

ESTUDO DE DESEMPENHO DE POLIMERO APLICADO A REVESTIMENTO DE RODAS DE TRANSPORTADORES AEREOS

Diogo Gabriel Cavalheiro¹
Vanderson Almorin²
Maico Fernando Wilges Carneiro³
Euclésio Giuliani⁴

RESUMO

O presente trabalho aborda o processo de movimentação de cargas utilizando transportadores aéreos nas operações industriais, enfatizando a importância da aplicação de revestimentos poliméricos em talhas de movimentação. O estudo tem como objetivo avaliar a eficácia desses revestimentos na redução do desgaste superficial e no aumento da vida útil das rodas de tração e movidas, bem como do perfil metálico utilizado no deslocamento. A pesquisa adota uma abordagem aplicada e experimental, envolvendo a seleção de materiais poliméricos adequados, a análise do desempenho em condições reais de operação e a comparação entre talhas com e sem revestimento. Os resultados obtidos demonstram que o uso de revestimentos poliméricos contribui significativamente para a diminuição do atrito e do desgaste, proporcionando maior durabilidade e eficiência ao conjunto talha–perfil. Além disso, a proposta mostrou potencial para reduzir custos de manutenção e paradas não programadas, reforçando a importância da adoção de soluções sustentáveis e tecnológicas na manutenção preventiva industrial.

Palavras-chave: Revestimentos poliméricos. Talhas de movimentação. Desgaste superficial. Manutenção preventiva.

1 INTRODUÇÃO

A movimentação de cargas constitui uma das atividades mais relevantes no contexto industrial, pois garante o transporte seguro, eficiente e contínuo de materiais, insumos e produtos acabados ao longo do processo produtivo. Essa operação é fundamental para o bom desempenho das linhas de produção, contribuindo diretamente para a produtividade e a segurança no ambiente de trabalho. Entre os equipamentos utilizados para essa finalidade, destacam-se as talhas mecânicas e elétricas, amplamente aplicadas em diversos setores industriais devido à sua versatilidade, robustez e capacidade de elevação de cargas de diferentes dimensões e pesos. Embora apresentem desempenho confiável, a eficiência desses sistemas depende diretamente das condições de interação entre as superfícies responsáveis pela tração e pelo deslocamento. Entretanto, o contato direto e contínuo entre as rodas de tração da talha e o perfil metálico de deslocamento provoca atrito e desgaste progressivo das superfícies em

¹ Graduando (a) em Engenharia Mecânica (UCEFF, 2025). E-mail: diogo2cavalheiro@gmail.com

² Maior Orientador Espec. em Engenharia Mecânica -UCEFF Faculdades E-mail:Vanderson@edu.uceff.br

³ Docente da UCEFF Faculdades.

⁴ Docente da UCEFF Faculdades.

contato, reduzindo a vida útil do conjunto e elevando os custos com manutenção e substituição de componentes (Souza; Medeiros, 2020).

Esse desgaste, quando acumulado, não apenas compromete a durabilidade das peças, mas também aumenta o risco de falhas operacionais, especialmente em ambientes onde o transporte de cargas ocorre de forma intensa e contínua. Diante desse cenário, torna-se necessário buscar soluções que minimizem o atrito e assegurem maior confiabilidade ao sistema. Nesse contexto, a aplicação de materiais poliméricos como revestimento tem se mostrado uma alternativa promissora para minimizar os efeitos do atrito, prolongar a durabilidade dos componentes e aumentar a eficiência operacional dos sistemas de movimentação. Os materiais poliméricos destacam-se por apresentarem propriedades específicas, como baixo coeficiente de atrito, elevada resistência ao desgaste e capacidade de absorção de impactos, características que os tornam adequados para aplicações tribológicas e para ambientes industriais severos (Callister; Rethwisch, 2018).

Dentre os polímeros com maior potencial de aplicação em rodas e guias de transportadores aéreos, destacam-se a poliamida (PA), o poliacetal (POM) e o poliuretano (PU), amplamente utilizados em sistemas mecânicos sujeitos a esforços repetitivos e atrito constante. Esses materiais, devido às suas propriedades tribológicas e à elevada resistência mecânica, apresentam desempenho comprovado em aplicações que exigem estabilidade dimensional e absorção de choques, justificando sua seleção para o presente estudo. Dessa forma, a presente pesquisa busca responder à seguinte questão-problema: **a aplicação de revestimentos poliméricos em rodas de tração e movidas de talhas de movimentação de cargas pode reduzir o desgaste superficial e aumentar a vida útil do conjunto talha–perfil em condições industriais de operação?**

O principal objetivo deste estudo é avaliar a eficácia da aplicação de revestimentos poliméricos em talhas de movimentação de cargas, verificando seu impacto na redução do desgaste e no prolongamento da vida útil do equipamento e do perfil estrutural. Especificamente, a pesquisa visa identificar qual a formulação de PU mais indicada para essa utilização e analisar o comportamento das rodas revestidas em condições reais de operação, comparar o desempenho com talhas sem revestimento e validar os resultados obtidos em ambiente industrial.

A relevância deste estudo está associada à importância da manutenção preventiva e à busca por soluções técnicas que aumentem a durabilidade e a confiabilidade dos sistemas de movimentação de cargas. Assim, a pesquisa justifica-se pela necessidade de desenvolver

soluções que aliem desempenho técnico, economia de recursos e sustentabilidade, contribuindo para a evolução de práticas industriais mais seguras e duradouras. Espera-se, ao final do estudo, comprovar a viabilidade técnica da aplicação de revestimentos poliméricos em talhas industriais, oferecendo subsídios para futuras melhorias nos sistemas de movimentação de cargas e para a ampliação da vida útil dos equipamentos

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A fundamentação teórica tem como objetivo apresentar conceitos, pesquisas e discussões científicas relacionadas aos processos de movimentação de cargas, aos mecanismos de desgaste, à tribologia e ao uso de revestimentos poliméricos aplicados a componentes mecânicos. Essa revisão permite contextualizar o fenômeno investigado e estabelecer relações diretas com os dados apresentados posteriormente na análise dos resultados, conforme orientam Vergara (2000).

2.1 SISTEMAS DE MOVIMENTAÇÃO DE CARGAS E TALHAS INDUSTRIAIS

Os sistemas de movimentação de cargas desempenham papel essencial na indústria moderna, possibilitando o transporte eficiente e seguro de materiais em ambientes produtivos. As talhas — sejam mecânicas, manuais ou elétricas — figuram entre os equipamentos mais utilizados nesses processos. De acordo com Hibbeler (2014), esses dispositivos operam por meio de princípios de máquinas simples, como roldanas, engrenagens e mecanismos de tração que permitem elevar e deslocar cargas de diferentes magnitudes, utilização de talhas em estruturas aéreas ou em transportadores suspensos tornou-se comum em linhas de montagem, setores automotivos e instalações logísticas. Slack *et al.* (2019) destacam que sistemas aéreos elevam a produtividade por reduzirem interferências no espaço de trabalho, criando fluxos contínuos e otimizados. As rodas que sustentam esses sistemas percorrem perfis metálicos, o que ocasiona, ao longo do tempo, desgaste abrasivo e deformações superficiais onde o contato direto das superfícies metálicas durante a movimentação pode ocasionar elevados índices de desgaste quando não se aplica o controle adequado de lubrificação ou dos materiais. Tal consideração reforça a importância de estratégias de redução de atrito, como a aplicação de materiais poliméricos nessas interfaces de contato.

2.2 TRIBOLOGIA: ATRITO, LUBRIFICAÇÃO E DESGASTE

A tribologia é o campo responsável pelo estudo do atrito, desgaste e lubrificação entre superfícies em movimento relativo. Hutchings e Shipway (2017) afirmam que compreender esses fenômenos é crucial para o desenvolvimento de sistemas eficientes e duráveis em aplicações industriais. O desgaste, especialmente em componentes metálicos, resulta em perda de material, aumento dos esforços de tração, maior consumo energético e redução da vida útil dos equipamentos.

Segundo Blau (2009), o desgaste pode ocorrer por mecanismos como abrasão, adesão, fadiga superficial e corrosão. Em sistemas de talhas e transportadores aéreos, a abrasão é predominante, pois ocorre contato contínuo entre rodas metálicas e perfis de aço. Hutchings (1992, p. 65) afirma que “o desgaste abrasivo está entre os mais destrutivos, pois remove material por corte ou abrasão de partículas”.

A lubrificação é frequentemente aplicada para minimizar tais efeitos porem em sistemas de transporte da indústria alimentícia isso é dispensado devido a possibilidade de contaminação da matéria prima, sendo assim a busca por outras formas de melhorar o desempenho e vida útil dos equipamentos tornam-se uma solução tecnicamente viável;

2.3 TRANSPORTADORES AÉREOS E MECANISMOS DE CONTATOS EM RODAS DE TALHAS

Transportadores aéreos são sistemas compostos por trilhos metálicos, rodas e dispositivos de tração responsáveis pela movimentação suspensa de cargas. Segundo Rosenfeld e Martins (2021), esses sistemas apresentam vantagens como menor interferência no solo e maior controle sobre a movimentação. Contudo, existe uma limitação: o desgaste provocado pelo contato direto entre rodas metálicas e perfis estruturais. Esse desgaste acaba gerando, aumento do atrito, compromete a fluidez do deslocamento, aumenta as vibrações, aumentam os ruídos operacionais e aumentam o consumo energético;

Norton (2019, p. 232) afirma que “pequenas rugosidades entre superfícies de contato são responsáveis por perdas mecânicas consideráveis quando não existem materiais adequados para deslizamento”. Em consequência, o uso de revestimentos poliméricos surge como alternativa para minimizar danos.

2.4 PROPRIEDADES DE MATERIAIS POLIMÉRICOS APLICADOS A REVESTIMENTOS

Materiais poliméricos são amplamente utilizados na engenharia devido às suas propriedades de baixa densidade, boa resistência ao desgaste e excelentes características tribológicas. Callister e Rethwisch (2020) destacam que polímeros como poliamida (PA), poliacetal (POM) e poliuretano (PU) possuem coeficientes de atrito menores do que o aço, contribuindo para a redução de falhas por abrasão.

- Poliamida (PA): utilizada em engrenagens, buchas e elementos deslizantes devido à sua autolubrificação e resistência ao impacto onde ela apresenta elevada resistência ao desgaste e excelente desempenho em contato deslizante
- Poliacetal (POM): apresenta estabilidade dimensional e baixa absorção de umidade, recomendada para peças de movimento contínuo.
- Poliuretano (PU): destaca-se por sua alta resiliência, amortecimento e resistência à abrasão, sendo amplamente aplicado em rodas e revestimentos industriais.

Para França *et al.* (2022, p. 133), o uso de revestimentos poliméricos em componentes mecânicos “reduz significativamente o atrito e melhora o desempenho operacional, principalmente em sistemas que envolvem contato metal-polímero”.

2.5 APLICAÇÕES INDUSTRIAIS DE REVESTIMENTOS POLIMÉRICOS E REDUÇÃO DE ATRITO

Materiais poliméricos aplicados como revestimentos apresentam desempenho superior ao do aço em muitas situações os revestimentos de poliuretano em rodas industriais aumentam a vida útil em até 40% quando comparados a rodas de aço em contato direto com superfícies metálicas. Já Sanchez, Müller e Ribeiro (2021) verificaram que o revestimento de talhas industriais com poliamida reduziu o atrito entre 15% e 28%, além de melhorar o conforto operacional e diminuir o nível de ruído nos setores produtivos, esses resultados dialogam diretamente com o problema analisado neste estudo, uma vez que a empresa investigada enfrenta desgaste prematuro em rodas metálicas. A comparação com tais pesquisas permitirá avaliar se o revestimento proposto apresenta comportamento semelhante ou superior ao encontrado na literatura.

2.6 BENEFÍCIOS ESPERADOS COM O USO DOS REVESTIMENTOS

Os revestimentos poliméricos aplicados em rodas de talhas e transportadores aéreos trazem benefícios amplamente discutidos pela literatura, como:

- redução do coeficiente de atrito (Callister; Rethwisch, 2020);
- menor desgaste por abrasão (Hutchings; Shipway, 2017);
- redução de ruído e vibração (Sanchez *et al.*, 2021);
- prolongamento da vida útil de componentes (Zhang *et al.*, 2020);
- melhoria na eficiência energética do sistema (Khonsari; Booser, 2018).

Com base nessas evidências, destaca-se que o uso de revestimentos poliméricos possui potencial efetivo para solucionar problemas recorrentes em sistemas de movimentação de cargas. Assim, suas propriedades permitem estabelecer a fundamentação técnica necessária para a aplicação analisada neste estudo.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O presente estudo tem como objeto analisar as talhas de movimentação de cargas empregadas em ambientes industrial. A escolha por esse equipamento justifica-se por sua ampla utilização e relevância na segurança e produtividade operacional. As talhas analisadas possuem capacidade de até duas toneladas, operando sobre perfis metálicos em aço carbono com geometria em “I”, padrão em estruturas de sustentação.

3.1 MATERIAIS

O estudo empregou material poliméricos reconhecidos por seu desempenho em aplicações tribológicas: poliuretano (PU). A poliamida foi selecionada por apresentar alta resistência ao desgaste e bom comportamento térmico o poliuretano possui elevada resiliência e capacidade de absorver impactos e vibrações. Os revestimentos poliméricos foram aplicados nas regiões de contato entre a talha e o perfil metálico. Antes da aplicação, as superfícies passaram por limpeza, desengraxe e lixamento superficial, com o objetivo de aumentar a rugosidade e melhorar a aderência. A aplicação dos revestimentos (total de 12 amostras sendo 06 rodas guias (lisas) e 06 rodas de tração (dentadas)) ocorreu de duas formas:

(a) colagem de placas moldadas previamente e

(b) deposição do polímero em estado líquido, com posterior cura térmica ou química, conforme o tipo de material.

3.2 MÉTODOS

A metodologia foi estruturada em duas etapas complementares: uma etapa experimental aplicada, de caráter exploratório, e uma etapa de avaliação em ambiente industrial. A abordagem adotada teve como objetivo analisar o desempenho dos revestimentos poliméricos em condições reais de operação, sem a pretensão de obtenção de parâmetros normativos absolutos, característica comum em estudos desenvolvidos diretamente no ambiente produtivo. Na etapa experimental aplicada, os materiais poliméricos selecionados foram avaliados quanto ao seu comportamento mecânico e tribológico, priorizando a comparação entre as formulações e a identificação de tendências de desempenho. Ressalta-se que, em função de restrições industriais e políticas de confidencialidade, parte dos dados quantitativos obtidos nos ensaios laboratoriais não pôde ser apresentada de forma detalhada. Dessa forma, os resultados dessa etapa foram analisados de maneira comparativa e qualitativa, conforme recomendado para pesquisas aplicadas em contexto industrial.

A etapa industrial foi conduzida em uma unidade de produção de presunto, onde as talhas revestidas foram instaladas em perfis metálicos de uso real, responsáveis pelo transporte de gaiolas contendo formas de cozimento e resfriamento. Durante o período de operação, foram monitorados indicadores como vida útil operacional dos revestimentos, frequência de manutenção, ocorrência de falhas e comportamento dinâmico do sistema, permitindo a comparação direta com talhas sem revestimento e a avaliação do desempenho global do conjunto talha–perfil em condições reais de trabalho.

3.3 COLETA E ANÁLISE DE DADOS

Os ensaios laboratoriais foram realizados em triplicata para garantir confiabilidade estatística. Foram registrados coeficientes de atrito, perda de massa, deformações e rugosidade superficial. Em campo, os dados foram coletados por meio de inspeções visuais, registros de manutenção e medições dimensionais periódicas de acordo com a solicitação do fabricante.

A análise dos resultados combinou abordagens comparativas, empregando métodos de comparação de médias para verificar diferenças significativas entre os materiais.

Posteriormente, os resultados de campo foram analisados qualitativamente e quantitativamente, correlacionando o desempenho obtido em laboratório com o comportamento real de operação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos na avaliação do desempenho de talhas industriais submetidas à substituição de componentes metálicos por revestimentos poliméricos. A interpretação dos dados foi conduzida à luz da literatura especializada em corrosão, tribologia e ciência dos materiais, considerando-se os impactos sobre a durabilidade, a manutenção e o comportamento mecânico dos componentes. As evidências empíricas observadas demonstram diferenças significativas entre os conjuntos tradicionais de aço e os protótipos poliméricos avaliados (PU1 e PU2), permitindo interpretações relevantes sobre o comportamento mecânico, desgaste e viabilidade de uso.

4.1 DESGASTE E CORROSÃO EM TALHAS METÁLICAS

Os primeiros resultados referem-se à análise dos conjuntos metálicos originais, que apresentaram desgaste evidente após exposição prolongada ao ambiente industrial. A oxidação das rodas guias, eixos e trilhos demonstrou ser um fator recorrente na perda de desempenho das talhas. A corrosão é um fenômeno eletroquímico que agride superfícies metálicas expostas à umidade, vapores, contato deslizante e variações térmicas, provocando aumento do atrito, emperramento, perda de eficiência e necessidade de substituição frequente.

A literatura confirma que a presença simultânea de oxigênio, água e esforços mecânicos repetidos cria condições ideais para corrosão sob tensão e desgaste tribológico, o que acelera falhas prematuras em sistemas metálicos (Hutchings; Shipway, 2017). Isso explica o comportamento observado: as rodas metálicas oxidavam e desgastavam a superfície do trilho, gerando deformações e travamentos durante o movimento de translação.

Os achados empíricos evidenciam que o conjunto metálico original apresentava não apenas corrosão generalizada, mas também desgaste abrasivo e adesivo, favorecidos pelo contato metal-metal.

Esse processo, além de comprometer o alinhamento e a suavidade do deslocamento, aumentava o consumo energético da talha e reduzia a confiabilidade operacional, corroborando o que Gentil (2011) descreve como o ciclo de degradação típico em ambientes industriais agressivos.

4.2 AVALIAÇÃO DAS BANDAGENS POLIMÉRICAS: DESEMPENHO INICIAL E COMPORTAMENTO MECÂNICO

De acordo com a literatura, a dureza é diretamente relacionada à rigidez molecular e à resistência à deformação superficial, porém inversamente relacionada à tenacidade (Callister; Rethwisch, 2016). A Figura 1 apresentada abaixo retrata conjunto de rodas e pinhão de tração de talhas sem revestimento e com elevado desgaste proveniente do atrito metal com metal. O desempenho observado para a amostra PU2 está em consonância com os resultados apresentados por Zhang et al. (2020), que identificaram aumento de até 40% na vida útil de rodas industriais revestidas com poliuretano quando comparadas a conjuntos metálicos convencionais. Resultados semelhantes também foram relatados por Sanchez, Müller e Ribeiro (2021), que observaram redução significativa do atrito, do ruído operacional e da necessidade de manutenção em talhas industriais revestidas com materiais poliméricos, corroborando os achados deste estudo.

Figura 1 - Roda de tração sem revestimento



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

4.2.1 Comportamento da Amostra De PU1

A falha prematura da amostra PU1 exigiu uma análise mais detalhada, em razão de sua relevância para o processo de desenvolvimento e seleção de revestimentos poliméricos aplicados em rodas industriais. A ruptura observada ocorreu predominantemente por delaminação entre o revestimento polimérico e a superfície metálica da roda, fenômeno recorrente quando a interface adesiva não apresenta resistência suficiente para suportar tensões

cíclicas em regime de operação contínua. Segundo Hutchings e Shipway (2017), os processos de delaminação em revestimentos poliméricos geralmente estão associados a três fatores principais: (i) adesão inadequada ao substrato metálico; (ii) rigidez excessiva do revestimento, que favorece o acúmulo de tensões internas; e (iii) falhas estruturais do material decorrentes de baixa tenacidade. No caso da PU1, observou-se a atuação combinada desses mecanismos. A elevada dureza da PU1 (94 Shore D), embora indique resistência superficial ao desgaste, resultou em uma estrutura polimérica excessivamente rígida e com limitada capacidade de dissipação de energia. Esse comportamento favoreceu o aumento das tensões de cisalhamento na interface adesiva, culminando no destacamento rápido da bandagem durante o funcionamento do sistema.

A análise visual da região de falha evidenciou que a ruptura não ocorreu por abrasão ou desgaste progressivo, mas sim por falha súbita, característica típica de materiais com comportamento frágil submetidos a carregamentos cíclicos. Dessa forma, a PU1 demonstrou baixa compatibilidade com a aplicação analisada, destacando a importância de considerar, além da dureza, propriedades como tenacidade, elasticidade e resistência à fadiga no projeto de revestimentos poliméricos para componentes de rodagem.

Esse resultado reforça a necessidade de equilíbrio entre rigidez e flexibilidade em materiais poliméricos destinados a aplicações industriais dinâmicas, especialmente em sistemas de movimentação de cargas, nos quais a absorção de impactos e a resistência à fadiga são fatores determinantes para a durabilidade do componente.

Figura 2 - Roda de tração com revestimento PU1



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

4.2.2 Comportamento de Amostra De PU2

Em contraste, a amostra PU2, com dureza inferior (91 ± 1 Shore D), apresentou desempenho amplamente superior. O revestimento permaneceu operacional por mais de 90 dias consecutivos (Figura 3), sem apresentar descolamento, desgaste crítico ou falhas estruturais.

Esta diferença pode ser explicada pela maior tenacidade do PU2, que confere melhor capacidade de absorção de impacto, adaptação às irregularidades do trilho e resistência à fadiga mecânica. De acordo com Hutchings e Shipway (2017), materiais poliméricos com menor dureza apresentam menor módulo elástico, o que reduz tensões internas e distribui melhor as cargas aplicadas durante o deslizamento.

A durabilidade observada reforça que polímeros elastoméricos, como o poliuretano, possuem propriedades tribológicas favoráveis como menor coeficientes de atrito, boa resistência a abrasão, amortecimento natural, menor agressividade ao trilho metálicos, e desgaste concentrada no próprio revestimento. Essas características permitiram ao PU2 proporcionar aceleração e frenagem mais suaves, além de eliminar o contato direto metal-metal, reduzindo o desgaste global do sistema. A Figura 3 retrata modelo de roda guia com revestimento tipo PU2 após revestimento, antes de ser colocado em funcionamento.

Figura 3 - Roda de tração com revestimento PU1



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

4.3 COMPARAÇÃO ENTRE DESEMPENHO POLIMÉRICO E MECÂNICO

A comparação direta entre os conjuntos metálicos e os revestidos com poliuretano evidencia vantagens significativas associadas à substituição do metal pelo polímero.

4.3.1 Desgaste e corrosão

Durante acompanhamento in loco foi constatado que enquanto as talhas metálicas apresentaram corrosão intensa, desgaste abrasivo e travamentos recorrentes, o conjunto polimérico manteve funcionamento constante e reduziu o impacto sobre o trilho.

Tal comportamento era esperado, já que polímeros não sofrem corrosão eletroquímica. Além disso, o contato polimérico exerce desgaste brando e controlado, preservando o aço subjacente. Esse efeito protetivo é amplamente reconhecido na literatura como característica crítica de revestimentos elastoméricos (Gentil, 2011; Hutchings e Shipway, 2017).

4.3.2 Facilidade de Manutenção

O desgaste passou a se concentrar na bandagem, componente facilmente substituível e de baixo custo, reduzindo assim o tempo de parada de manutenção, riscos de falhas inesperadas, custos totais de operação, e minimizando a necessidade de recuperação do trilho;

Esse comportamento segue princípios de engenharia de manutenção preventiva e preditiva, que buscam materiais e soluções capazes de ampliar a vida útil do sistema e minimizar intervenções corretivas.

Diversos estudos apontam que polímeros em aplicações industriais contribuem para a redução do custo total de propriedade (TCO), especialmente em sistemas de alta ciclagem e atrito contínuo (Callister; Rethwisch, 2016).

O custo unitário de peças revestidas em poliuretano além de ser menor do que o custo de peças metálicas, a economia gerada ao longo do ciclo de vida do equipamento tende a ser mais significativa devido à durabilidade e à menor necessidade de manutenção.

Estimativas preliminares indicam que, com a adoção do PU2, o tempo médio entre falhas (MTBF) do sistema aumentou consideravelmente, onde antes se fazia necessário a intervenção mecânica a cada 06 meses aproximadamente e hoje conseguiu se aumentar esse tempo para aproximadamente 09 meses; sugerindo maior confiabilidade operacional — aspecto fundamental em ambientes industriais.

4.3.3 Comportamento Dinâmico e Segurança Operacional

O revestimento polimérico também melhorou a dinâmica de movimentação da talha. A suavidade na aceleração e frenagem sugere menor vibração e melhor estabilidade do conjunto, o que está alinhado a estudos de tribologia que correlacionam elastômeros à absorção de vibrações e ruído mecânico (Hutchings; Shipway, 2017).

Assim, além de reduzir desgaste e falhas, a solução polimérica contribuiu para maior segurança operacional.

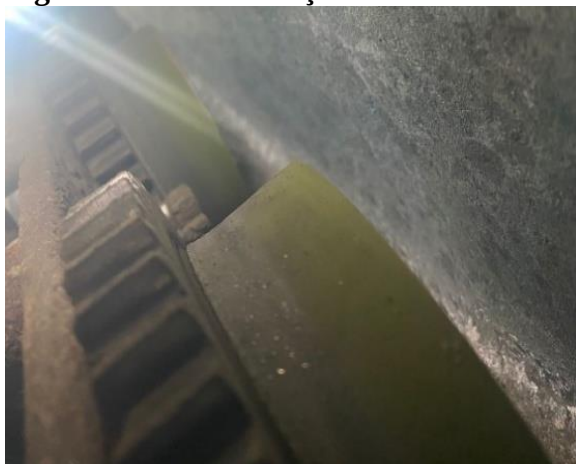
4.3.4 Implicações industriais e viabilidade da solução

Os resultados demonstram que a substituição dos componentes metálicos por revestimentos poliméricos apresenta elevada viabilidade técnica. A durabilidade da PU2 (mais de 90 dias sem falhas), a redução da corrosão e a diminuição da necessidade de manutenção reforçam que materiais elastoméricos podem ser alternativas eficientes em aplicações industriais submetidas a movimentos repetitivos e ambientes agressivos.

Em termos práticos, a adoção da bandagem PU2 traz implicações positivas, aumentando a vida útil do trilho metálico, reduzindo o custo de reposição das peças, diminuindo os desgastes de rodagem, aumento a confiabilidade do sistema e a disponibilidade operacional;

A literatura reforça que o uso de polímeros substituindo materiais metálicos tem crescido justamente por essas vantagens, especialmente em sistemas industriais leves e moderados, onde impactos controlados e deslizamentos contínuos estão presentes (Callister; Rethwisch, 2016). A Figura 4 retrata o modelo de roda guia com revestimento tipo PU2 em uso após 90 dias de sua instalação.

Figura 4- Roda de tração com revestimento PU1



Fonte: Dados da pesquisa (2025).

4.4 ANÁLISE TRIBOLÓGICA APROFUNDADA DOS REVESTIMENTOS POLIMÉRICOS

A partir dos resultados obtidos durante o período de operação das bandagens poliméricas, foi possível aprofundar a análise do comportamento tribológico dos materiais

testados. O revestimento PU2, que apresentou melhor desempenho, demonstrou características típicas de materiais elastoméricos empregados em aplicações de impacto moderado e contato rotativo. A ausência de trepidações, travamentos ou marcas severas de desgaste no trilho sugere comportamento tribológico estável e adequado.

No caso dos componentes metálicos, o atrito metal-metal promove a formação de partículas abrasivas provenientes da própria superfície oxidada, intensificando o desgaste e acelerando o processo de degradação. Esse ciclo tribológico negativo é amplamente discutido pela literatura, principalmente em ambientes onde a corrosão atua de forma sinérgica com o desgaste mecânico (Gentil, 2011). Dessa forma, a interação entre desgaste adesivo, abrasivo e corrosivo explica os danos severos observados no conjunto metálico original.

Em comparação, o poliuretano atua como uma barreira mecânica entre as superfícies metálicas, absorvendo parte da energia gerada pelo contato e reduzindo significativamente a agressividade da interface. Essa característica contribui não apenas para menor desgaste do trilho, mas também para uma operação com ruído reduzido e menor vibração, fatores que têm impacto direto na segurança e no conforto operacional.

4.5 DESEMPENHO EM CONDIÇÕES OPERACIONAIS VARIÁVEIS

Outro aspecto analisado refere-se ao desempenho dos materiais em função das condições ambientais e operacionais. Durante o período de testes, o conjunto polimérico foi exposto a variações de temperatura (35°C até 42°C), e diferentes ciclos de carga, comuns ao ambiente industrial. Os revestimentos metálicos demonstraram maior suscetibilidade às variações ambientais, sobretudo à umidade, que atua como agente acelerador da oxidação.

No caso do PU2, observou-se maior estabilidade dimensional e resistência à degradação térmica dentro da faixa de temperaturas registrada durante o estudo (35°C a 42°C). A literatura descreve que poliuretanos apresentam boa estabilidade frente a variações moderadas de temperatura, (-30°C até 80°C) mantendo suas propriedades elastoméricas sem endurecer excessivamente ou deformar permanentemente (Callister; Rethwisch, 2016).

Além disso, os ciclos de carga aplicados sobre as rodas de tração revelaram que o PU2 possui comportamento resiliente durante o impacto inicial da movimentação da talha. A capacidade de retornar à sua geometria original após deformações repetitivas indica presença de resistência à fadiga mecânica — característica essencial para aplicações dinâmicas e rotativas.

Esses achados sugerem que o revestimento polimérico pode oferecer melhor desempenho em ambientes industriais onde há mudanças frequentes de temperatura, contaminação por óleo e presença contínua de umidade, fatores que comprometem rapidamente componentes metálicos expostos.

4.6 ANÁLISE CRÍTICA

Ressalta-se que, embora dados quantitativos detalhados — como coeficientes de atrito exatos, valores absolutos de carga e taxas precisas de desgaste — não possam ser divulgados integralmente devido a políticas de confidencialidade industrial, os indicadores operacionais observados, como aumento do tempo médio entre falhas, redução de intervenções corretivas e maior estabilidade durante a operação, fornecem evidências consistentes da superioridade do revestimento PU2 em relação aos demais materiais avaliados. Dessa forma, os resultados apresentados mantêm coerência técnica e científica com o escopo aplicado do estudo e com a literatura especializada.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu avaliar o desempenho de talhas industriais submetidas à substituição parcial de componentes metálicos por revestimentos poliméricos à base de poliuretano, com foco no comportamento mecânico, desgaste, corrosão e viabilidade de manutenção. Os resultados mostraram que os conjuntos metálicos tradicionais apresentaram elevadas taxas de corrosão e desgaste abrasivo, características intensificadas pelas condições ambientais e pelo contato direto entre superfícies metálicas, culminando em falhas prematuras e necessidade recorrente de manutenção.

A análise das duas formulações poliméricas (PU1 e PU2) demonstrou diferenças visíveis na resistência mecânica e no desempenho operacional. Embora a amostra PU1 apresentasse maior dureza, sua elevada rigidez resultou em baixa tenacidade e falha precoce, confirmando os conceitos descritos na literatura sobre o comportamento de materiais poliméricos excessivamente rígidos. Por outro lado, a amostra PU2, com dureza moderadamente inferior, apresentou excelente desempenho, permanecendo operacional por mais de 90 dias sem falhas estruturais ou desgaste crítico.

Os revestimentos à base de poliuretano demonstraram-se uma alternativa eficaz para mitigar os efeitos negativos do contato metal-metal, reduzindo o desgaste do trilho,

proporcionando movimento mais suave e concentrando o desgaste em um componente de fácil substituição. Assim, a implantação da bandagem polimérica PU2 mostrou clara viabilidade técnica e econômica, contribuindo para maior disponibilidade, segurança e confiabilidade do sistema.

Conclui-se que o uso de elastômeros em sistemas de movimentação industrial representa uma solução promissora para prolongar a vida útil de equipamentos, reduzir custos de manutenção e melhorar o desempenho operacional. Recomenda-se a continuidade das pesquisas com diferentes formulações poliméricas, bem como a realização de ensaios laboratoriais complementares — como resistência à fadiga, análise térmica e ensaios de abrasão — visando aprofundar a compreensão do comportamento do material em longo prazo e ampliar a aplicabilidade da solução a outros tipos de sistemas mecânicos.

REFERÊNCIAS

CALLISTER, W. D.; RETHWISCH, D. G. **Materials Science and Engineering: An Introduction**. 10. ed. New York: Wiley, 2020.

CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018.

FRANÇA, M. A.; OLIVEIRA, R. S.; BERNARDES, F. A. Avaliação tribológica de polímeros aplicados ao contato deslizante metal-polímero. **Revista Matéria**, v. 27, n. 2, p. 125–140, 2022.

HIBBELER, R. C. **Engenharia Mecânica: Estática e Dinâmica**. 14. ed. São Paulo: Pearson, 2014.

HUTCHINGS, I. M. **Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials**. Oxford: Butterworth-Heinemann, 1992.

HUTCHINGS, I. M.; SHIPWAY, P. **Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials**. 2. ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2017.

KHONSARI, M. M.; BOOSER, E. R. **Applied Tribology: Bearing Design and Lubrication**. 3. ed. New York: Wiley, 2018.

NORTON, R. L. **Machine Design: An Integrated Approach**. 6. ed. New York: Pearson, 2019.
PEREIRA, Fábio H.; OLIVEIRA, Marcos V.; LIMA, Ricardo S. Revestimentos poliméricos aplicados à redução de desgaste em sistemas mecânicos. **Revista Brasileira de Engenharia Mecânica**, v. 41, n. 2, p. 115–130, 2019.

ROSENFELD, K.; MARTINS, F. Sistemas de transporte aéreo industrial: desempenho, aplicações e perspectivas. **Revista Engenharia Industrial**, v. 15, n. 1, p. 45–60, 2021.

SANCHEZ, P.; MÜLLER, J.; RIBEIRO, D. Avaliação do desempenho tribológico de rodas poliméricas em talhas industriais. **Brazilian Journal of Mechanical Systems**, v. 9, n. 4, p. 55–68, 2021.

SLACK, N. *et al.* **Administração da Produção**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

SOUZA, André L.; MEDEIROS, Carlos H. Análise do desgaste em componentes de sistemas de movimentação de cargas industriais. *Revista Engenharia e Tecnologia Aplicada*, v. 8, n. 3, p. 22–31, 2020.

LAU, P. J. **Friction Science and Technology: From Concepts to Applications**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.

VERGARA, S. C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2000.

ZHANG, Y.; LIU, H.; ZHAO, J. Wear performance of polyurethane-coated wheels in industrial conveyor applications. **Wear Journal**, v. 450–451, p. 203–214, 2020.