

INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA

BRUNO GIACOMELLI E MATHEUS ZERMIANI GOULART

INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DA PISTA E DA DISTÂNCIA DE
DESLIZAMENTO NA RESISTÊNCIA AO DESGASTE ALTERNADO EM
SUBSTRATOS FERROSOS

Joinville, SC

16 de junho de 2025

BRUNO GIACOMELLI E MATHEUS ZERMIANI GOULART

INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DA PISTA E DA DISTÂNCIA DE
DESLIZAMENTO NA RESISTÊNCIA AO DESGASTE ALTERNADO EM
SUBSTRATOS FERROSOS

Artigo científico
apresentado ao
Bacharelado em
Engenharia Mecânica do
Campus Joinville do
Instituto Federal de Santa
Catarina para a obtenção
do diploma de Engenheiro
Mecânico

Orientador: Prof. Dr. Anael
Preman Krelling


Joinville, SC
16 de junho de 2025

BRUNO GIACOMELLI E MATHEUS ZERMIANI GOULART

INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DA PISTA E DA DISTÂNCIA DE
DESLIZAMENTO NA RESISTÊNCIA AO DESGASTE ALTERNADO EM
SUBSTRATOS FERROSOS

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título em engenharia mecânica pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, e aprovado na sua forma final pela comissão avaliadora abaixo indicada.


Joinville - SC, 16 de junho de 2025.

Documento assinado digitalmente
 ANAEL PREMAN KRELLING
Data: 02/07/2025 15:59:49-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Anael Preman Krelling

Orientador


Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 JEFFERSON LUIZ JERONIMO
Data: 03/07/2025 20:16:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Jefferson Luiz Jeronimo

Coorientador

Instituto Federal de Santa Catarina

Documento assinado digitalmente
 IVANDRO BONETTI
Data: 03/07/2025 15:12:20-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Ivandro Bonetti

Avaliador

Instituto Federal de Santa Catarina

INFLUÊNCIA DO COMPRIMENTO DA PISTA E DA DISTÂNCIA DE DESLIZAMENTO NA RESISTÊNCIA AO DESGASTE ALTERNADO EM SUBSTRATOS FERROSOS

Bruno Giacomelli^{1*}

Matheus Zermiani Goulart^{2*}

Resumo

O estudo examina como o comprimento da pista e a distância de deslizamento influenciam a resistência ao desgaste alternado em substratos ferrosos. Esses dados são cruciais para a seleção de materiais e otimização de processos industriais, promovendo a durabilidade dos componentes mecânicos. Nos ensaios, realizados com aço SAE 1020, utilizou-se um tribômetro desenvolvido no Instituto Federal de Santa Catarina especificamente para o estudo de desgaste alternado. A metodologia envolveu a avaliação de amostras sob duas condições de comprimento de pista e distância de deslizamento. Os resultados obtidos nesse estudo não só expandem o conhecimento na tribologia, mas também possuem importantes aplicações práticas na engenharia, podendo auxiliar a indústria na busca por eficiência. A relevância deste estudo está em oferecer uma análise de resultados onde o volume de material removido é proporcional a distância total de deslizamento.

Palavras-Chave: Tribologia. Deslizamento Alternado. Desgaste. Atrito. Substratos ferrosos.

1 INTRODUÇÃO

O desgaste alternado em substratos ferrosos é um fenômeno crítico que afeta significativamente a durabilidade e a eficiência de componentes mecânicos, representando um dos principais desafios na área de engenharia de materiais e

^{1*} Acadêmico do curso bacharelado em engenharia mecânica do Instituto Federal de Santa Catarina. Brunogiacomelli1@gmail.com

^{2*} Acadêmico do curso bacharelado em engenharia mecânica do Instituto Federal de Santa Catarina. Matheuszg1995@gmail.com

tribologia. Ele ocorre em condições de deslizamento repetido, onde variáveis como o comprimento da pista de contato e o comprimento total percorrido desempenham um papel fundamental na determinação da resistência ao desgaste. Estudos recentes, como os realizados por García-León et al. (2021) e Kucharsky e Mróz (2011), demonstram que a configuração do contato e as condições de teste são fatores determinantes para a avaliação do desgaste em diferentes materiais, além disso, a norma ASTM G133-22 estabelece diretrizes específicas para a realização de ensaios de desgaste em condições de deslizamento linear fornecendo um padrão importante que auxilia na avaliação da resistência ao desgaste de materiais e enfatiza a necessidade de se compreender como o comprimento da pista e a distância total percorrida influenciam esse fenômeno. Essa compreensão é crucial para otimizar o desempenho dos materiais, prevenir falhas prematuras e reduzir os custos operacionais associados aos processos industriais.

A literatura existente oferece uma variedade de investigações sobre as variáveis que afetam o desgaste por deslizamento alternado em substratos ferrosos. Ayerdi et al. (2021) realizaram uma avaliação crítica dos métodos de determinação do volume de desgaste em testes de deslizamento alternado, ressaltando a importância da padronização dos ensaios para garantir resultados confiáveis e reproduzíveis. Harish e Rajeev (2018) exploraram a influência da variação do comprimento da pista em ligas de alumínio, evidenciando como essa variável pode impactar significativamente o comportamento tribológico. Ademais, a pesquisa de Peng et al. (2023) investiga os efeitos da carga normal e da frequência de reciprocidade nas propriedades tribológicas de vidros metálicos à base de zircônio, oferecendo uma perspectiva adicional sobre como diferentes condições operacionais podem afetar o desgaste.

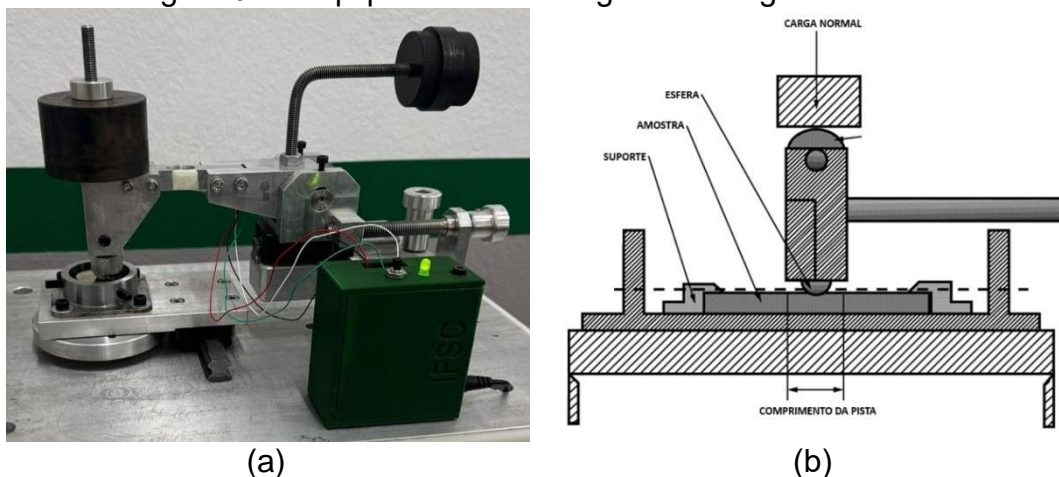
A importância da pesquisa proposta reside na necessidade de aprofundar a compreensão sobre como o comprimento da pista de contato e o comprimento total percorrido afetam a resistência ao desgaste em substratos ferrosos. Essa investigação pode levar ao desenvolvimento de estratégias mais eficazes para a seleção de materiais e otimização de processos de fabricação, resultando em componentes mais duráveis e econômicos. Assim, a pesquisa contribuirá não apenas para o avanço do conhecimento na área de tribologia, mas também para a aplicação prática desse conhecimento na engenharia, beneficiando a indústria em sua busca por maior eficiência e sustentabilidade (PAWEL; RAFAL, 2025).

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 MÁQUINA DE ENSAIOS DE DESGASTE ALTERNADO

A máquina de ensaios utilizada neste estudo (Imagem 01 – (a)) foi desenvolvida no âmbito de um projeto de pesquisa aplicada no Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Câmpus Joinville, com o objetivo de possibilitar testes de desgaste por atrito alternado em um equipamento de concepção simples de baixo custo. Toda a estrutura da máquina foi construída em alumínio, com componentes usinados para garantir rigidez e precisão ao sistema.

Imagem 01 – Equipamento Tribológico de desgaste alternado.



Fonte (a): Os autores.

Fonte (b): ASTM G133-22 – Adaptado.

A Imagem 01 – (b) mostra o método de teste, que envolve dois corpos de prova - um corpo de prova plano (amostra) e um corpo de prova com a extremidade esférica (corpo de prova "pino") que deslizam contra o corpo de prova plano. Essas amostras se movem uma em relação à outra em um movimento deslizante linear, para frente e para trás, sob um conjunto prescrito de condições (ASTM G133-22).

O princípio de funcionamento da máquina construída baseia-se no movimento alternado de um suporte de amostras, acionado por um motor elétrico instalado na parte inferior do equipamento. O motor, por meio de um sistema excêntrico, transmite movimento linear alternado ao porta-amostras, onde são fixados discos de aço SAE 1020. Na parte superior, um pino com ponta esférica de alumina permanece fixo e em contato com a amostra oscilante. Uma carga vertical é aplicada sobre o pino por meio

de pesos calibrados, assegurando uma força normal constante durante o ensaio. A geometria do contato é do tipo esférico com movimento alternado, sob condições de atrito seco. Em que cada movimento de “ida e volta” equivale a um ciclo.

2.2 PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

As amostras utilizadas foram confeccionadas em aço SAE 1020, usinadas em formato de disco com dimensões padronizadas (diâmetro de 30mm e espessura de 6mm) para acoplamento ao suporte da máquina. Após a usinagem, as amostras foram retificadas em ambas as faces e posteriormente lixadas e polidas, garantindo uma superfície uniforme e adequada para o ensaio de desgaste. O pino contraparte foi confeccionado com ponta esférica de alumina, com 6mm de diâmetro, garantindo dureza superior e comportamento tribológico consistente.

2.3 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Os ensaios foram conduzidos com carga normal constante de 10 N, e variação de dois parâmetros principais:

- Comprimento da pista de desgaste: 10 mm e 20 mm;
- Distância total de deslizamento: 250 m e 500 m.

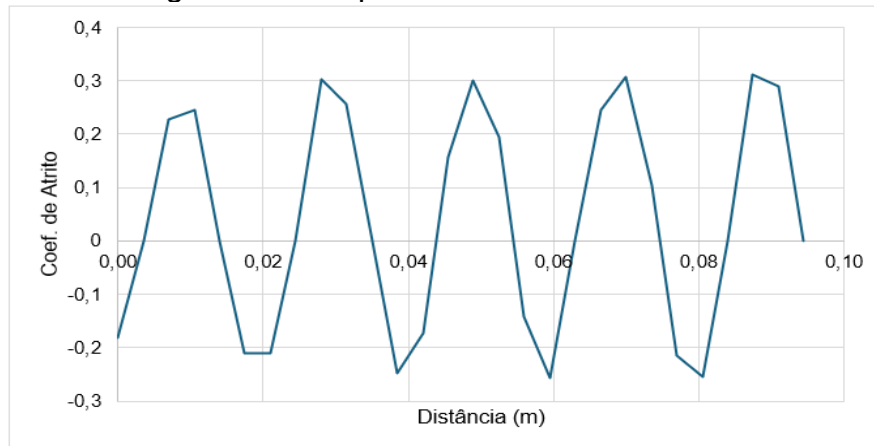
Esses dois fatores foram combinados, resultando em quatro condições experimentais distintas. Para cada conjunto de variáveis, foram realizadas três repetições, totalizando 12 ensaios. O movimento alternado foi mantido em frequência constante de 2Hz, com controle do número total de ciclos de acordo com a distância desejada. Todos os ensaios foram realizados a seco e em temperatura laboratorial.

2.4 COLETA DOS DADOS DE ATRITO

Uma célula de carga de tensão-compressão é utilizada juntamente ao sistema tribológico para a detecção de forças de atrito geradas durante o deslizamento. A calibração da força de atrito gerada tanto para frente quanto para trás é necessária. O sistema utiliza uma célula de carga para a detecção do atrito, pois a força muda muito rapidamente durante o teste, sendo que registradores tradicionais podem ser lentos demais para acompanhar essa mudança (ASTM G133-22). Na Imagem 02 é

feita a seleção de um pequeno trecho do deslizamento para mostrar como é a aquisição do atrito para um sistema alternado, notando-se que as informações adquiridas são em formato de “onda”.

Imagem 02: Comportamento do Tribômetro alternado.



Fonte: Os autores.

A partir da aquisição dos dados o coeficiente de atrito pode não ser constante em um determinado tempo de deslizamento, essa maior variação se estabiliza a partir do momento em que a pista é “desenhada”. É comum calcular a partir da média das leituras de força, sendo altamente recomendável que as leituras de força de atrito sejam feitas a partir de dados de força continuamente registrados (ASTM G115-10).

A célula de carga envia as informações do atrito para um coletor de dados, onde ficam armazenadas. A partir desses dados de coleta, é feita a parametrização dos valores para chegar ao coeficiente de atrito válido total. Para a validação dos resultados, foram ignorados os coeficientes menores que 0,1 e os dados “negativos” foram transformados em positivos para realização da média de atrito.

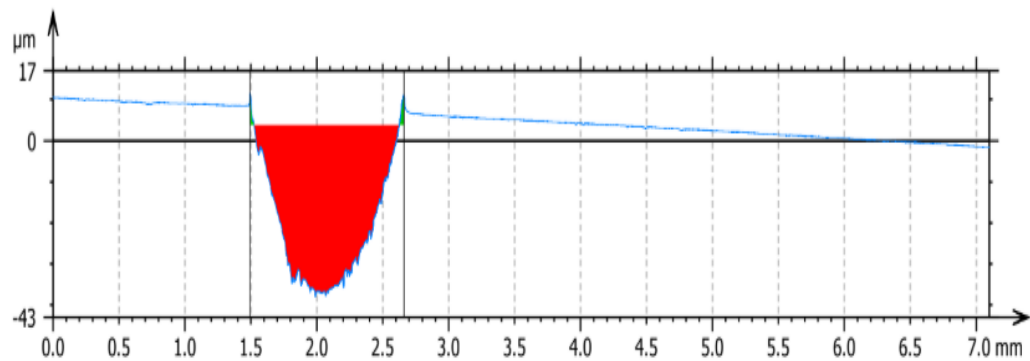
2.5 AVALIAÇÃO DO DESGASTE

Após a conclusão dos ensaios, com o intuito de aprofundar o estudo e entender a relação do comprimento da pista com a distância total de deslizamento, as superfícies das amostras foram submetidas a dois métodos complementares de caracterização do desgaste: perfilometria e microscopia ótica.

2.5.1 Perfilometria

Realizada com o objetivo de quantificar a profundidade e largura da trilha de desgaste, permitindo a estimativa do volume perdido. A perfilometria fornece uma análise detalhada da topografia da superfície, permitindo compreender como as características físicas das superfícies interagem durante o contato. Segundo Ayerdí et al. (2021), para comprimentos de curso superiores a 2,5mm, utiliza-se a norma ASTM G133-05, onde o desgaste planimétrico é calculado usando apenas uma área de seção transversal perpendicular desgastada no centro da linha de desgaste. A Imagem 03 retrata o perfil da pista de desgaste esperado deste ensaio.

Imagem 03: Perfil da pista de desgaste.



Fonte: Software Mountain Maps (os autores).

A partir da perfilometria são adquiridos os dados de profundidade da pista (Y) e volume removido (V). Esses dados, segundo a ASTM G133-22, são fundamentais para verificar o comportamento do desgaste na pista.

2.5.2 Microscopia ótica

A microscopia ótica foi utilizada para identificação dos mecanismos de desgaste atuantes, como: abrasão, adesão ou fadiga superficial. A técnica pode ajudar a monitorar o desgaste de materiais ao longo do tempo, fornecendo dados visuais que suportam medições quantitativas de perda de material e alterações na superfície. As amostras foram submetidas a ampliação de 100x, focadas no centro de sua pista de desgaste.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Nesta análise estatística, foi estudado o efeito dos fatores sobre um conjunto de dados, permitindo a comparação de mais de dois níveis simultaneamente e determinando se há uma relação entre eles, bem como a significância positiva ou negativa das variáveis de resposta. Os termos do modelo, sejam significativos ou não, foram identificados por meio dos valores do índice P. Dessa forma, quando há um efeito significativo entre os fatores, o índice P apresenta valores iguais ou menores que 0,05 ($P \leq 0,05$). A Tabela 1 representa a taxa de desgaste específico (k), a profundidade (y), a remoção de volume e coeficiente de atrito (CoA) em função dos fatores: carga (L), distância total (D) e comprimento de pista (C).

Tabela 01: Taxa de desgaste específico (k), profundidade (Y), remoção de volume (V) e coeficiente de atrito (CoA) em função dos fatores: carga (L), distância total (D) e comprimento de pista (C).

	Fatores			k (mm ³ /Nm)x10-3	Váriaveis de resposta		
	L (N)	D (m)	C (mm)		Y (um)	V (mm ³)x10-3	CoA
1	10	250	10	1,225	42,23	3,062	0,341
2	10	250	10	0,937	34,30	2,342	0,342
3	10	250	10	1,046	39,90	2,615	0,351
Média				1,069±0,014	38,81	2,673±0,0363	0,344±0,005
1	10	500	10	0,967	59,58	4,834	0,342
2	10	500	10	0,754	49,54	3,771	0,320
3	10	500	10	1,109	64,70	5,546	0,342
Média				0,943±0,017	57,94	4,717±0,0893	0,334±0,012
1	10	250	20	0,659	16,47	1,648	0,328
2	10	250	20	0,414	10,99	1,035	0,335
3	10	250	20	1,863	33,44	4,658	0,356
Média				0,978±0,077	20,30	2,447±0,193	0,339±0,014
1	10	500	20	0,582	21,86	2,911	0,338
2	10	500	20	0,756	26,69	3,779	0,350
3	10	500	20	1,259	37,03	6,295	0,331
Média				0,865±0,035	28,53	4,328±0,175	0,339±0,009

Fonte: os autores.

A taxa de desgaste específico é um valor quantitativo que representa a quantidade de perda de material obtida das amostras desgastadas sob diferentes

condições de teste. Ele foi estimado pela Eq. (1) sugerida por Holmberg e Matthews (2009), que segundo García-León et al. (2021) é usada principalmente para metais, ligas e materiais cerâmicos, em que V é o volume removido de material, L é a carga aplicada e D é a distância relativa total.

$$k = \frac{V}{L \times D} \left(\frac{mm^3}{Nm} \right) \quad (1)$$

A partir da Tabela 01, mostra os valores calculados da taxa de desgaste específica (k) e com os dados do coeficiente de atrito (CoF) que foram obtidos no equipamento tribológico alternado. Com base nos resultados estatísticos obtidos, observa-se que a análise de variância não mostrou diferenças significativas ($P \leq 0,05$) entre L , D , para as variáveis de resposta k e CoF. Como os valores de P crítico são maiores que o nível de confiabilidade (0,05 ou 95%) podemos aceitar a hipótese de que as médias são iguais para ambos os testes.

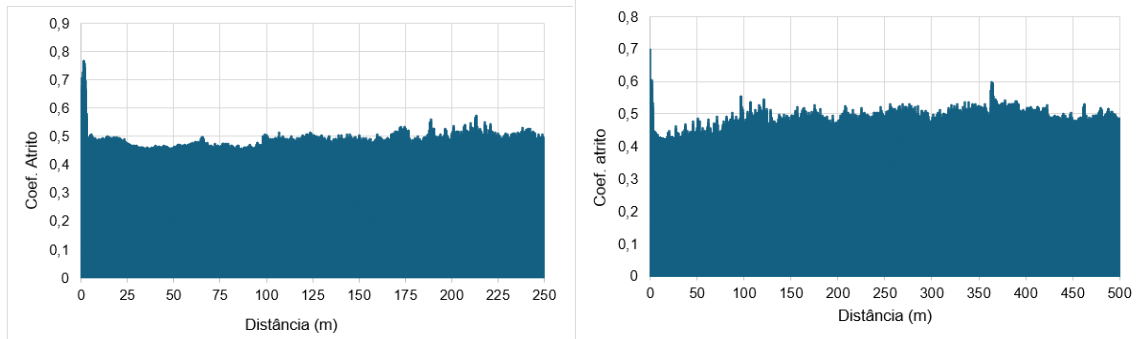
3.2 COEFICIENTE DE ATRITO E TAXA DE DESGASTE ESPECÍFICO

Neste trabalho, a carga foi mantida constante, portanto, não foi possível investigar sua influência sobre o coeficiente de atrito e a taxa de desgaste específico. No entanto, estudos como Zambrano et al. (2024) mostram que, sob determinadas condições operacionais, essas variáveis podem influenciar significativamente o comportamento tribológico. Conforme ilustrado na Imagem 03, não foram observadas variações significativas no coeficiente de atrito entre as duas distâncias totais percorridas, o mesmo ocorrendo em relação ao comprimento da pista de desgaste.

Segundo Li et al. (2023), superfícies com maior rugosidade inicial tendem a apresentar um desgaste acelerado nos primeiros ciclos de contato devido ao processo de acomodação topográfica, promovendo maior remoção de material por ação abrasiva. Essas micro variações atuam como pontos de concentração de tensão ou canais preferenciais de escoamento do desgaste, impactando diretamente o volume final removido. Neste estudo, com o intuito de mitigar os efeitos da fase inicial de instabilidade associada à acomodação topográfica, os dados referentes aos ciclos iniciais foram desconsiderados na análise. Foram considerados apenas os valores obtidos após a estabilização do sinal de atrito, definida por uma variação inferior a 5%,

conforme critério de parametrização adotado.

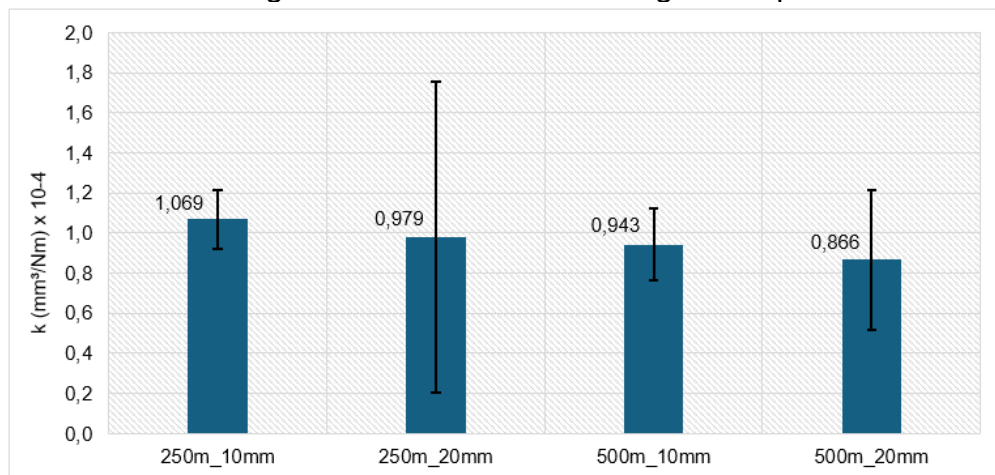
Imagem 03: CoA pela distância percorrida (250mm e 500m).



Fonte: os autores.

De acordo com García-León et al. (2021), a taxa de desgaste específico é proporcional à carga aplicada e tende a se manter constante ao longo de toda a distância de deslizamento. Embora seja independente da velocidade, essa taxa influencia diretamente os mecanismos de desgaste atuantes na superfície em teste. Em ensaios desse tipo, é comum a ocorrência de mecanismos de falha por desgaste, como fadiga, adesão e abrasão, podendo ainda haver desgaste trioxidativo decorrente da interação química entre os materiais em contato.

Imagem 04: Coeficiente de desgaste específico.



Fonte: os autores.

As discrepâncias observadas entre os coeficientes de desgaste específicos, mostradas na Imagem 04, mesmo em fatores experimentais semelhantes, podem estar relacionadas a variações sutis na topografia superficial das amostras antes do ensaio, assim como variações da microestrutura do material e variações ambientais.

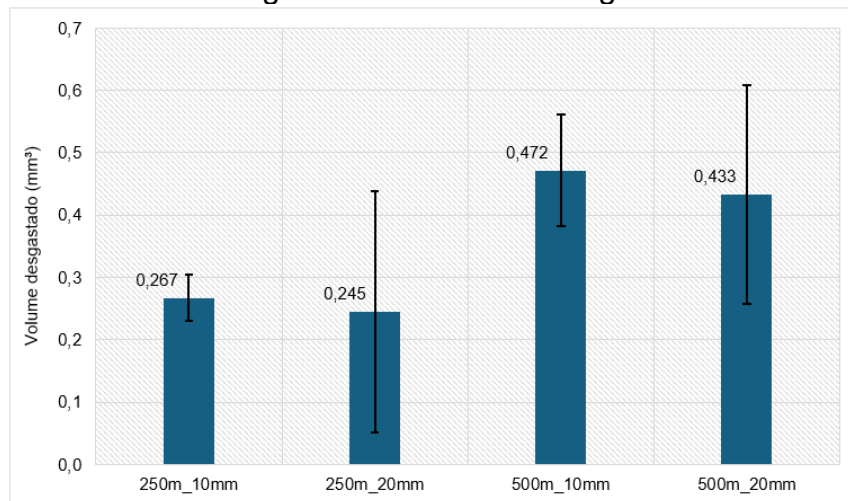
Mesmo com os procedimentos de usinagem, retificação e polimento aplicados de forma padronizada, pequenas diferenças no grau de rugosidade e micro defeitos podem alterar o comportamento tribológico da interface de contato.

Contudo, a significativa dispersão nos resultados pode ser atribuída à quantidade reduzida de amostras, somada às variações superficiais iniciais. Conforme apontado por Li et al. (2023), características como rugosidade residual e microdefeitos na superfície podem influenciar significativamente a taxa e o mecanismo de desgaste, sobretudo nos ciclos iniciais de contato. Ainda que tenha sido adotado um protocolo de preparação padronizado, a variabilidade intrínseca entre as amostras evidencia a sensibilidade do sistema às condições de contorno. Para mitigar essa variabilidade e aumentar a confiabilidade estatística dos dados, seria necessário ampliar o número de amostras por condição experimental, o que possibilitaria uma análise mais robusta e representativa dos efeitos observados.

3.3 COMPARAÇÃO DE VOLUME TOTAL DESGASTADO

Ao comparar o volume de material desgastado entre as amostras, conforme mostrado na Imagem 05, observou-se que esse volume variou proporcionalmente em relação ao comprimento total percorrido. Esse resultado indica que, independentemente da extensão do curso de deslizamento, o acúmulo de desgaste depende majoritariamente do tempo total de contato entre as superfícies. Segundo Holmberg e Matthews (2009), o volume de desgaste está diretamente associado à energia dissipada por atrito ao longo da distância, o que sustenta os dados obtidos. A similaridade nos mecanismos de desgaste, observados em ambas as condições de pista, comparados aos estudos de García-León et al. (2021) reforça a ideia de que a variação no curso não alterou de forma significativa a dinâmica tribológica do sistema.

Imagem 05: Volume de desgaste total.



Fonte: os autores.

A ausência de variação significativa no coeficiente de desgaste específico, observada na figura 04, independentemente da variação no comprimento da pista, reforça a hipótese de que, sob as condições de carga e frequência fixas, a extensão do curso do movimento alternado não altera substancialmente a dinâmica dos mecanismos de desgaste atuantes. Este comportamento também está alinhado com as observações de García-León et al. (2021), que destacam a predominância dos mecanismos abrasivo e adesivo em sistemas de contato deslizante sob cargas constantes.

3.4 MECANISMOS DE DESGASTE

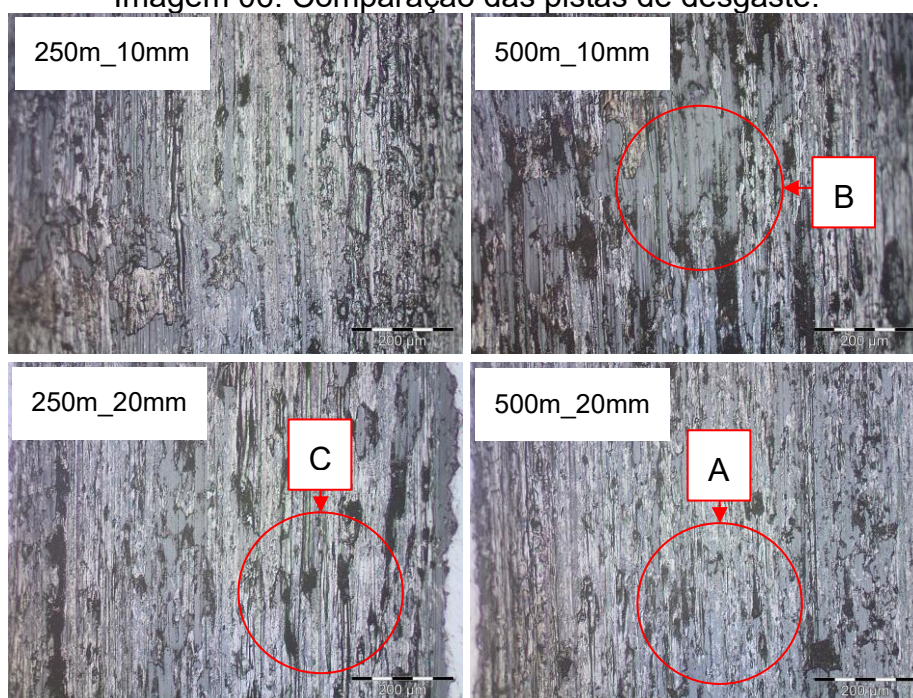
A comparação entre as pistas de desgaste obtidas nos quatro cenários testados, apresentada na Imagem 06, indica que os modos de desgaste abrasivo (A) e adesivo (B) são predominantes nas amostras, ocorrendo de maneira relativamente homogênea. De acordo com Davis (2002) e corroborado por García-León et al. (2021), o movimento alternado sob carga constante gera partículas de desgaste que atuam como agentes abrasivos secundários, promovendo sulcos e riscos característicos na zona de contato.

Quando essas partículas são suficientemente pequenas, podem se aglomerar e aderir à superfície da amostra ou à contraparte do tribômetro, favorecendo a formação de regiões com oxidação localizada. Esse processo de adesão pode estar diretamente relacionado à variação observada no volume total de desgaste ao longo

dos ensaios. Além disso, a aparente presença de regiões escurecidas (C) indica a possibilidade de desgaste trioxidativo, causado por reações químicas entre os materiais em contato e o ambiente durante o ensaio, sendo necessária uma análise química do material para comprovar a possibilidade.

Esse tipo de desgaste, embora menos evidente, pode contribuir para a alteração dos mecanismos predominantes ao longo do tempo. Como apontam Hutchings e Shipway (2017), a análise morfológica das trilhas de desgaste é essencial para distinguir os modos atuantes, sendo que sulcos paralelos são típicos da abrasão, enquanto adesão é evidenciada por transferência de material e deformações superficiais. A análise das imagens confirma esses padrões e reforça a correlação entre as condições de ensaio e os mecanismos tribológicos observados.

Imagem 06: Comparação das pistas de desgaste.



Fonte: os autores.

Os resultados obtidos indicam que a metodologia empregada na máquina de ensaio desenvolvida se mostrou adequada para a avaliação do desgaste alternado em substratos ferrosos, permitindo a obtenção de dados consistentes e a identificação dos principais mecanismos envolvidos, contribuindo para o avanço do conhecimento na área de tribologia aplicada.

5 CONCLUSÃO

Como o volume desgastado é proporcional ao comprimento total do ensaio, sem variação significativa do coeficiente de desgaste específico, é possível afirmar que, dentro das condições ensaiadas, a variação do comprimento da pista não influencia o volume desgastado para o mesmo comprimento percorrido. Também há concordância com outros estudos, como de García-León et al. (2021), ao afirmar que o coeficiente de atrito é afetado diretamente pela carga aplicada e não pelo comprimento da pista, enquanto o comprimento total percorrido é uma medida proporcional em relação ao volume desgastado.

Este trabalho evidenciou que, para o aço SAE 1020 submetido a ensaios de desgaste alternado em condições de carga e frequência constantes, o volume de material desgastado é diretamente proporcional ao comprimento total percorrido, enquanto o comprimento da pista de desgaste não exerce influência significativa sobre o volume removido. O coeficiente de desgaste específico mostrou-se constante em função do comprimento da pista, corroborando que este parâmetro não é determinante para o comportamento tribológico sob as condições estudadas.

A análise micrográfica revelou indícios da predominância dos mecanismos de desgaste abrasivo e adesivo, além de evidências pontuais de desgaste trioxidativo. Esses achados contribuem para uma melhor compreensão dos processos tribológicos atuantes durante o desgaste alternado.

Finalmente, a máquina de ensaio desenvolvida no IFSC demonstrou-se eficiente para a realização de testes de desgaste alternado, com potencial para aplicação em futuras pesquisas e no desenvolvimento de estratégias para melhoria da durabilidade de componentes mecânicos.

REFERÊNCIAS

AYERDI, J. J. et al. Ball-on-flat linear reciprocating tests: critical assessment of wear volume determination methods and suggested improvements for ASTM D7755 standard. **Wear**, v. 470-471, p. 203620, 15 abr. 2021.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM G115-10: Standard guide for measuring and reporting friction coefficients. 2010.

ASTM INTERNATIONAL. ASTM G133-22: Standard test method for linearly reciprocating ball-on-flat sliding wear. 2022.

DAVIS, J. R. Surface hardening of steels: understanding the basics. 1. ed. v. 46. OH, USA: ASM International, 2002.

GARCÍA-LEÓN, R. A. et al. Dry sliding wear test on borided AISI 316L stainless steel under ball-on-flat configuration: a statistical analysis. **Tribology International**, v. 157, p. 106885, 1 maio 2021.

HARISH, T.; RAJEEV, V. R. Effect of variation in stroke length on dry reciprocating wear of aluminium alloys. **Materials Today: Proceedings**, v. 5, n. 1, p. 1341–1347, 1 jan. 2018.

HOLMBERG, K.; MATTHEWS, A. Coatings tribology: properties, mechanisms, techniques and applications in surface engineering. **United Kingdom: Elsevier**, 2009.

HUTCHINGS, I. M.; SHIPWAY, P. Tribology: friction and wear of engineering materials. 2. ed. **Oxford: Butterworth-Heinemann**, 2017.

KUCHARSKI, S.; MRÓZ, Z. Identification of wear process parameters in reciprocating ball-on-disc tests. **Tribology International**, v. 44, n. 2, p. 154–164, fev. 2011.

LI, Y.; GAREBEDIAN, N.; SCHNEIDER, J.; GREINER, C. Waviness affects friction and abrasive wear. **Tribology Letters**, v. 71, p. 64, 2023.

PAWEL, P.; RAFAL, R. Improvement of wear scar volume estimation in reciprocating motion. **Wear**, v. 572-573, p. 206023, jul. 2025.

PENG, L. et al. Effects of normal load and reciprocating frequency on the tribological behaviors of a Zr-based bulk metallic glass. **Wear**, v. 520-521, p. 204732, maio 2023.

ZAMBRANO, O. A.; IGLESIAS-GUERRERO, B.; RODRÍGUEZ, S. A.; CORONADO, J. J. Running-in period during sliding wear of austenitic steels. **Tribology Letters**, [S.l.], v. 72, n. 70, 2024.