. O tambor movido convencional enfrenta desafios significativos de manutenção devido à dificuldade de acesso para lubrificação e à tendência de acumular resíduos na correia transportadora, enquanto o tambor helicoidal oferece uma solução promissora ao integrar a lubrificação interna com a capacidade de expulsar os resíduos para fora da correia.

No entanto, a falta de recursos humanos para realizar a limpeza dos resíduos expulsos pode resultar em problemas adicionais de entupimento da correia. Por fim, o tambor com contenção interna apresenta uma abordagem mais robusta, oferecendo um plano de contingência através do tubo interno e do revestimento em borracha, resultando em uma vida útil prolongada e uma redução significativa na necessidade de manutenção, apesar do desafio contínuo de acumulação de resíduos.

Embora cada tipo de tambor tenha suas próprias vantagens e desafios, fica claro que o tambor com contenção interna está revelando-se como uma opção mais viável atualmente, devido à sua durabilidade prolongada e à redução correspondente na necessidade de manutenção. Considerando também os aspectos econômicos, a análise dos investimentos nos diferentes tipos de tambores de transportador contínuo se torna ainda mais crucial.



O tambor com contenção interna oferece uma melhor relação custo-benefício a curto prazo, apesar de um custo inicial ligeiramente mais alto, devido aos benefícios em termos de durabilidade e redução de custos de manutenção ao longo do tempo, proporcionando um retorno mais favorável sobre o investimento inicial. Portanto, do ponto de vista econômico e técnico, a aquisição do tambor com contenção interna revelou-se como a escolha mais viável, garantindo desempenho operacional ideal e economias significativas a curto prazo.

REFERÊNCIAS

- AGUIAR, G.T.; DALEFFE, A.; MARCH, G. MILANEZ, A.; CAVALER, L.C.C.; **Estudo para Melhoria no Processo de Fabricação de Rolos Utilizados em Transportador de Correia.** Periódico Científico da UniSATC, v.8, n. 2, p. 469-489, jul./dez., 2023.
- FERNANDES, T.S.; DALEFFE, A.; ROSA, M.; ZANINI, L.C.; MILANEZ, A. **Análise de Desgaste nas Lastrinas da Caixa Matriz na Indústria de Revestimento Cerâmicos.** Braz. J. of Develop., Curitiba, v. 6, n. 11, p.85756-85774. 2020.
- HABIB, N. Z.; ISMAIL, M.; YASIN, M. M. **Uma comparação do cálculo de tensão efetiva para o projeto de correias transportadoras entre os padrões CEMA e DIN.** Avanços na pesquisa de engenharia, [s.l.], v. 28, n. 1, p. 1-10, 2020.
- KELLER, M. et al. **Um novo projeto de um rolo de correia transportadora inteligente para monitorar condições operacionais críticas.** Análise de falhas em Engenharia, v. 111, p. 105198, 2020.
- LODEWIJKS, G. Precisão do modelo de um secador térmico de correia transportadora com lâminas raspadoras ajustáveis em altura. Tecnologia do Pó, 354, 315-322, 2019.
- MAYANGANIE, R. et al. **Um estudo sobre o estabelecimento de um modelo econômico para gerenciamento de manutenção de transportadores na indústria de mineração.** Política de Recursos, v. 71, p. 101859, 2021.
- MIOT, J.; DALEFFE, A.; FERNANDES, W.Z. **Estudo Comparativo de Eficiência e Confiabilidade entre Elevadores à Relé Associados à Máquinas com Engrenagem e Elevadores Microprocessados Associados à Máquinas sem Engrenagem.** Revista Vincci–Periódico Científico da Faculdade SATC, v.5, n. 2, p. 154-171, jul./dez. 2020
- MISHRA, R. K., & PANDEY, R. K. **Análise Comparativa de Lubrificação a Óleo e Lubrificação a Graxa para Melhor Desempenho de Rolamentos.** IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1076(1), 012040. doi:10.1088/1757-899X/1076/1/012040, 2021



NAGARAJAN, K., & GOVINDARAJAN, S. **Estudo Experimental sobre o Desempenho de Lubrificadores com Óleo e Lubrificadores com Graxa.** Journal Bearings in Industrial Applications. Tribology Transactions. doi:10.1080/10402004.2022.2067855, 2022.

SAXENA, A., & PANDEY, R. K. **Análise comparativa de desempenho de lubrificação com óleo e graxa na indústria.** Gearboxes. Journal of Tribology. doi:10.1115/1.4049755, 2023.

SEO, J. et al. **Estudo da viabilidade econômica da manutenção preventiva de correias transportadoras utilizando simulação.** Journal of Mechanical Science and Technology, v. 35, n. 2, pág. 683-690, 2021.

SIXTO, Melissa B.; ABAD, Jocelyn S. **Entendendo a manutenção preventiva: sua relação com o desempenho da empresa.** Journal of Manufacturing Technology Management, v. 32, n. 5, pág. 1104-1117, 2021.

SZYMANSKI, J. **Estratégias para Reduzir o Consumo de Energia em Correias Transportadoras.** Energies, v. 14, n. 5, p. 1351, 2021.

YAO, W. et al. **Rolos preenchidos com líquido iônico que expõem óleo em sistemas de correias transportadoras.** Journal of Cleaner Production, v. 270, p. 122703, 2020.

ZHANG, X. et al. **Sobre a interação de um filme viscoso e correia transportadora deformável em correia transportadora de almofada de ar.** Pesquisa Química Industrial e de Engenharia, 2019.

ZHOU, Q. et al. **Deteção de falhas de rolamento do rolo de correia transportadora usando SS-LSSVM e entropia diferencial.** Measurement, v. 183, p. 342-357, 2021.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por ter me proporcionado chegar até aqui, a minha família por tanto apoio e dedicação para me ajudar em cada etapa da minha vida, ao meu namorado que sempre está disposto a fazer o necessário para as coisas darem certo, ao meu orientador que não mediu esforços para me auxiliar em todo o decorrer deste trabalho. Ao professor e a empresa por estarem sempre propostos a ouvir e apoiar nessa pesquisa.