



## Estudo dos mecanismos de desgaste de rolos de transportadores de correia de aço AISI 1020 com o ensaio roda de borracha

### Study of the wear mechanisms on steel AISI 1020 conveyor belts rolls with rubber wheel test

Pedro Victorio Caetano Abrantes de Quadros<sup>1</sup>, Daniel Estefano Pacholok<sup>2</sup>, Tiago Cousseau<sup>3</sup>

#### RESUMO

Transportadores de correias são utilizados principalmente na indústria da mineração para o transporte de matérias-primas. Desenvolvidos são necessários devido ao fato de que os rolos usados estão sob constante abrasão de 2 ou 3 corpos, sujeitos a desgaste por deslizamento ou rolamento dos abrasivos. Desse modo, faz-se necessário um melhor entendimento dos mecanismos de desgaste que ocorrem em campo, para que seja possível aprimorar as propriedades dos materiais já utilizados, ou sua substituição por rolos de materiais mais adequados. Diante disso, este estudo buscou analisar os mecanismos de desgaste de um rolo de aço AISI 1020 utilizado em campo, e comparar com rolos desse material submetidos ao ensaio roda de borracha, com amostras travadas e rotacionando, com a finalidade de descobrir qual dos dois tipos de teste representam melhor os fenômenos que ocorrem em campo. Os resultados apresentaram que a abrasão de 3 corpos por indentação esteve presente em todas as três situações, mas o desgaste de 2 corpos por deslizamento só foi observado no rolo de campo e na amostra submetida ao ensaio com a peça travada. Desse modo, o ensaio roda de borracha com o rolo travado apresentou melhor reprodutibilidade dos mecanismos de desgaste observados em campo.

**PALAVRAS-CHAVE:** Desgaste; teste roda de borracha; transportador de correia.

#### ABSTRACT

Conveyor belts are mainly used in the mining industry to transport raw materials. Developments are necessary because the rollers used are under constant abrasion from 2 or 3 bodies, subject to wear due to grooving or rolling of the abrasives. Therefore, it is necessary to better understand the wear mechanisms that occur in the field, to make it possible to improve the properties of materials already used or replace them with rolls of more suitable materials. In view of this, this study sought to analyze the wear mechanisms of AISI 1020 steel roll used in the field and compare with rolls of this material subjected to the rubber wheel test, with samples locked and rotating, with the purpose of discovering which of the two types test samples better represent the phenomena occurring in the field. The results showed that the abrasion of 3 bodies due to indentation was present in all three situations, but the wear of 2 bodies due to grooving was only observed in field roll and in the sample submitted to test with sample locked. Therefore, the rubber wheel test with the roller locked was the one that showed better reproducibility with the field wear mechanisms observed.

**KEYWORDS:** Wear; conveyor belts; rubber wheel test.

## INTRODUÇÃO

O transporte de grandes quantidades de materiais, como minérios, grãos, entre outras *commodities*, por meio de correias transportadoras de fluxo contínuo permitiu um

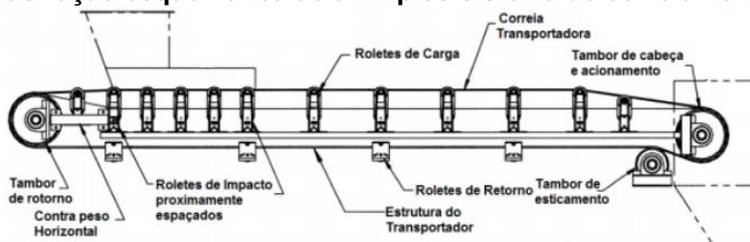
<sup>1</sup> Bolsista da Fundação Araucária. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: pedroquadros@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: 2476093336011799.

<sup>2</sup> Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: danielpacholok@hotmail.com ID Lattes: 7902434072927497.

<sup>3</sup> Docente no Curso de Engenharia Mecânica/Departamento de Mecânica/Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: tcousseau@utfpr.edu.br. ID Lattes: 9977938762856510.

grande avanço na indústria moderna (PACHOLOK, 2021). Além de variados conjuntos de rolos para as esteiras transportadoras, vale ressaltar que determinados grupos de rolos têm finalidades específicas e são alocados conforme sua funcionalidade, como ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Ilustração esquemática de um típico sistema de correia transportadora



Fonte: CEMA (2007).

Percebe-se a relevância de estudos para desenvolver esses sistemas, visando o aprimoramento da sustentabilidade, eficiência, ergonomia e confiabilidade. Pesquisas têm sido realizadas buscando a viabilidade técnica e econômica para a substituição de rolos metálicos por rolos poliméricos, como no estudo conduzido pela parceria entre a VALE e a UTFPR. Essa pesquisa visa reduzir seu peso unitário para facilitar a manutenção dos rolos (PACHOLOK, 2021; KOUKETSU, 2021).

Roos poliméricos já têm sido usados para o caso de cargas baixas ou moderadas, porém para situações de cargas altas, seu uso tem sido somente experimental. Nota-se uma escassez de trabalhos que avaliem a vida útil de roos poliméricos, principalmente para aquelas que atuam com altas cargas de matérias-primas (PACHOLOK, 2021).

Ademais, é necessária uma melhor compreensão acerca da abrasão desses roos poliméricos sujeitos à elevadas solicitações mecânicas. Para isso, podem ser feitos ensaios simulando o comportamento dos roos de campo para comparar os resultados com aqueles dos aços analisados em laboratório e provenientes de campo (PACHOLOK, 2021).

Para a simulação dos transportadores de correia, pode-se fazer o uso do ensaio roda de borracha. Tal ensaio, com base na norma ASTM G65 (2007), baseia-se em abrasionar a amostra com uma areia padronizada, de classificação AFS 50/70, no contato entre uma roda de aço revestida com neoprene ou borracha de clorobutil e a amostra a ser estudada. Essa técnica tem por finalidade criar uma classificação entre os materiais determinados, mas ela não é necessariamente capaz de reproduzir com exatidão as condições de campo.

Desse modo, estudos na literatura realizaram testes com adaptações, buscando representar melhor a condição dos ensaios às condições de campo. Amostras em forma de roos têm sido usadas a fim de se obter uma melhor representatividade dos fenômenos atuantes em campo, buscando-se entender melhor os mecanismos de desgaste atuantes no sistema (PACHOLOK, 2021; Fiset; DUSSAULT, 1993).

Dependendo do padrão do movimento das partículas, bem como da carga exercida no sistema, seja ele em campo ou nos ensaios laboratoriais, ocorrem diferentes tipos de mecanismos de desgaste. De modo geral, eles podem ser classificados como desgaste de dois ou três corpos. O de dois corpos, também conhecido como deslizamento de partículas, causa micro-cortes com a formação de proa, o que torna esse mecanismo mais severo. Já o de três corpos, ele, conhecido pelo rolamento das partículas, gera indentações e, conseqüentemente, deformação plástica na superfície (FANG *et al.*, 1993).



Diante do exposto, esse trabalho tem como objetivo avaliar os principais mecanismos de desgaste presentes durante os ensaios roda de borracha com uma peça de aço travada e rodando. Além disso, também será analisada uma amostra de aço de campo para a comparação das superfícies, visando descobrir qual dos dois ensaios representa melhor a condição de desgaste real nos transportadores de correia.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado para os ensaios laboratoriais foi um rolo de aço AISI 1020. A Tabela 1 apresenta as características geométricas do rolo fornecido para o estudo.

**Tabela 1 – Características geométricas [mm] do rolo AISI 1020 de correia transportadora**

Diâmetro externo original	Espessura original	Comprimento	Massa do tubo [kg]	Diâmetro do eixo	Diâmetro da amostra	Espessura da amostra	Largura das amostras
165	4	670	13,3	50	163,1	3,1	40

Fonte: PACHOLOK (2021).

Quanto às partículas abrasivas utilizadas, a areia normal brasileira (ABN) de granulometria #100 fornecida pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) foi usada.

Para a realização dos testes, foi utilizado um abrasômetro roda de borracha, desenvolvido para estudos recentes (PACHOLOK, 2021), visando análises por meio da simulação de condições usuais e de falhas de travamento, através da fixação de amostras anelares. Os testes foram feitos triplicata para o ensaio com a amostra travada, e somente uma vez para a amostra rotacionando, em virtude de sua longa duração. A verificação do batimento da roda de borracha foi realizada com um relógio comparador (PACHOLOK, 2021).

Para o ensaio com a amostra rotacionando os parâmetros foram: rotação igual a 200 rpm (2,4 m/s), velocidade adotada pela norma ASTM G65 por ser similar à dos transportadores de correia; força normal de 250 N, definida mediante consulta à norma NBR 6678 (2018); tempo total de ensaio igual a 2400 min; e vazão do abrasivo foi de 220 g/min, valor que foge à norma ASTM G65 (300 a 400 g/min). Todavia, a vazão alcançada para o experimento é mais semelhante ao que ocorre em campo (PACHOLOK, 2021).

Já para os ensaios com a amostra travada, foram utilizados os seguintes parâmetros: rotação igual a 200 rpm (2,4 m/s); força normal de 200 N, determinada via consulta à norma NBR 6678; duração de ensaio igual a 10 min; e vazão do abrasivo foi de 220 g/min.

Os mecanismos de desgaste foram avaliados através de MEV, em um Microscópio Eletrônico de Varredura Zeiss, modelo EVO MA 15. Para a preparação das amostras, os anéis foram cortados, limpos com desengordurante e secos (PACHOLOK, 2021).

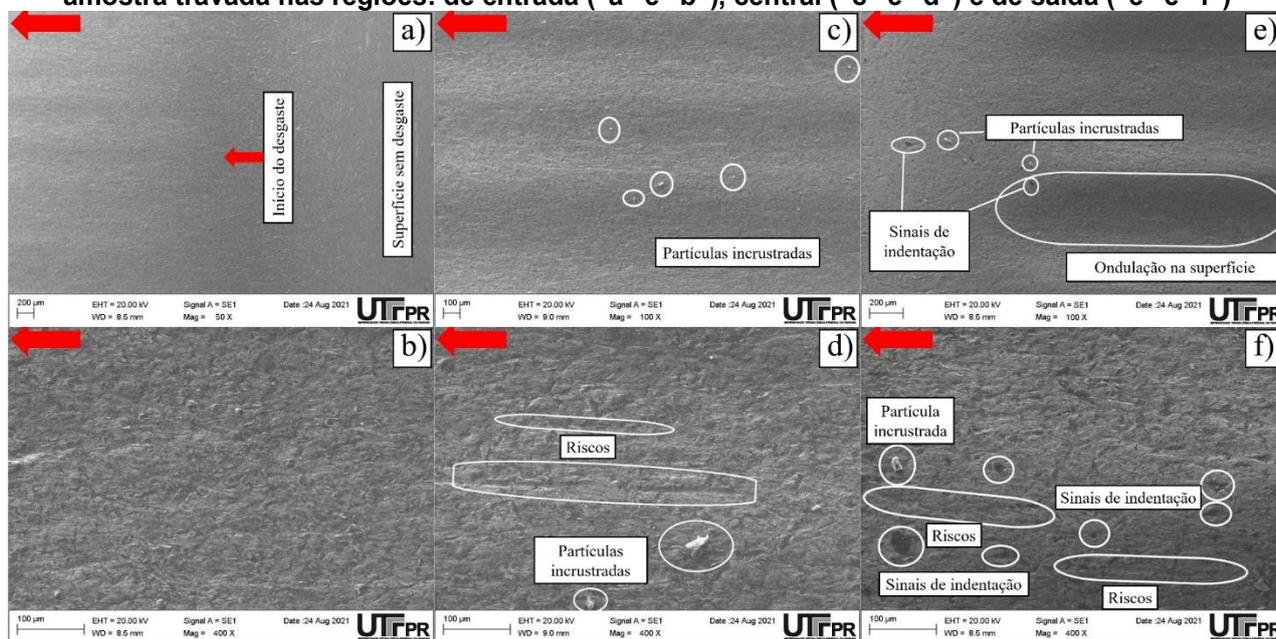
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiramente, buscou-se analisar qual abrasivo utilizar, sendo ele novo ou já usado, para avaliar a possibilidade de se reutilizá-lo, uma vez que os mecanismos de desgaste sobre a superfície das amostras é dependente da morfologia do abrasivo, o que influencia na reutilização da areia. Diante disso, estudos realizaram a análise da variação de tamanho do abrasivo utilizado nesse tipo de ensaio, através de um granulômetro Microtrac S3500 e

de micrografias de MEV, obtidas por um microscópio eletrônico modelo EVO MA 15 da marca Zeiss. No estudo, com as amostras travadas, foram comparadas amostras de areia nova, e após 1, 2 e diversos ensaios, os quais foram realizados com uma força normal de 200 N com duração de 10 min. Os resultados apontaram uma redução insignificante no tamanho do abrasivo (PACHOLOK, 2021).

Os testes com as amostras travadas apresentaram 3 diferentes regiões na marca de desgaste, em razão do movimento das partículas na interface entre a roda de borracha e a amostra de aço, onde houve uma região de entrada das partículas, central e de saída. A Figura 2 ilustra as micrografias obtidas por MEV das regiões da superfície do aço após ensaio com a amostra travada, onde as flechas vermelhas indicam a direção de rotação da roda de borracha e do fluxo do abrasivo.

Figura 2 – Micrografias, obtidas por MEV, do aço AISI 1020 após ensaio tipo roda de borracha com a amostra travada nas regiões: de entrada (“a” e “b”), central (“c” e “d”) e de saída (“e” e “f”)

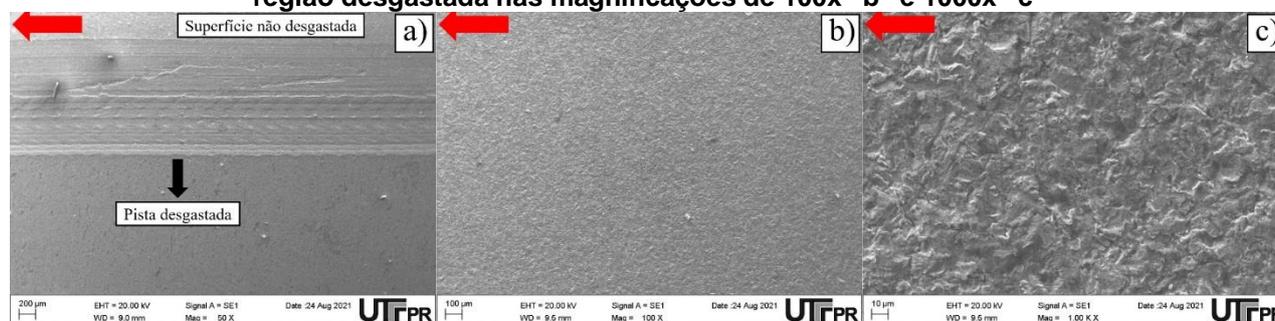


Fonte: PACHOLOK (2021).

A partir da Figura 2, na região de entrada, percebe-se indentações devido ao desgaste pelo rolamento das partículas abrasivas aliadas à baixa força tangencial, com pequenos riscos (PEREIRA *et al.*, 2017). Já na região central, nota-se o maior comprimento dos riscos, associados ao desgaste por deslizamento. Contudo, ainda na região central, há o predomínio de indentações e riscos curtos (PACHOLOK, 2021). O aumento na frequência e comprimento dos riscos está relacionado à maior carga presente na região central da interface roda e amostra, que leva a uma maior resistência ao rolamento das partículas abrasivas (PEREIRA *et al.*, 2017; DUBE; HUTCHINGS, 1999). Quanto à região de saída, observa-se a ausência de proa nos riscos, assim como na região central, além de indentações. Logo, os principais mecanismos de desgaste para o ensaio com a amostra travada foram de micro-corte e indentações (PACHOLOK, 2021; PEREIRA *et al.*, 2017).

A Figura 3 apresenta as micrografias obtidas por MEV, nas ampliações de 50, 100 e 1000x, da superfície do aço após ensaio com a amostra rotacionando. As flechas vermelhas também indicam a direção de rotação da roda de borracha e do fluxo do abrasivo.

**Figura 3 – Micrografias, obtidas por MEV, do aço AISI 1020 após ensaio tipo roda de borracha com a amostra rotacionando, nas regiões da fronteira da pista desgastada com a não desgastada “a” e da região desgastada nas magnificações de 100x “b” e 1000x “c”**

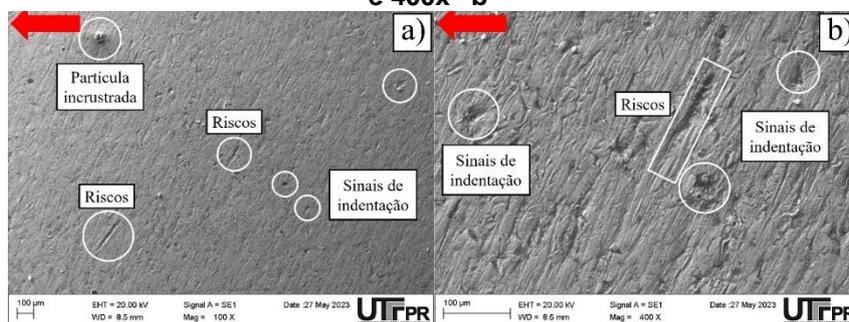


Fonte: PACHOLOK (2021).

Observa-se, na Figura 3 (a), uma superfície sem desgaste, referente à região original do rolo. Já nas Figuras 3 (b) e (c), que são associadas à região central da pista de desgaste, notam-se indentações, gerando grande deformação plástica (PACHOLOK, 2021).

A Figura 4 ilustra as micrografias obtidas por MEV da topografia do aço utilizado em campo. As setas vermelhas indicam a direção de rotação dos transportadores de correia.

**Figura 4 – Micrografias, obtidas por MEV, do aço utilizado em campo nas magnificações de 100x “a” e 400x “b”**



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Com base na Figura 4, observar-se sinais de indentação, partículas incrustadas, além de riscos com comprimentos maiores que 100  $\mu\text{m}$ . Nota-se, além disso, que os riscos não se encontram na mesma direção de rotação das correias, o que pode ser causado por deslocamento das correias durante o uso, folgas e vibrações. Embora os riscos observados em campo não estejam alinhados com o sentido de rotação, verifica-se que os mecanismos de desgaste observados em campo quanto são, em sua maioria, os mesmos para ensaios com amostras travadas, pois os ensaios com a peça rotacionando não apresentaram riscos.

## CONCLUSÕES

A partir das análises topográficas após os ensaios roda de borracha e a observação da amostra de campo, conclui-se que os mecanismos de desgaste predominantes são de indentação para o rolo de aço AISI 1020 para o ensaio com a amostra rotacionando. No que concerne ao teste com a peça travada, somente indentações estiveram presentes na área de entrada do rolo, e de micro-cortes e indentações para as regiões central e de saída.



Por fim, com base na análise na amostra de aço utilizada em campo, observou-se mecanismos de desgaste de micro-corte e indentação.

Desse modo, o ensaio que obteve uma melhor reprodutibilidade dos mecanismos observados na amostra de campo foi o teste tipo roda de borracha com a amostra travada.

### Agradecimentos

Os agradecimentos são feitos ao órgão de fomento que forneceu a bolsa de estudo, Fundação Araucária, e à UTFPR, por permitir o uso dos laboratórios e equipamentos para o desenvolvimento do trabalho.

### Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

### REFERÊNCIAS

ASTM G65 16. **American Standard for Testing Materials. Measuring abrasion using the dry sand/rubber wheel apparatus.** In: Annual Book of Standards, 2017.

CONVEYOR EQUIPMENT MANUFACTURERS ASSOCIATION – CEMA. **Belt Conveyors for Bulk Materials.** 2. ed. 2007.

DUBE, N. B.; HUTCHINGS, I. M. Influence of particle fracture in the high-stress and low-stress abrasive wear of steel, **Wear**, v. 233, p. 246-256, 1999.

FANG, L. *et al.* Movement patterns of abrasive particles in three-body abrasion, **Wear**, v. 162–164, p. 782-789, 1993.

FISSET, M.; DUSSAULT, D. Laboratory simulation of the wear process of belt conveyor rollers, **Wear**, v. 162, p. 1012-1015, 1993.

KOUKETSU, F. **Efeito da radiação ultravioleta e da névoa salina na resistência ao riscamento de polietilenos usados em rolos de carga de transportadores de correia,** Dissertação de mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

NBR 6678. **Associação Brasileira de Normas Técnicas. Transportadores Contínuos - Transportadores de Correias - Roletes - Projeto, seleção e padronização.** In: ABNT NBR 6678, 2018.

PACHOLOK, D. E. **Adaptação do ensaio roda de borracha para avaliação do desgaste abrasivo a três corpos de rolos poliméricos de correias transportadoras.** Dissertação de mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2021.

PEREIRA, J. I. *et al.* Wear characterization from field and laboratory tests of pearlitic steels used for SAG mill liners, **Wear**, v. 376-377, p. 37-45, 2017.