

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO
GRANDE DO SUL**

EVANDRO BENINCÁ

TRIBÔMETRO PARA AVALIAÇÃO DE DESGASTE EM SISTEMA BUCHA-PINO

CAXIAS DO SUL

2019

EVANDRO BENINCÁ

TRIBÔMETRO PARA AVALIAÇÃO DE DESGASTE EM SISTEMA BUCHA-PINO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais para a obtenção do grau de Mestre Profissional em Tecnologia e Engenharia de Materiais. Área de Concentração: Tecnologia e Engenharia de Materiais. Linha de Pesquisa: Desgaste e Atrito.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Luis Gasparin

Co-orientador: Prof. Dr. André Zimmer

CAXIAS DO SUL

2019

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul *Campus*
Caxias do Sul

62
B467t Benincá, Evandro
Tribômetro para avaliação de desgaste em sistemas bucha-
pino. / Evandro Benincá ; Orientador: Prof. Dr. Alexandre Luis
Gasparin , Co-orientador: Prof. Dr. André Zimmer. -- Caxias do Sul -
RS, 2019.
74 f. : il. ; 30 cm.

Dissertação (mestrado) – Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, *Campus* Caxias do Sul.
Mestrado Profissional em Tecnologia e Engenharia de Materiais,
2019.

Trabalho gerou pedido de patente no INPI.
Inclui referências.

1. Engenharia de materiais. 2. Tribômetro. 3. Bucha-pino. I.
Gasparin, Alexandre Luis, Orientador. II. Zimmer, André, Co-
orientador. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
do Rio Grande do Sul. IV. Título.

CDU 62

EVANDRO BENINCÁ

TRIBÔMETRO PARA AVALIAÇÃO DE DESGASTE EM SISTEMA BUCHA-PINO

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia e Engenharia de Materiais para a obtenção do grau de Mestre Profissional em Tecnologia e Engenharia de Materiais. Área de Concentração: Tecnologia e Engenharia de Materiais.

Aprovado em 15 de julho de 2019

Banca Examinadora

Prof. Dr. André Zimmer

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS

Prof. Dr. Daniel Amoretti Gonçalves

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS

Prof. PhD Leandro Luis Corso

Universidade de Caxias do Sul – UCS

Prof. Dr. Alexandre Luis Gasparin – Orientador

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul – IFRS

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por estar sempre ao meu lado.

À minha família, especialmente ao meu pai Delvino Benincá e à minha mãe Beatris Maria Tomasini Benincá. Também, à minha noiva Talita Andressa Refosco por sua companhia em todo o desenvolvimento da pesquisa e pelo seu amor e carinho.

Aos professores do programa PPG-TEM pelo conhecimento transmitido nas aulas, em especial ao meu orientador prof. Dr. Alexandre Luis Gasparin e aos coorientadores professor Dr. André Zimmer e professora Dra. Chintia Gabriely Zimmer.

Ao professor Dr. Edson Luiz Francisquetti pelas inúmeras vezes que me recebeu e auxiliou com dúvidas na área de polímeros.

Ao professor Me. Jefferson Haag pelo empréstimo de seu laboratório para a construção e alocação do equipamento.

À professora Dra. Maria Cristina Moré Farias pelo suporte técnico nos testes realizados na Universidade de Caxias do Sul.

Ao professor PhD Leandro Luis Corso e ao professor Dr. Daniel Amoretti Gonçalves por terem aceitado serem os avaliadores da minha pesquisa.

Aos técnicos Bruno Bueno, Celso Roman Junior, Diego Chiarello, Marcelo Broch e Tiago Pascoal Vicente do laboratório de materiais do IFRS - *Campus* Caxias.

Aos bolsistas Adrieli de Araujo, Bruno Menzomo, Fernando Silveira e Sandro Pereira.

A todos aqueles que não mencionei, mas que tiveram participação de alguma forma neste trabalho, muito obrigado!

Porque Dele, por Ele, e para Ele são todas
as coisas.

Romanos 11:36

RESUMO

O objetivo deste trabalho é apresentar um tribômetro para avaliação de desgaste e leitura do coeficiente de atrito de contatos rotativos tipo bucha-pino. O equipamento desenvolvido foi testado em duas etapas, na primeira foram utilizadas buchas cilíndricas, de três diferentes materiais (aço H13, Latão 360 e Teflon), em contato deslizante contra pinos de aço H13 recobertos com cromo duro. As amostras foram avaliadas em relação ao desgaste por perda de massa e seus coeficientes de atrito registrados. Como meio de comparação e validação, os mesmos materiais foram testados em tribômetro normatizado. Os resultados de desgaste mostraram ordenação em relação à dureza e os coeficientes de atrito ficaram próximos dos valores obtidos em equipamento normatizado e literatura. O tribômetro também mostrou a tendência de travamento do par em contato. Na segunda etapa, uma investigação de desgaste foi realizada utilizando buchas de aço 4140 com e sem substrato nitretado a plasma, depositadas com filme fino de nitreto de titânio (TiN) e nitreto de titânio alumínio (TiAlN). Os resultados mostraram maior resistência ao desgaste nas buchas com substrato nitretado com filme fino de TiAlN. Nesse contexto, o tribômetro desenvolvido apresentou bons resultados. Portanto, este trabalho também apresenta o pedido de patente de invenção para o equipamento.

Palavras-chave: Tribômetro. Contato Bucha-pino. Desgaste. Coeficiente de atrito. Filmes finos.

ABSTRACT

The aim of this work is to present a tribometer for wear evaluation and friction coefficient measurement for rotary bushing-pin contacts. The developed equipment was tested in two stages, The first stage was used bushings of three different materials (H13 steel, Brass 360 and Teflon) in sliding contact against H13 steel studs coated with hard chrome. The samples were evaluated for wear by mass loss, and their coefficients of friction were recorded. As a means of comparison and validation, the same materials were tested in pin-on-disk tribometer. The wear results showed ordering in relation to the hardness in the different tests. The coefficients of friction obtained were close to the values of the pin-on-disk equipment and the literature, besides being able to detect the locking condition. The second stage a wear investigation was conducted using 4140 steel bushings with coated and no coated plasma nitriding substrate, deposited with thin film of titanium aluminum nitride (TiAlN) and titanium nitride (TiN). The results showed a higher wear resistance for nitrided rollers coated with TiAlN. The tribometer developed showed good results so in this context this work also presents the invention patent application for the equipment.

Keywords: Tribometer. Bushing-pin contact. Wear. Friction coefficient. Thin films.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação esquemática do funcionamento do tribômetro desenvolvido, mostrando que a tomada das medidas de desgaste, rugosidade, dimensional e temperatura são de forma externa.	19
Figura 2 – Tribômetro para avaliação de desgaste e medição do coeficiente de atrito em contato bucha-pino. a) contato bucha-pino. b) tribô-sistema. c) sistema porta-amostra. d) sistema de controle e aquisição de dados.	19
Figura 4 – Dimensão dos corpos de prova. a) Bucha. b) Pino.	20
Figura 5 – Micrografias das amostras. a) aço H13 (ampliação de 100x, com ataque de Nital 5%). b) Latão 360 (ampliação de 100x, com ataque de FeCl ₃). c) Teflon (ampliação 100x, sem ataque).	22
Figura 6 – Teste de desgaste no tribômetro desenvolvido. a) Amostras aço H13, Teflon e Latão. b) Aplicação da força normal por peso fixo. c) Sistema porta-amostra.	23
Figura 7 – Representação para o cálculo do coeficiente de atrito em mancais de deslizamento. a) Mancal de deslizamento. b) Decomposição de força do momento. c) Força de reação no deslizamento.	24
Figura 8 – Medição do coeficiente de atrito. a) Porta-amostra configurado para aplicação da força normal por parafuso de aperto. b) Peso de estabilização para posterior aplicação do torque com torquímetro de estalo.	26
Figura 9 – Emsaios comparativos ASTM G99 em equipamento padronizado. a) Tribômetro UMT tribolab Bruker. b) Sistema porta-amostra. c) Amostras cilíndricas e esfera.	27
Figura 10 – Áreas em contato rolante. a) Esfera-superfície plana. b) Cilindros paralelos.	28
Figura 11 – Espectro do coeficiente de atrito do Teflon e do Latão 360 obtidos no tribômetro desenvolvido.	32
Figura 12 – Espectro do coeficiente de atrito do aço H13 na condição de travamento após alguns segundos de acionamento.	32
Figura 13 – Espectro do latão 360 com travamento após algumas dezenas de ciclos, em que se verifica a tendência do material ao travamento pelo aumento do coeficiente de atrito ao longo do tempo.	33

Figura 14 – Espectro do coeficiente de atrito para a mostra latão 360 com e sem
lubrificação com graxa multipropósito.34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Composição química das amostras.....	21
Tabela 2 – Dureza das amostras	21
Tabela 3 – Parâmetros utilizados para teste de desgaste no tribômetro desenvolvido.	23
Tabela 4 – Resultado do teste de desgaste.	30
Tabela 5 – Resultado da medição do coeficiente de atrito.....	31

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	JUSTIFICATIVA E PROBLEMA	16
1.2	OBJETIVO.....	17
2	MATERIAIS E MÉTODOS	18
2.1	DIMENSIONAL DA AMOSTRA	20
2.2	PROCEDIMENTO PARA O TESTE DE DESGASTE.....	22
2.3	MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO	24
2.4	ENSAIO COMPARATIVO ASTM G99.....	26
2.5	CÁLCULO DOS PARÂMETROS DO CONTATO	27
2.5.1	Formulação do contato esfera-superfície plana	28
2.5.2	Formulação do contato cilindros paralelos	29
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	30
4	CONCLUSÃO	35
5	ARTIGO	36
6	PATENTE	48
6.1	CAMPO DA INVENÇÃO.....	48
6.2	ANTECEDENTES DA INVENÇÃO.....	48
6.3	SUMÁRIO DA INVENÇÃO	52
6.4	BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS.....	54
6.5	DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO	55
6.6	EXEMPLO 1 – TRIBÔMETRO PARA PAR EIXO/ROLETE	62
6.7	REIVINDICAÇÕES.....	65
6.8	RESUMO.....	68
7	FIGURAS	69
8	CONCLUSÕES	72

8.1	CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO	72
8.2	POSSIBILIDADES DE TRABALHOS FUTUROS	72
	REFERÊNCIAS.....	74

1 INTRODUÇÃO

Tribologia é a ciência que estuda o atrito, desgaste e a lubrificação de superfícies em contato relativo, tendo seu significado definido em 1967 pelo Comitê de organização para a economia cooperativa e desenvolvimento. “Tribologia” é derivada da palavra grega “tribos” que significa atrito ou deslizamento (STACHOWIAK; BATCHELOR, 2005).

Desgaste é o maior causa do desperdício e perda de desempenho mecânica. O atrito é a principal causa do desgaste e da perda por dissipação de energia, sendo que qualquer melhoria nos controles do atrito pode-se resultar em grandes resultados para a economia. Estimativas mostram que um terço dos recursos energéticos atualmente utilizados são desperdiçados na forma de atrito.

Em uma definição simples, o objetivo da tribologia é minimizar as duas principais desvantagens do contato sólido contra sólido: atrito e desgaste. Porém, não em todos os casos, pois, muitas vezes, o atrito é desejável como em freios e embreagens (STACHOWIAK; BATCHELOR, 2005).

Em relação às geometrias de contato tribológico existentes, pode-se ter o contato plano com plano e também contatos dependentes da curvatura dos corpos, por exemplo, quando duas esferas se encostam, um ponto de contato é considerado, já para dois cilindros paralelos, uma linha de contato acontece.

A curvatura dos corpos podem ser planas, convexas ou côncavas, sendo definidas por convenção. As superfícies convexas são positivas e côncavas negativas, segundo Stachowiak e Batchelor (2005).

Um dos contatos tribológicos que podem ser utilizados em sistemas mecânicos quando o uso de rolamentos não é possível ou economicamente inviável é o sistema bucha-pino (contato côncavo-convexo). Como exemplos das aplicações estão lanças de guindastes, elementos de máquinas industriais como came-seguidor e dobradiças.

Às vezes, esse tipo de contato sofre com as altas cargas aplicadas, acarretando defeitos como travamento, ruído e desgaste excessivo. Devido a isso, prova-se ser importante o seu estudo como forma de eliminar falhas e aprofundar estudos para a redução do coeficiente de atrito nesse modelo de contato.

Atualmente, as normas existentes não apresentam um ensaio específico para esse tipo de contato (bucha-pino). Para a realização desses ensaios, um equipamento tribológico é utilizado, sendo projetado para medir o desgaste e o coeficiente de atrito de pares em contato.

Dentre as normas existentes, estão a ASTM G99, que trata de testes em sistema rotativo do tipo esfera-superfície plana, e a ASTM G133, que trata de testes em contato deslizante linear do tipo esfera-superfície plana.

As normas que mais se aproximam do ensaio para o contato bucha-pino é a ASTM G77 e a ASTM G137. No entanto, elas utilizam um contato plano contra superfície cilíndrica externa, sendo a última específica para ensaios de materiais plásticos.

Embora existam patentes depositadas internacionalmente para equipamentos que simulam o contato bucha-pino, poucas publicações acadêmicas são encontradas.

Uma das publicações encontradas que aborda o estudo específico do contato bucha-pino trata do desenvolvimento de um equipamento com o objetivo de analisar diferentes condições da geometria do rolete em relação à vida em fadiga de contato, testando as condições de chanfro e raio de borda, variação da folga inicial e do ângulo de contato. Como conclusão, todos esses parâmetros se mostraram importantes no desgaste e vida em fadiga do contato (COLBERT et. al., 2010).

Em outra publicação, foi realizado um estudo comparativo de desgaste e coeficiente de atrito com buchas feitas com os materiais poliméricos PE, PA, POM e PTFE atritadas contra um eixo de aço 1045. Para o estudo, foi criado um aparato de desgaste que consistia em um eixo para a aplicação de peso fixo, relógio comparador para verificação do desgaste e motor de acionamento. O coeficiente de atrito foi medido pela leitura da força do atrito formado em torno do eixo de rotação da bucha e deslocamento da barra conectada à bucha. O sistema também possui uma mola conectada no lado oposto para a comparação da força de atrito (UNLU, ATIK; KOKSAL, 2009).

Na mesma linha, outro estudo compara o desgaste e o coeficiente de atrito em buchas poliméricas para compressores, em que foram testados os materiais poliméricos SP2515, SCP5050 e SCP50094. Para os ensaios, foi criado um

tribômetro que simula as diferentes condições de carregamento. Para a aplicação da força, foi utilizado um servomotor em conjunto com um mecanismo de mola e parafuso que, indiretamente, aplica os níveis de carregamento de contato necessários (CHEN et al., 2019).

Dentre as patentes depositadas de tribômetro, o documento CN 108344654 e WO 2018050531 revelam um dispositivo de teste de desgaste que compreende a medição do coeficiente de atrito, sendo que a WO 2018050531 é parecida com o tribômetro que está sendo apresentado neste trabalho, porém não revela uma solução que permita a troca rápida de amostra e a previsão de travamento por desgaste severo.

1.1 JUSTIFICATIVA E PROBLEMA

A importância de conhecer o comportamento dos diferentes pares tribológicos em relação ao desgaste e ao coeficiente de atrito torna o estudo da tribologia uma área de pesquisa atraente. Essa relevância se deve ao fato de a sociedade buscar aprimorar seus meios de produção e produtos criados buscando materiais mais leves, mas que tenham comportamentos melhores e que consigam satisfazer as exigências das cargas aplicadas e da durabilidade.

Um dos elementos utilizados quando o uso de rolamentos é impossibilitado pela aplicação ou pelo custo é o sistema de bucha-pino. Recentemente, algumas pesquisas trouxeram como soluções inúmeras formulações de materiais poliméricos para aumentar a resistência ao desgaste desse tipo de contato, porém estes apresentaram limitação da força aplicada. Uma das soluções para aumentar o desempenho ao desgaste e suportar altos esforços são os tratamentos nitretados com deposição de filmes finos.

Para estudar esse tipo de contato, é necessário desenvolver um equipamento específico, pois na maioria das vezes os tribômetros normatizados não conseguem simular as situações dos esforços presentes nas condições reais.

O desenvolvimento de um equipamento próprio para esse teste se justificaria como uma forma de pesquisar inúmeras formulações para reduzir o atrito ou ruído desse elemento, assim como a resistência ao desgaste de diferentes tratamentos térmicos ou deposição de filmes finos.

1.2 OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é desenvolver um tribômetro que simule as condições do contato bucha-pino e consiga medir o coeficiente de atrito cilíndrico, detectando a condição de desgaste severo (travamento mecânico). Para o entendimento do equipamento desenvolvido, a pesquisa é apresentada na primeira parte deste trabalho, estando em formato de artigo de revista científica.

Para validar o tribômetro desenvolvido, duas pesquisas foram conduzidas, sendo a primeira por meio da comparação do desgaste e do coeficiente de atrito com resultados obtidos em equipamento normatizado. Para esta etapa, roletes fabricados em aço H13, latão 360 e teflon foram colocados em contato de rolamento contra pinos de aço 4140 recobertos com cromo duro.

A segunda pesquisa desenvolvida foi a avaliação do desgaste obtido em roletes de aço 4140 depositados com filme fino de nitreto de titânio (TiN) e nitreto de titânio e alumínio (TiAlN) verificando a adesão do filme fino na presença e ausência de substrato nitretado a plasma. Os resultados também foram comparados com buchas poliméricas normatizadas de baixo atrito.

Os resultados da segunda pesquisa foram publicados no 23 Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECiMat), ocorrido nos dias 04 a 08 de novembro do ano de 2018 na cidade de Foz do Iguaçu, que se localiza no estado do Paraná, Brasil.

O artigo em questão é apresentado neste trabalho logo na sequência da apresentação da primeira pesquisa e conforme texto publicado nos anais do congresso CBECiMat encontrando-se disponível no endereço eletrônico <http://cbecimat.com.br/anais/PDF/III18-007.pdf>.

Para a finalização deste trabalho, apresenta-se a descrição do pedido de patente do tribômetro desenvolvido depositada junto ao Instituto Nacional de Propriedade Intelectual (INPI) tendo recebido o aceite em exame preliminar como patente de invenção sob o número de registro BR102019006518-4 na data de 23 de março de 2019.

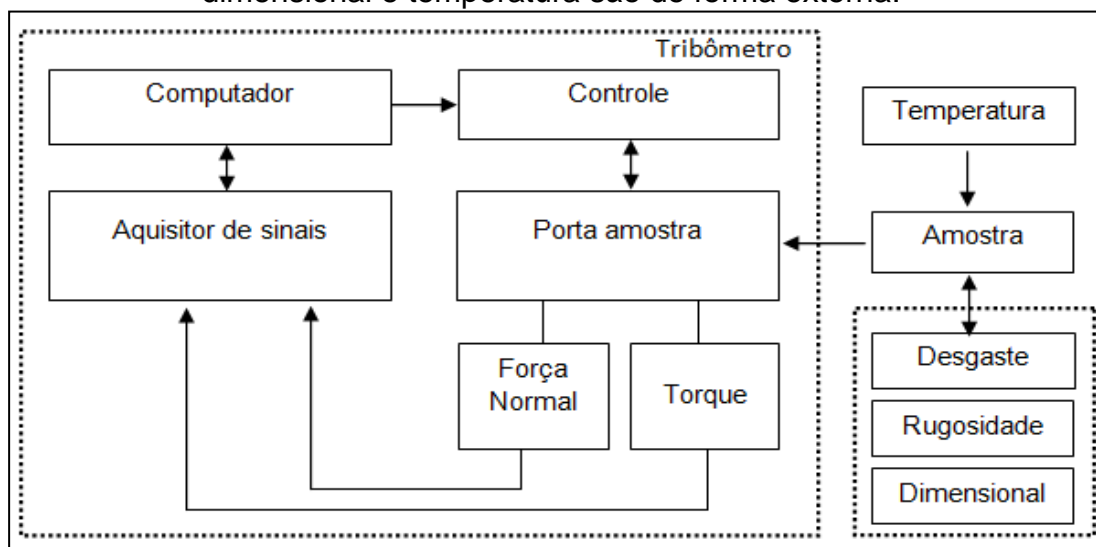
2 MATERIAIS E MÉTODOS

O equipamento tribômetro desenvolvido para a avaliação de desgaste e medição do coeficiente de atrito em sistema bucha-pino é composto por três sistemas, sendo eles:

- a) **Sistema porta-amostra:** tem a função de alocar os roletes e pinos em uma única posição, permitindo a sua retirada para avaliação e recolocação sempre na mesma posição de montagem. O sistema ainda permite a aplicação da força normal de contato por peso fixo ou ajustável mecanicamente;
- b) **Sistema de controle:** tem a função gerenciar o teste, sendo composto de um Controlador Lógico Programável (CLP) modelo Zelio conectado a um inversor de frequência WEG modelo CFW10. Faz parte um motor indutivo trifásico com potência de 0,5 cv, acoplado a um motorreductor da marca Geremia modelo GSA 51, com taxa de redução de 20:1, e três sensores indutivos responsáveis pelo posicionamento do sistema, contador de ciclos da marca Inova INV-9402, chaves de seleção manual e alarmes sonoros e visuais; e
- c) **Sistema de aquisição de sinais:** destinado como leitura do coeficiente de atrito, é composto de um aquisitor de sinais da marca Lynks modelo ADS0500 conectado a um computador que processa os sinais das células de carga de força normal e de torque produzidas pela empresa especializada em instrumentação Excel Sensores.

Na Figura 1, é mostrada uma representação esquemática dos sistemas que constituem o tribômetro, sendo que a avaliação de desgaste, rugosidade e dimensional deve ser feita externamente ao equipamento com a retirada da amostra.

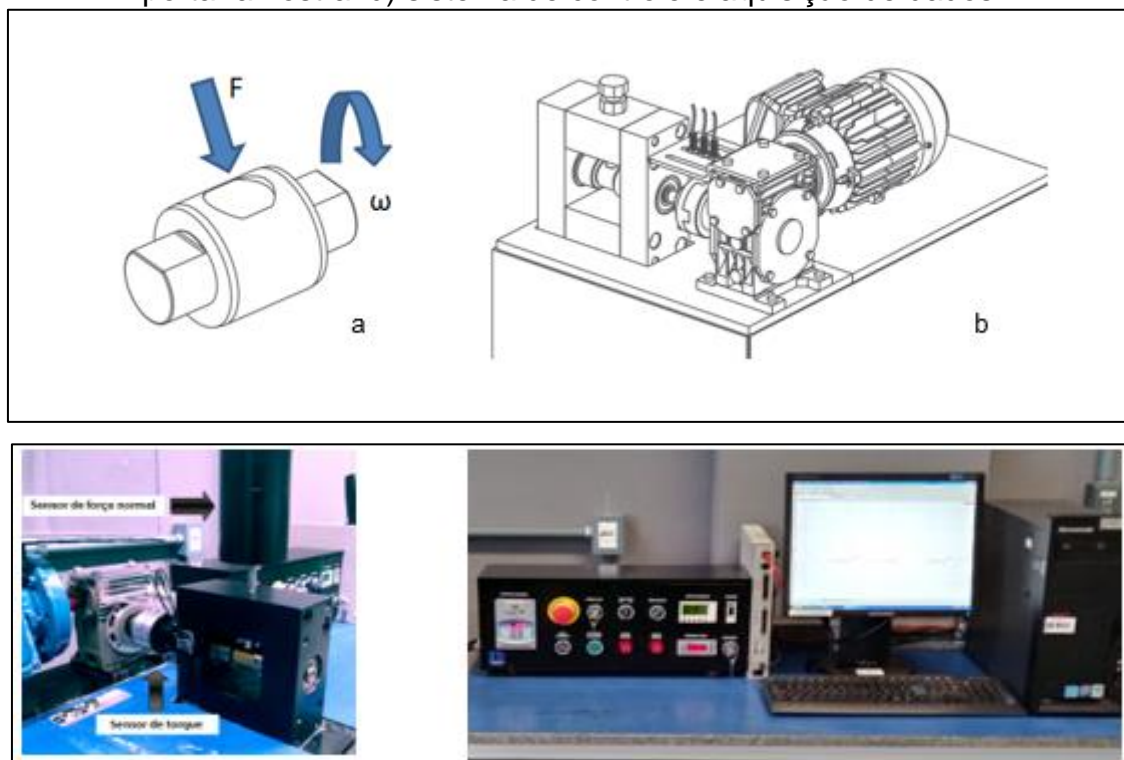
Figura 1 – Representação esquemática do funcionamento do tribômetro desenvolvido, mostrando que a tomada das medidas de desgaste, rugosidade, dimensional e temperatura são de forma externa.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Na Figura 2, são apresentadas imagens do tribômetro desenvolvido e de seus sistemas.

Figura 2 – Tribômetro para avaliação de desgaste e medição do coeficiente de atrito em contato bucha-pino. a) contato bucha-pino. b) tribô-sistema. c) sistema porta- amostra. d) sistema de controle e aquisição de dados.

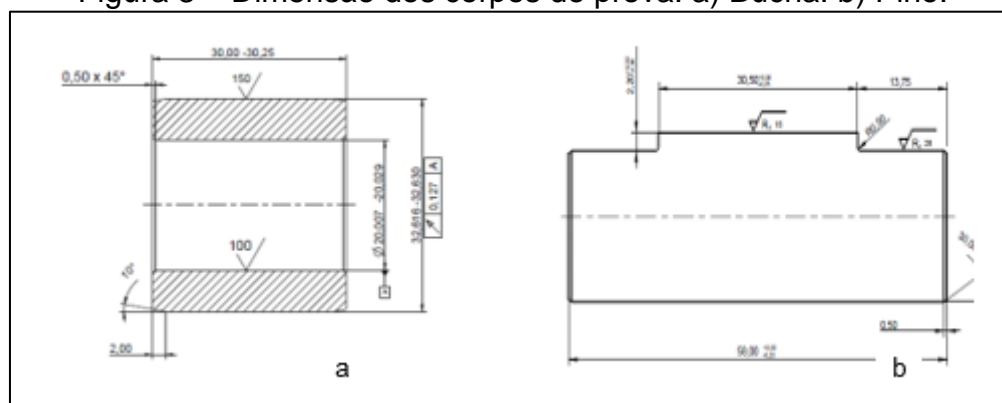


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

2.1 DIMENSIONAL DA AMOSTRA

A Figura 3 apresenta a dimensão dos corpos de prova para a bucha e pino. As folgas de encaixe utilizadas no contato bucha/pino foi o padrão ISO G7 para a bucha (+0,007 mm, +0,028 mm) e ISO e7 (-0,04 mm; -0,061 mm) para o pino, que possui faces fresadas para prover uma superfície plana de encaixe no sistema porta- amostra.

Figura 3 – Dimensão dos corpos de prova. a) Bucha. b) Pino.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para os testes com o equipamento desenvolvido, foram realizados ensaios de desgaste e medição do coeficiente de atrito para três diferentes combinações de materiais em contato, sendo que para o rolete foram utilizados os materiais aço H13, Latão 360 e Teflon, e para o Pino aço H13 recoberto com camada de cromo duro com espessura entre 0,020 a 0,025 mm.

Para a confirmação da matéria-prima utilizada na fabricação das amostras, análises foram conduzidas pelos técnicos dos Laboratórios de Análises Metalográficas (LAMET) e de Polímeros (LPOL) da Universidade de Caxias do Sul (UCS).

Para os materiais metálicos aço H13 e latão 360, foi realizada uma Análise de Espectroscopia de Emissão Óptica por Descarga Luminiscente (GDOES), sendo os resultados das porcentagens de peso dos elementos químicos apresentados na Tabela 1.

Para a verificação do material teflon, foram realizadas a Análise de Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC), conforme a norma ASTM D3418-15, a

Análise de Espectroscopia na Região do Infravermelho (FT-IR), conforme a norma ASTM E1252-98, e a Análise por Refletância Total Atenuada, conforme a norma ASTM E573-01, sendo confirmado o material polimérico pela banda de absorção característica em 1200,6; 1146,1 cm (deformação angular de ligações C-F).

Tabela 1 – Composição química das amostras

	Elemento químico (%peso)								
	C	Si	Mn	P	Cr	Mo	Ni	Al	Cu
Aço H13	0,39	0,86	0,45	0,02	5,6	1,46	0,10	0,02	0,11
Latão 360	-	0,002	0,001	0,010	0,001	0,001	0,020	0,019	Base

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Avaliações de dureza foram realizadas para os materiais metálicos conforme a norma NBR NM ISSO 6508-1:2008 e para o material de teflon, conforme a norma ASTM D2240-15. Os resultados são apresentados na Tabela 2, sendo os valores a média aritmética de três séries de amostras com cinco repetições de leitura cada.

Tabela 2 – Dureza das amostras

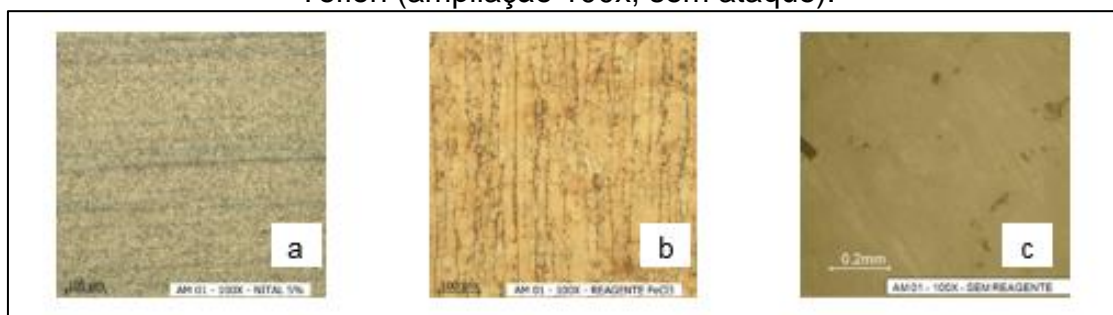
Material	Amostra	Superfície	Dureza		
			Rockwell B	Vickers	Shore D
Aço H13	Rolete	usinada	96,0	-	-
	Pino	cromo duro	-	1070	-
Latão 360	Rolete	usinada	36,6	-	-
Teflon	Rolete	usinada	-	-	59,87

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Também foram realizadas análises metalográficas para verificar a microestrutura dos materiais metálicos, sendo que os corpos de prova foram preparados conforme a norma NBR 13284:95, sofrendo ataque com reativos metalográficos, segundo a norma NBR 8108:1983. As seções das amostras foram devidamente polidas e atacadas com Nital 5% e FeCl_3 , para o aço H13, e latão 360, respectivamente. Conforme a Figura 4a, o aço H13 apresentou matriz ferrítica com carbonetos dispersos na matriz. O latão 360 (Figura 4b) apresentou microestrutura homogênea de solução alfa primária (área clara), em solução beta (área cinza) com possíveis inclusões complexas de Al, Si, Fe, Mn.

Na Figura 4c, é apresentada a imagem da superfície do teflon que não sofreu ataque ou polimento, mas apenas teve sua superfície fotografada.

Figura 4 – Micrografias das amostras. a) aço H13 (ampliação de 100x, com ataque de Nital 5%). b) Latão 360 (ampliação de 100x, com ataque de FeCl_3). c) Teflon (ampliação 100x, sem ataque).



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

2.2 PROCEDIMENTO PARA O TESTE DE DESGASTE

Foram realizadas três séries de desgaste com três repetições, buchas nos materiais aço H13, Latão 360 e Teflon, ensaiados contra pinos de aço H13 com camada de cromo duro.

As séries foram executadas sem meio líquido (a seco), a temperatura e umidade ambiente (20°C). Como procedimento para obtenção do desgaste por perda da massa, foi utilizada uma balança de precisão, sendo anotado o peso inicial e após os testes de ciclagem. Os parâmetros utilizados são apresentados na Tabela 3.

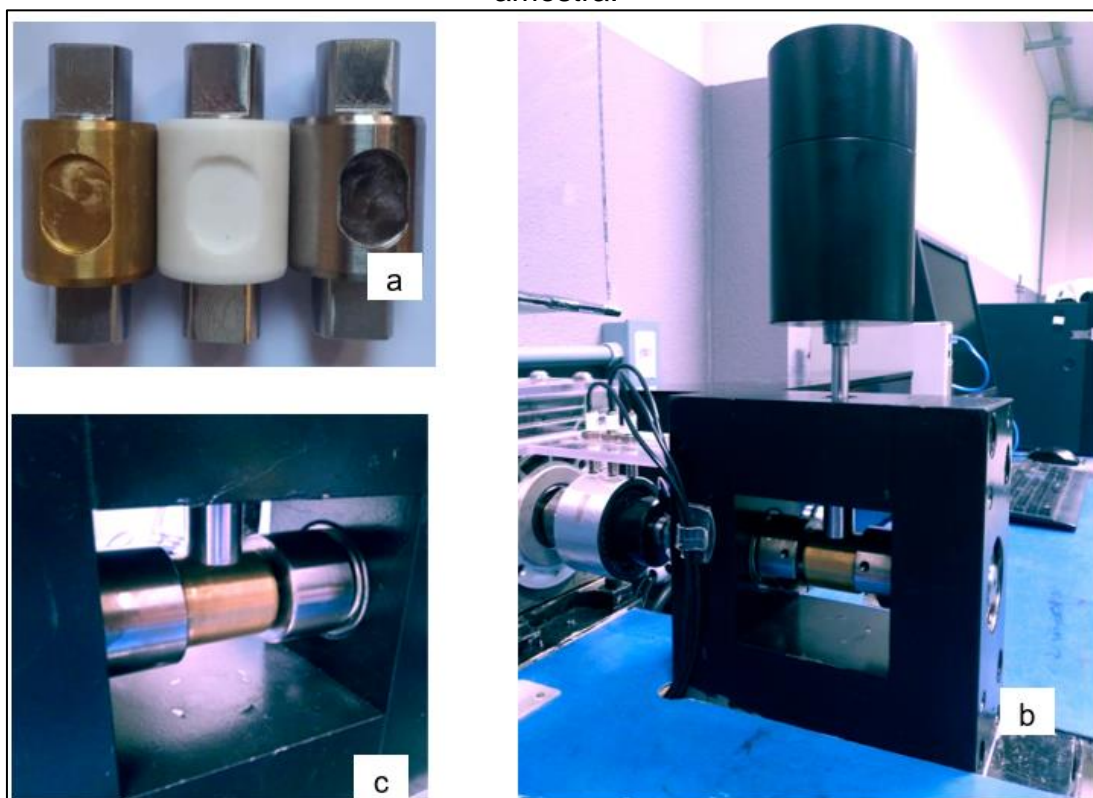
Tabela 3 – Parâmetros utilizados para teste de desgaste no tribômetro desenvolvido.

Parâmetro	Aço H13	Latão 360	Teflon
Força normal (N)	50	50	50
Rotação (RPM)	36	36	36
Raio de contato (mm)	10	10	10
Número de ciclos	1000	1000	1000
Ângulo do giro	+/- 90°	+/- 90°	+/- 90°
Meio lubrificante	A seco	A seco	A seco
Repetições	3	3	3

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Na Figura 5, são mostradas imagens dos corpos de prova para cada par em contato e a sua disposição no tribômetro desenvolvido.

Figura 5 – Teste de desgaste no tribômetro desenvolvido. a) Amostras aço H13, Teflon e Latão. b) Aplicação da força normal por peso fixo. c) Sistema porta-amostra.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

2.3 MEDIÇÃO DO COEFICIENTE DE ATRITO

A fim de estabelecer uma metodologia para a medição do coeficiente de atrito no sistema de contato bucha-pino, utilizou-se uma formulação já desenvolvida para apoios de mancal de deslizamento (Figura 6a), estabelecendo as mesmas condições de forças e momentos atuantes.

Conforme mostrado na Figura 6b, à medida que o eixo gira na direção assinalada, ele rola contra a parede em um ponto “A” em que ocorre deslizamento. Se a carga lateral atuante na extremidade do eixo é P, é necessário que a força de reação “R” do mancal que atua em “A” seja igual e oposta a “P”.

O momento necessário para manter a rotação do eixo constante pode ser encontrado pelo somatório dos momentos em relação à direção z do eixo, em que ele é igual a zero, conforme mostra a equação 1 (HIBBELER, 2013).

$$(1) M - (R \sin \phi_c) r = 0$$

Em que ϕ_c é o ângulo de atrito estático definido por $\text{tg } \phi_c = \frac{F}{N} = \frac{\mu_c N}{N} = \mu_c$.

Na Figura 5c, pode-se ver que $r \sin \phi_c = r_f$.

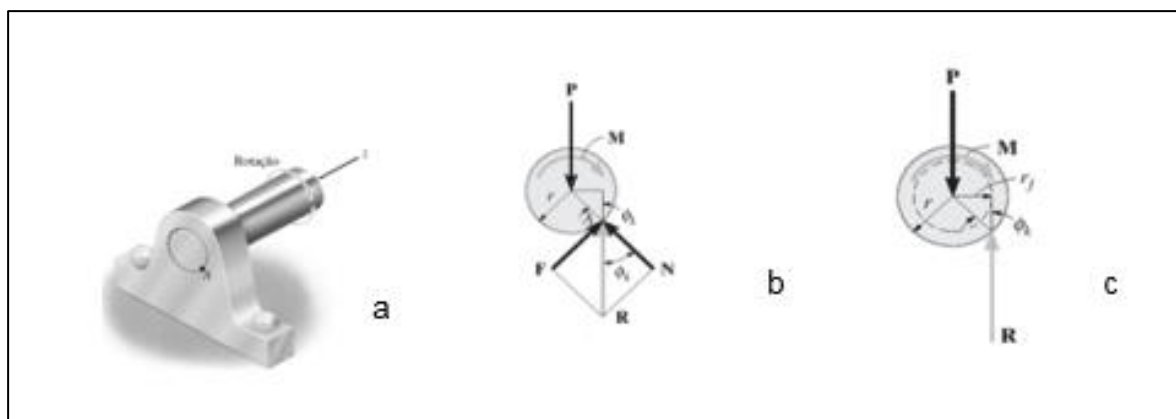
O círculo tracejado com raio r_f é chamado de círculo de atrito e, enquanto o eixo gira, a relação R será sempre tangente a ele.

Se o mancal é parcialmente lubrificado, μ_c é pequeno e, conseqüentemente, $\mu_c = \text{tg } \phi_c \approx \sin \phi_c \approx \phi_c$.

Sob essas condições, uma aproximação razoável para o momento necessário para superar a resistência de atrito é apresentado na equação 2 (HIBBELER, 2013).

$$(2) M = R r \mu_c$$

Figura 6 – Representação para o cálculo do coeficiente de atrito em mancais de deslizamento. a) Mancal de deslizamento. b) Decomposição de força do momento. c) Força de reação no deslizamento.



Fonte: Hibbeler (2006, p. 374).

Dessa forma, para a leitura do coeficiente de atrito em um sistema bucha-pino, utilizou-se o valor do torque “M” (resultado da resistência ao giro pelo contato entre as superfícies), o valor da força normal aplicada no contato (R) e o valor do raio (r) (desde o centro de rotação até a superfície de contato), em que no equipamento desenvolvido se fez o uso de célula de carga de força normal e torque para a obtenção dos seus valores conforme mostrado na Figura 2c.

A fim de verificar o coeficiente de atrito, usou-se para a calibração do sensor de torque a norma ABNT NBR 12240:2013 e, para a calibração do sensor de força normal, a norma ABNT NBR ISO 376:2013.

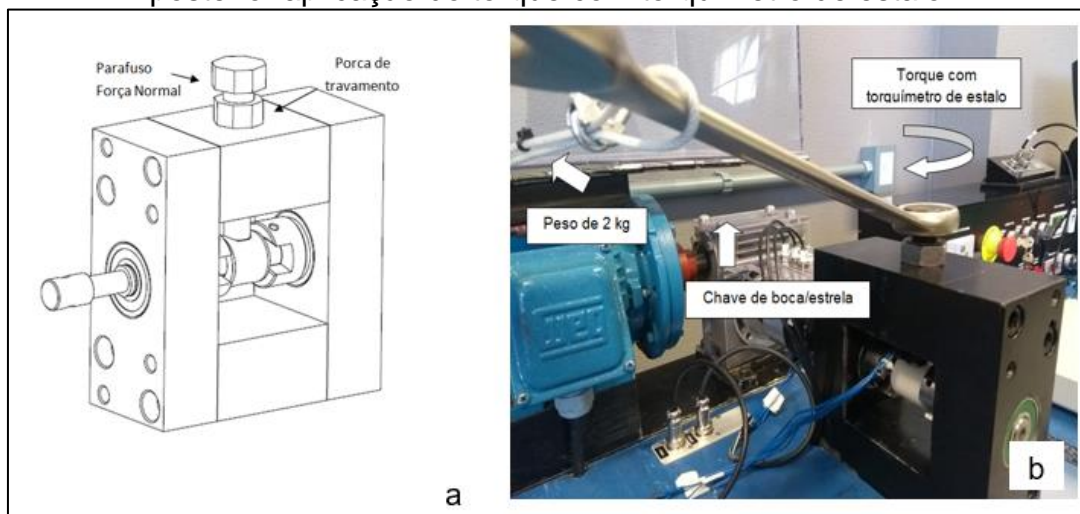
Os parâmetros utilizados nos testes foram os mesmos mostrados na Tabela 4, com exceção da força normal que foi utilizada em um patamar maior que os 50 N pelo fato do eixo apenas detectar o torque com forças acima de 1000 N.

Para a aplicação da carga, foi utilizado um parafuso de aperto em paralelo com porca de travamento, torquímetro de estalo e peso de estabilização. A utilização do parafuso de aperto permite aplicar forças normais elevadas.

Já o torquímetro de estalo permite a aplicação correta do torque de aperto, promovendo confiabilidade no valor aplicado. A porca de travamento restringe a perda de torque pelo acionamento do deslizamento enquanto o peso de estabilização ajuda a assegurar a força de contato.

Na Figura 7, é mostrado o sistema de aplicação da força por parafuso e porca de travamento, assim como o sistema de estabilização.

Figura 7 – Medição do coeficiente de atrito. a) Porta-amostra configurado para aplicação da força normal por parafuso de aperto. b) Peso de estabilização para posterior aplicação do torque com torquímetro de estalo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

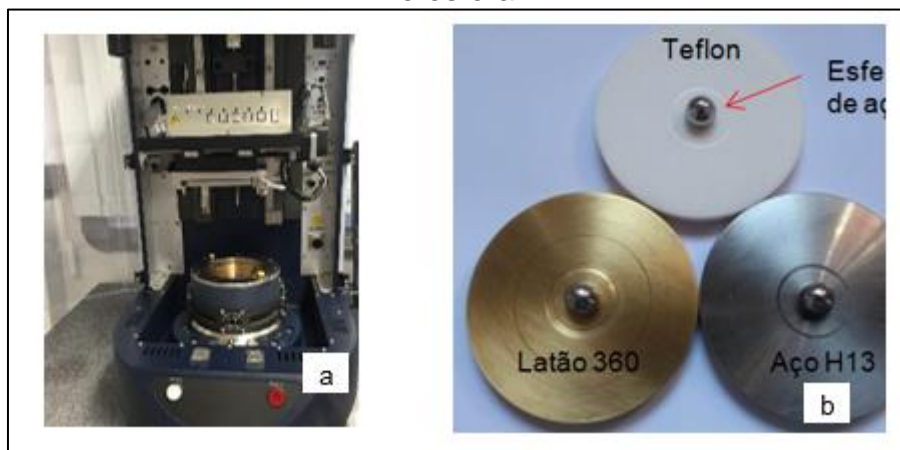
2.4 ENSAIO COMPARATIVO ASTM G99

Como forma de comparação, realizou-se ensaios de desgaste em equipamento padronizado tipo esfera-superfície plana, modelo UMT TRIBOLAB Bruker, parametrizado conforme a Tabela 3, com exceção do modo de ciclo que foi contínuo (sem reversão).

Como amostra, utilizou-se discos com diâmetro de 69 mm e espessura de 7 mm e dos materiais aço H13, Latão 360 e Teflon, conforme a Figura 8. Para as esferas, utilizou-se o modelo de aço 521000 de 12 mm de diâmetro, classe III DIN 5401, dureza de 63 HR com composição química (% peso) de 0,97 para o carbono, 0,22 de Silício, 0,33 de manganês, 0,015 de fósforo, 0,017 de enxofre e 1,32 de cromo.

Os ensaios esfera-superfície plana foram realizados no Instituto de Materiais Cerâmicos da Universidade de Caxias do Sul (IMC/UCS). Na Figura 8, pode-se ver o equipamento esfera-superfície plana e as amostras utilizadas.

Figura 8 - Ensaios comparativos ASTM G99 em equipamento padronizado. a) Tribômetro UMT tribolab Bruker. b) Sistema porta-amostra. c) Amostras cilíndricas e esfera.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

2.5 CÁLCULO DOS PARÂMETROS DO CONTATO

Quando dois corpos estão em contato, os parâmetros mais frequentemente usados para avaliá-lo são: a área de contato, a máxima pressão de contato (comumente chamada de tensões de Hertz) a máxima deflexão da superfície de contato central e a posição máxima das tensões cisalhantes abaixo da superfície.

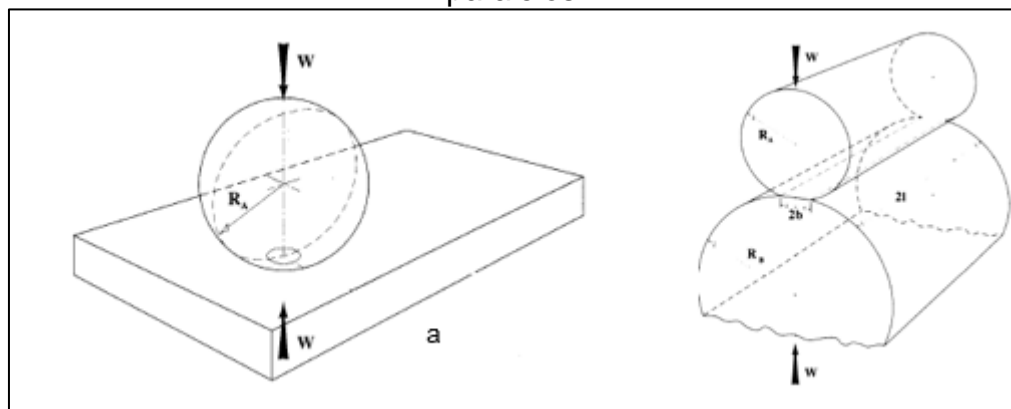
A definição da área de contato depende da curvatura dos corpos em contato, podendo ser convexas, planas ou côncavas e por convenção mundial que considerou as superfícies convexas como curvaturas positivas e as curvaturas côncavas como negativas.

As equações para o cálculo da máxima pressão de contato, máxima deflexão da superfície de contato central e da máxima posição das tensões cisalhantes abaixo da superfície foi originalmente desenvolvida por Hertz, que uniu o cálculo da elipticidade do contato com integrais completas e procedimentos numéricos. Suas formulações foram posteriormente aprimoradas com o uso de métodos iterativos por Hamrock e Anderson em 1973 e com o uso de simplificações nas equações por Brewe e Hamrock, em 1977 (STACHOWIAK; BATCHELOR, 2005).

Na Figura 9a, é apresentado o contato esfera-superfície plana no qual forma uma área de contato circular sendo determinada pelo raio da esfera. Na Figura 9b, é apresentado o contato cilindro-cilindro no qual forma uma área de

contato retangular, determinada pelo comprimento do cilindro (2l) e a região de contato (2b).

Figura 9 – Áreas em contato rolante. a) Esfera-superfície plana. b) Cilindros paralelos.



Fonte: Stachowiak e Batchelor (2005, p. 299).

2.5.1 Formulação do contato esfera-superfície plana

A área de contato formada entre uma esfera e superfície plana é circular, sendo seus parâmetros calculados utilizando E' (módulo de elasticidade reduzido, em que E_a e E_b são os módulos de elasticidade em MPa e ν_a e ν_b são os coeficientes de Poisson dos respectivos materiais em contato), R_x (raio reduzido de curvatura no eixo x, em m), R_y (raio reduzido de curvatura no eixo y, em m), R' (raio médio, em m), a (área de contato, em m^2), W (carga aplicada, em N), $P_{médio}$ (pressão média de contato, em MPa).

$$(3) \frac{1}{E'} = \frac{1}{2} \left[\frac{1-\nu_A^2}{E_A} + \frac{1-\nu_B^2}{E_B} \right]$$

$$(4) \frac{1}{R_x} = \frac{1}{R_{ax}} + \frac{1}{R_{bx}}$$

$$(5) \frac{1}{R_y} = \frac{1}{R_{ay}} + \frac{1}{R_{by}}$$

$$(6) \frac{1}{R'} = \frac{1}{R_x} + \frac{1}{R_y}$$

$$(7) a = \left(\frac{3WR'}{E'} \right)^{\frac{1}{3}}$$

$$(8) P_{\text{m\u00e9dia}} = \frac{3W}{2\pi a^2}$$

2.5.2 Formula\u00e7\u00e3o do contato cilindros paralelos

A \u00e1rea de contato formada por dois cilindros paralelos em contato \u00e9 descrita por um ret\u00e2ngulo, sendo seus par\u00e2metros calculados utilizando l (comprimento dos cilindros em contato) e b (\u00e1rea de contato, em m^2).

$$(9) b = \left(\frac{4WR'}{\pi l E'} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$(10) P_{\text{m\u00e9dia}} = \frac{W}{4bl}$$

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Tabela 4, são apresentados os resultados para o teste de desgaste no tribômetro desenvolvido e, também, para comparativo, os resultados obtidos no teste ASTM G99 realizados em equipamento padronizado.

Tabela 4 – Resultado do teste de desgaste.

Teste	Material	Força (N)	AM 1 (mg)	AM 2 (mg)	AM 3 (mg)	Média (mg)	Desvio padrão
Bucha -pino	Aço H13	50	2,76	1,76	1,62	2,04	0,62
	Latão 360	50	5,84	6,78	6,26	6,29	0,47
	Teflon	50	2,42	2,02	2,28	2,24	0,20
ASTM G99-17	Aço H13	50	3,73	8,57	6,83	6,38	2,45
	Latão 360	50	185	192	197	192	6,11
	Teflon	50	5,03	3,13	3,00	3,72	1,14

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Como resultado, os valores de desgaste obtidos apresentaram ordenação em relação à dureza, com exceção do teflon, que por ser um material polimérico, apresenta melhores propriedades de desgaste e atrito. Nesse sentido, as amostras apresentaram um desvio padrão de desgaste em níveis menores que o resultado do ensaio ASTM G99.

Analisando os valores do desgaste para o latão 360, notou-se que foi três vezes maior no equipamento desenvolvido em relação aos outros materiais. Já no equipamento padronizado, esse valor chegou a superar vinte vezes, ficando o desgaste do latão muito acima dos outros materiais. Tal diferença entre os resultados deve ser melhor estudada, mas pode ser explicada como resultado da diferença de controle na aplicação da força normal, em particular, sobre materiais de menor dureza.

Porém, embora tal diferença, para o equipamento desenvolvido, a maior igualdade dos valores-desgaste entre todos os pares testados pode ser considerada como forma de atestar a validade do equipamento.

O resultado para os coeficientes de atrito é apresentado na Tabela 5 e, como se pode perceber, os valores medidos ficam próximos do resultado conseguido em equipamento padronizado e literatura nos valores de 0,21 para o latão 360 e 0,07 para o teflon, ambos em contato com aço H13 e cobertura de cromo duro.

Embora os testes não sejam do mesmo tipo, as áreas de contato foram similares e calculadas pelas formulações de Hertz apresentadas anteriormente.

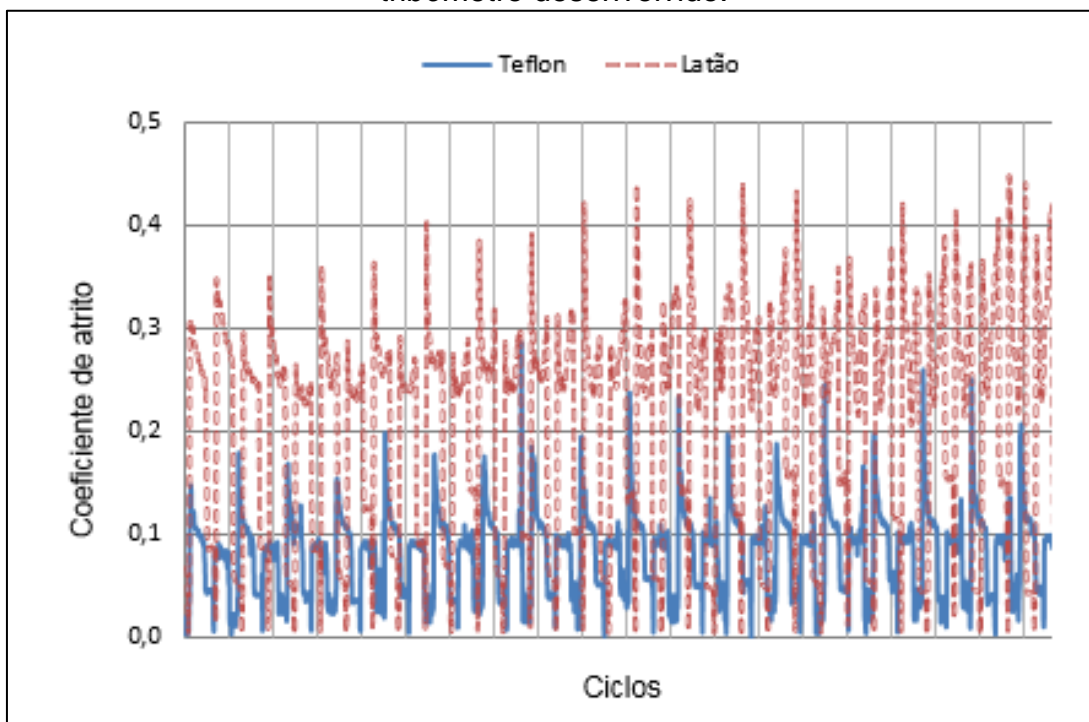
Tabela 5 – Resultado da medição do coeficiente de atrito.

Teste	Material	Força média (N)	Área de contato (m²)	Pressão média (GPa)	Coeficiente de atrito Médio
Bucha-pino	Latão 360	6674	1,40E-04	0,80	0,21
	Teflon	2862	8,56E-04	0,05	0,07
ASTM G99	Latão 360	23	1,10E-04	0,60	0,27
	Teflon	150	9,30E-04	0,05	0,11

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Na Figura 10, é apresentado o espectro do coeficiente de atrito em relação ao tempo para os materiais latão 360 e teflon, ambos em contato com aço H13 e cobertura de cromo duro.

Figura 10 – Espectro do coeficiente de atrito do Teflon e do Latão 360 obtidos no tribômetro desenvolvido.

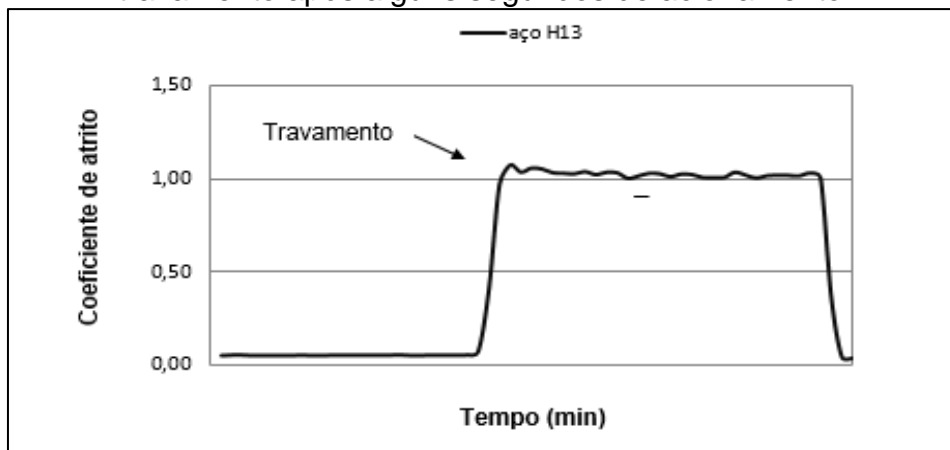


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

No ensaio para medição do coeficiente de atrito, todas as amostras metálicas apresentaram travamento, sendo que o aço H13 não pode ter seu coeficiente medido, pois apresentou travamento imediatamente após o acionamento.

Como se pode verificar na Figura 11, o coeficiente de atrito teve subida repentina para valores acima de 1,0.

Figura 11 – Espectro do coeficiente de atrito do aço H13 na condição de travamento após alguns segundos de acionamento.

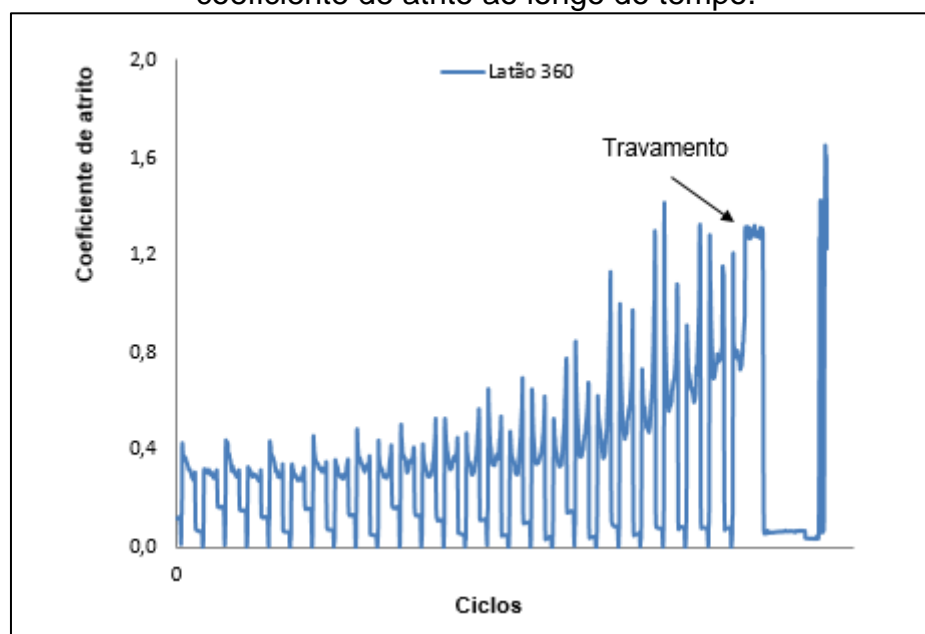


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para o caso do latão 360, este também apresentou travamento, porém numa quantidade maior de ciclos. Conforme mostra o gráfico da Figura 12, o espectro do coeficiente de atrito apresentou uma tendência crescente até efetivamente ocorrer o travamento com o valor acima de 1,0.

O gráfico também mostra que no final do período ocorreu o acionamento do giro, com subida abrupta do atrito (travamento) e queda pelo desligamento do equipamento por meio do sistema automático de detecção do travamento.

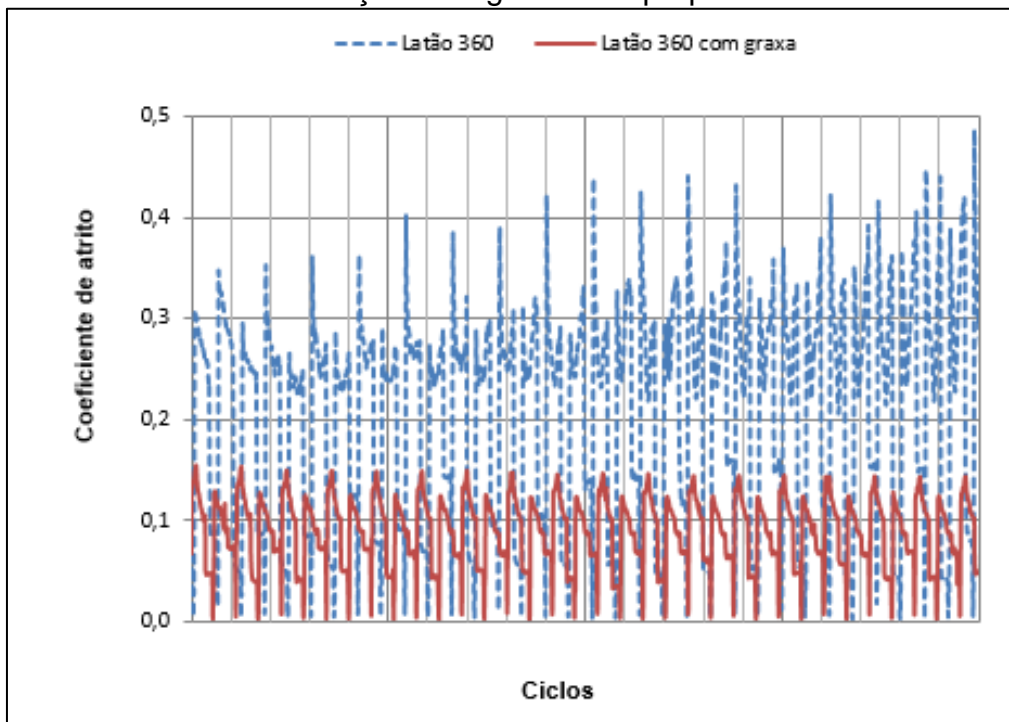
Figura 12 – Espectro do latão 360 com travamento após algumas dezenas de ciclos, em que se verifica a tendência do material ao travamento pelo aumento do coeficiente de atrito ao longo do tempo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Como forma de comprovar a leitura do coeficiente de atrito do tribômetro desenvolvido, amostras de latão foram lubrificadas com graxa multipróposito e testadas, sendo o espectro do coeficiente de atrito úmido em comparação ao seco apresentado na Figura 13.

Figura 13 – Espectro do coeficiente de atrito para a mostra latão 360 com e sem lubrificação com graxa multipropósito.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

4 CONCLUSÃO

Como conclusão do desenvolvimento do tribômetro para ensaios de desgaste e medição do coeficiente de atrito em sistemas bucha-pino, pode-se destacar:

- a) representou os testes de desgaste, retornando valores com baixo desvio padrão entre as repetições;
- b) replicou o defeito de travamento entre bucha-pino que ocorre em situações reais;
- c) mediu o coeficiente de atrito de diferentes pares em contato, apresentando resultados similares ao teste normatizado e à literatura;
- d) mediu o coeficiente de atrito de contato a seco e lubrificado;
- e) detectou a tendência de travamento pela leitura do coeficiente de atrito dos pares em contato;
- f) mostrou repetibilidade e reprodutibilidade nos ensaios realizados; e
- g) apresentou robustez mecânica e fácil manuseio dos ensaios.

5 ARTIGO

O artigo intitulado *Avaliação do Desgaste de Roletes de Aço SAE 4140 em Configuração Duplex (TiN) e Triplex (TiAlN) em contato de Rolamento com Eixo de Aço DIN 42CrMo4 e Cromo Duro* foi apresentado no 23 Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (CBECiMat), ocorrido de 04 a 08 de Novembro de 2018, em Foz do Iguaçu- Paraná.

Esse trabalho trata da pesquisa de avaliação de desgaste realizada em roletes de aço SAE 4140 recobertos com filme fino de nitreto de titânio (TiN) e nitreto de titânio alumínio (TiAlN) depositados sobre substrato com e sem nitretação a plasma, em que foram colocados em contato deslizante com eixos de aço DIN 42CrMo4, recobertos por uma camada de cromo duro.

Para o teste, foi utilizado o tribômetro desenvolvido sendo possível avaliar e comparar o comportamento do desgaste e a variação dimensional das amostras com filme fino em comparação a buchas normatizadas poliméricas de baixo atrito.

AVALIAÇÃO DO DESGASTE DE ROLETES DE AÇO SAE 4140 EM CONFIGURAÇÃO DUPLEX (TiN) E TRIPLEX (TiAlN) EM CONTATO DE ROLAMENTO COM EIXO DE AÇO DIN 42CrMo4 E CROMO DURO.

E. Benincá¹; A.D.G. de Araujo¹; B.H. Menzomo¹; F.B. Silveira¹; S.R. Pereira¹; E.K. Tentardini²; A.L. Gasparin¹
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul¹
Universidade Federal de Sergipe²
Rua Avelino Antônio de Souza, 1730 – Bairro Nossa Senhora de Fátima – CEP:
95043-700 – Caxias do Sul/RS
evandro.beninca@caxias.ifrs.edu.br

RESUMO

Roletes de aço SAE 4140 foram submetidos ao contato de rolamento contra eixos de aço DIN 42CrMo4 revestidos com cromo duro. Os roletes foram testados em quatro configurações: com nitretação a plasma revestidos com filme fino de nitreto de titânio e alumínio (TiAlN), somente com filme de TiAlN, com nitretação a plasma mais filme fino de nitreto de titânio (TiN) e somente com filme de TiN. Os filmes de TiN e TiAlN foram obtidos pelo processo de deposição física de vapor (PVD). Os resultados de desgaste foram comparados ao sistema tribológico rolete com revestimento de politetrafluoretileno (PTFE), empregado em sistemas de freio. Um

tribômetro foi criado para essa aplicação, avaliando-se o desgaste rolete/eixo. Os resultados mostraram uma maior resistência ao desgaste para roletes nitretados revestidos com TiAlN, além disso, apresentaram a maior durabilidade entre as amostras. O método criado, portanto se mostrou eficiente na avaliação do desgaste dos respectivos tribossistemas.

Palavras-chave: Tribômetro. Desgaste por contato rolante. Filmes finos. Nitretação a plasma.

ABSTRACT

Rollers made from SAE 4140 were evaluated in rolling contact against DIN 42CrMo4 shafts steel coated with hard chrome. The rollers were tested in four configurations: plasma nitriding substrate coated with titanium-aluminum nitride (TiAlN), TiAlN on steel, plasma nitriding substrate coated with titanium nitride (TiN) and TiN on steel. The thin films were obtained by the physical vapor deposition (PVD) process. The wear results were compared to roller/shaft system with polytetrafluoroethylene (PTFE) used in drum brakes. A tribometer was created for driving the tests. The results showed a higher wear resistance for plasma nitriding substrate coated with titanium-aluminum nitride (TiAlN) and durability among the samples. The method created showed to be efficient to evaluate the wear of the respective tribosystems.

Keyword: Tribometer, Rolling contact wear, Thin films, Plasma nitriding

INTRODUÇÃO

Desgaste é um termo amplo que engloba vários tipos de falha, todas envolvendo alterações na superfície do material (1).

Em relação à intensidade do desgaste, os termos suave e grave comumente são utilizados para a classificação (2). A rugosidade tem uma parcela importante no atrito e conseqüentemente no desgaste, sendo que quanto maior a rugosidade da superfície, maior serão o atrito (3) e o desgaste (4).

O tratamento térmico de austêmpera em aços com baixo carbono tem sido uma boa opção para o aumento da resistência ao desgaste, devendo-se à formação da estrutura bainítica, que concede elevada dureza na faixa de 40 a 50 HRc (5).

Outra opção de tratamento térmico que oferece ótimas características para o aumento da resistência ao desgaste é a nitretação a plasma (6, 7), provendo excelente resistência à corrosão, principalmente quando combinado com o processo de pós-oxidação (8).

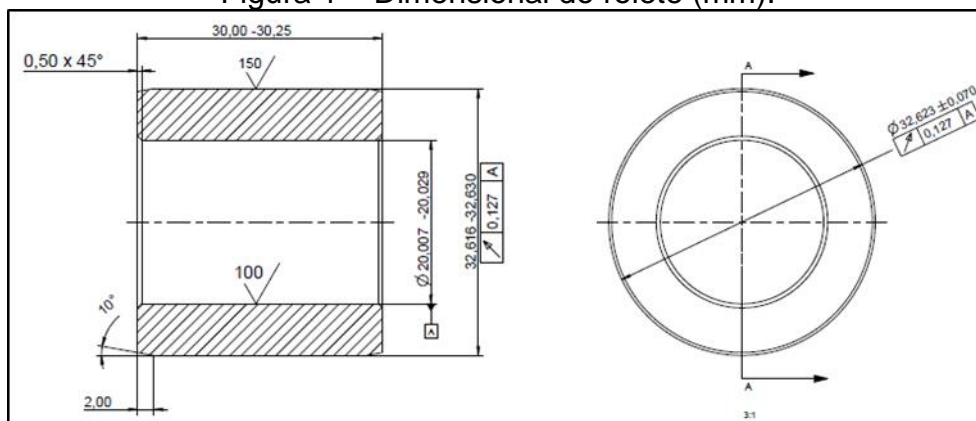
A deposição de filmes finos pelo processo de PVD tem sido utilizada como forma de melhorar a resistência ao desgaste (9,10). Essas deposições superficiais, quando combinadas com o tratamento térmico de nitretação, concedem excelentes propriedades ao desgaste (11).

Este trabalho objetiva, nesse sentido, estudar o desgaste (perda de massa) e a variação dimensional do aço SAE 4140 depositado com filme fino de TiAlN e TiN, com e sem nitretação no substrato (rolete), em contato de rolamento contra o aço DIN 42CrMo4 revestido com cromo duro. Foram comparados os resultados com roletes revestidos de material polimérico de baixo atrito (PTFE); atualmente utilizado em freios a tambor.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para os testes, amostras cilíndricas de aço SAE 4140 foram usinadas e nitretadas pelo processo a plasma, sendo suas dimensões apresentadas na Figura 1. Os pinos foram fabricados de aço DIN 42CrMo4 e recobertos com cromo duro conforme dimensional apresentado na Figura 2.

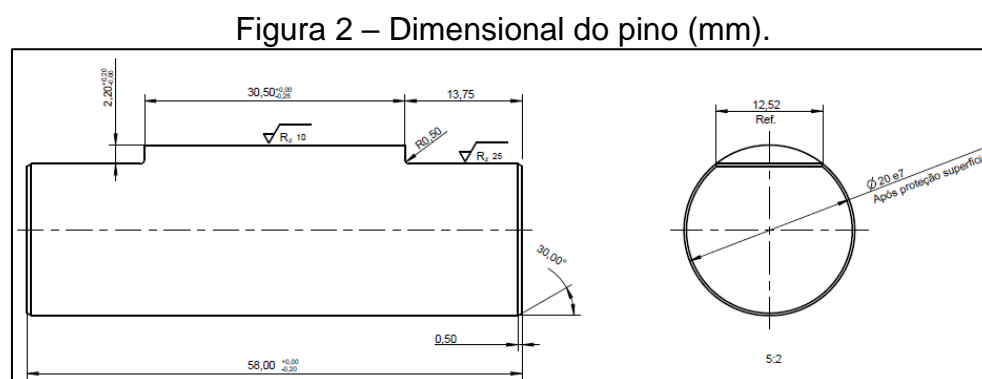
Figura 1 – Dimensional do rolete (mm).



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para o pino, as faces das pontas foram fresadas provendo uma superfície plana (ver Figura 2). Essa característica tem como finalidade o encaixe no dispositivo de testes de forma que a cada retirada da amostra ocorresse uma verificação de massa e dimensional, com a montagem sempre na mesma posição. Como se sabe, a folga de encaixe pino/rolete pode interferir no resultado do

desgaste. Assim, quanto menor a folga, menor o número de ciclos obtidos (12). Para isso, a tolerância padrão ISO de encaixe de eixo foi a “e7” (-0,04 mm; -0,061 mm). Já para o rolete, foi especificada a tolerância ISO G7 (+0,007 mm, +0,028 mm). O dimensional do pino é apresentado na Figura 2, com o detalhe das faces fresadas (Ref. 12,52 mm).



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para confirmar a composição química dos materiais, foi aplicada a espectroscopia de queima de material, utilizando um equipamento da marca SPECTROLAB modelo LAVLDO6B. Os resultados são apresentados na Tabela 1, confirmando a composição química do pino/rolete. Após verificação da matéria-prima e dimensional, os roletes foram enviados para o tratamento térmico de nitretação a plasma na empresa Plasmar Tecnologia, de cidade de Caxias do Sul.

Tabela 1 – Composição química dos materiais utilizados no rolete/eixo (% em peso).

Componentes	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Cu	Ni	Mo
SAE 4140	0,41	0,29	0,93	0,01	0,01	0,94	0,02	0,08	0,05	0,19
DIN 42CrMo4	0,44	0,21	0,77	0,01	0,02	1,02	-	-	-	0,17

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Antes da nitretação, as peças foram limpas para a retirada de graxas e óleo. Após a limpeza, seguiram para o forno onde foram nitretadas sem a camada branca. Os parâmetros utilizados no processo de nitretação são mostrados na Tabela 2, a seguir.

Tabela 2 – Parâmetros utilizados na descarga de nitretação a plasma.

Componente	Temperatura	Nitrogênio	Hidrogênio	Tempo
<i>Etching</i>	-	50%	50%	2h
Sem camada branca	480°C	10%	90%	10h

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

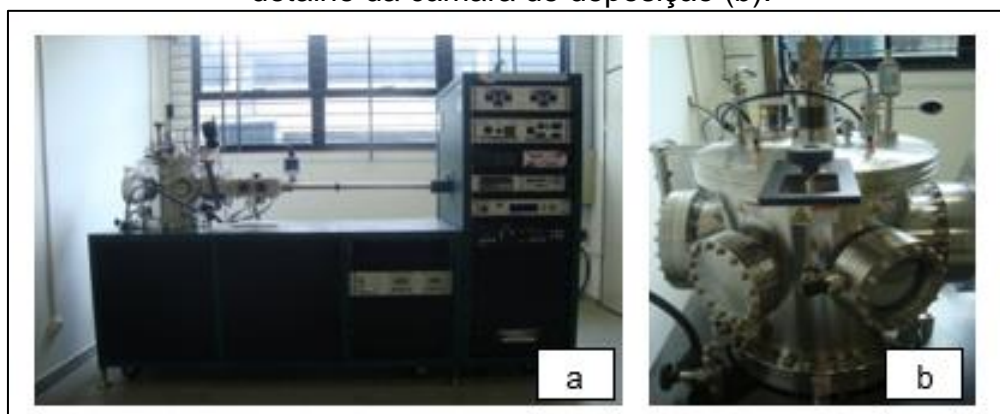
Após a nitretação, as peças foram enviadas à Universidade Federal do Sergipe (UFS) para sofrerem a deposição do filme fino de TiAlN e TiN. Os parâmetros de deposição do PVD estão apresentados na Tabela 3. Na Figura 3, é mostrado o equipamento completo (a) e a câmara de deposição (b).

Tabela 3 – Parâmetros de deposição do filme fino.

Parâmetros	Fluxo Ar/N₂	Potência alvo de Ti	Potência alvo de Al	Pressão de deposição	Tempo
TiAlN	19/2 sccm	200 W	40 W	3 mTorr	3 horas
TiN	19/2 sccm	200 W	-	3 mTorr	3 horas

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 3 – Equipamento utilizado para a deposição do filme fino na UFS (a) e detalhe da câmara de deposição (b).

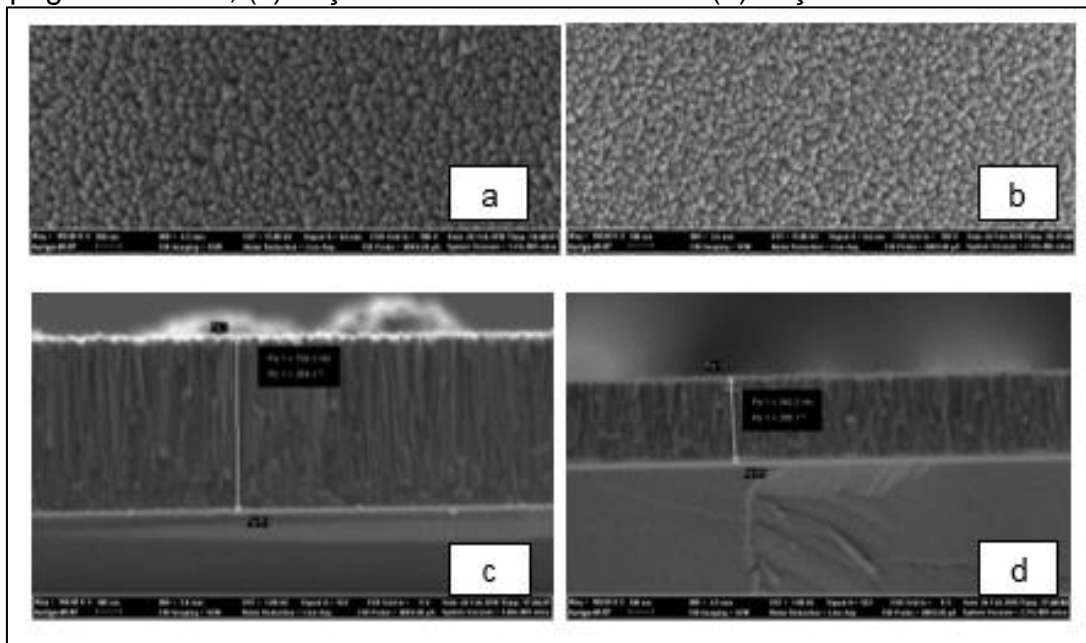


Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Para a verificação da camada do filme fino, análises de microscopia eletrônica de varredura foram realizadas com o apoio do CMM (Centro de Microscopia e Microanálise) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

(UFRGS). Para as deposições de TiAlN, as análises mostraram uma camada de 702 nm e para o TiN de 331 nm, conforme pode-se verificar nas Figuras 4c e 4d.

Figura 4 – MEV dos filmes depositados por PVD: (a) topografia do TiAlN, (b) topografia do TiN, (c) seção transversal do TiAlN e (d) seção transversal do TiN.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Os dados obtidos por varredura de energia dispersiva (EDS) estão apresentados na Tabela 4, em que se pode observar os percentuais dos elementos. O silício visto no EDS é devido à deposição dos respectivos filmes sobre silício monocristalino. Essa deposição ocorreu concomitantemente a dos roletes.

Tabela 4 – Composição química das deposições (% em peso).

Filme	Ti	Al	N	O	Si
TiAlN	37,05	20,00	32,47	5,19	5,29
<u>TiN</u>	<u>32,38</u>	=	<u>27,38</u>	<u>4,60</u>	<u>35,64</u>

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Procedimento experimental

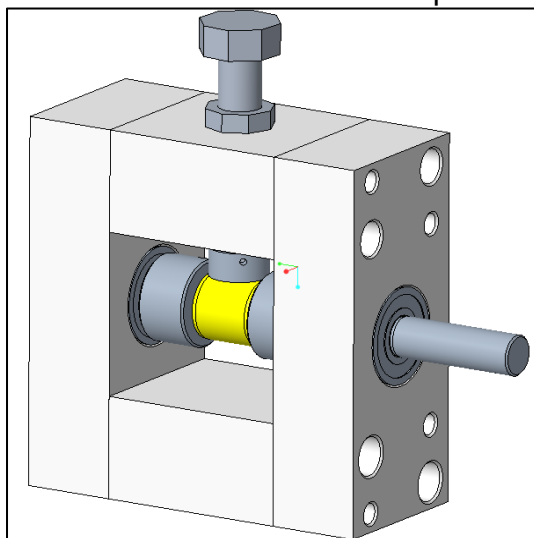
Para o teste de desgaste um tribômetro, foi desenvolvida uma condição real de contato de rolamento entre rolete/eixo. Esse equipamento foi fabricado com o

objetivo de ciclar o eixo de $+180^\circ$ a -180° . O sistema possui um parafuso (ver Figura 5a) para a aplicação da força normal de atrito. Desse modo, uma pressão de contato entre as superfícies do pino e do rolete foi provida pelo torque no parafuso e o desgaste pôde ser avaliado. Os resultados dos testes foram analisados em relação ao desgaste (perda de massa) e variação dimensional. Para o teste de desgaste, foi utilizada uma força normal de aperto no sistema rolete/eixo de aproximadamente 3,7 kN (375 kgf).

Os testes foram feitos com o objetivo de comparação dos tribossistemas em 6.000 ciclos. Já as verificações de massa e temperatura foram realizadas a cada 500 ciclos, sendo que duas amostras de mesmo material de cada par (rolete/eixo) foram testadas. Para a medição da perda de massa, uma balança marca Shimadzu, modelo AY220 foi utilizada; enquanto que, para a verificação de temperatura, um pirômetro óptico marca ICEL, modelo TD940.

O dispositivo de teste é composto pelo sistema porta-amostra e sistema de controle. Tal sistema foi projetado especialmente para alocar amostras cilíndricas em uma única posição e suportar altos ciclos de funcionamento. É formado por parafuso sextavado para aplicação da força normal (a), porca sextavada para retenção da pressão de contato rolete/eixo (b), eixo torque para trajetória rotativa da amostra no sentido $+180^\circ$ a -180° (c) e porta amostra (d), conforme mostrado na Figura 5.

Figura 5 – Detalhamento do sistema porta amostra.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

O sistema de controle é composto de um motor trifásico da marca WEG, com potência de 0,5 cv, acoplado a um motorreductor da marca Geremia modelo GSA 51, com taxa de redução de 20:1 e torque nominal de 67 N.m a 1700 rpm.

Um controlador lógico programável (CLP) modelo Zelio da marca Schneider Electric ligado ao inversor de frequência da fabricante WEG, modelo CFW10, foi utilizado para o acionamento do motor. Três sensores indutivos foram os responsáveis pelo posicionamento do sistema quanto à inversão da rotação no ciclo de desgaste. Para a contagem dos ciclos, um contador da Inova INV-9402 ligado ao CLP permitiu uma contagem crescente comandado pelos sensores, sendo o seu *reset* acionado por chave comutadora manual. O sistema de controle é mostrado na Figura 6.

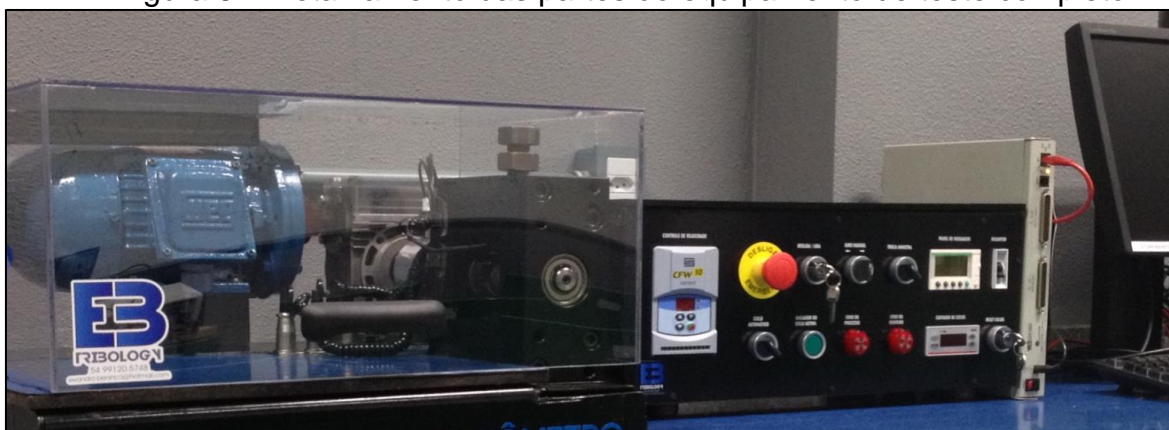
Para o melhor desempenho do sistema, alguns parâmetros do inversor foram ajustados, sendo apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 – Parâmetros do inversor de frequência para acionamento do motor.

Parâmetro	Frequência do inversor	Boost de Torque	Tempo de aceleração	Tempo de desaceleração
Valores	9,0 Hz	20%	0,5 s	0,3 s

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Figura 6 – Detalhamento das partes do equipamento de teste completo.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

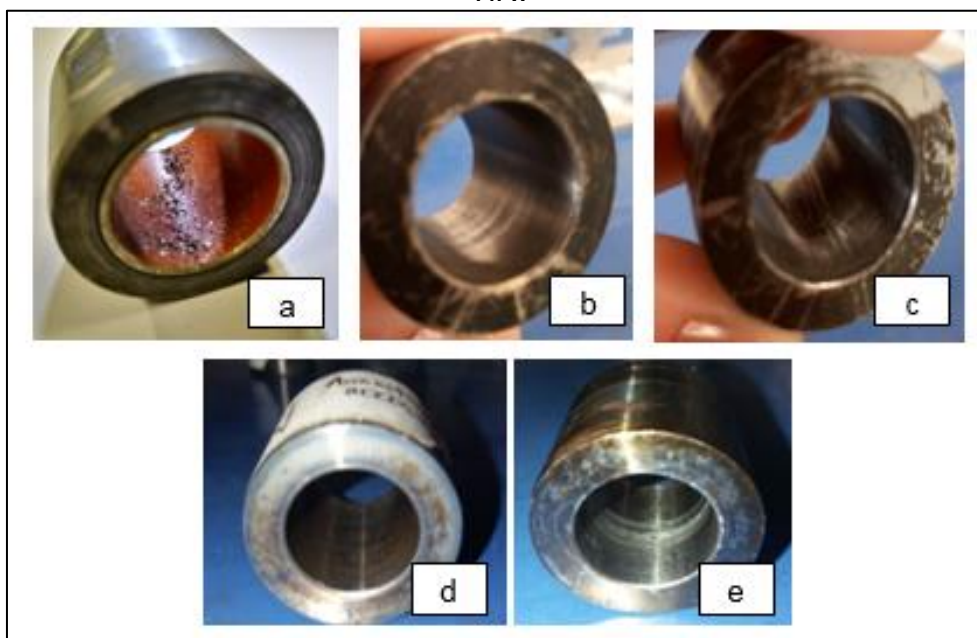
RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os testes iniciaram com o rolete de filme de PTFE, sendo possível perceber a perda significativa do filme polimérico logo nos primeiros 500 ciclos. Logo após

os 6.000 ciclos, a bucha apresentou elevado desgaste e o sistema parou o teste. Conforme a Figura 7a, observou-se que a camada polimérica foi parcialmente removida, o que provocou o travamento do sistema.

Na amostra de TiAlN nitretada, observou-se um superacabamento, devido às elevadas durezas das superfícies de contato e a melhor adesão dos filmes com a intercamada de nitretos, deixando a amostra com aspecto de polida (ver Figura 7b). Nas amostras de TiAlN sem nitretação (Figura 7c), as marcas de desgaste por abrasão são visíveis. Aspectos similares nas amostras com filmes de TiN nitretado foram visualizados conforme mostrados nas Figuras 7d e 7e, respectivamente.

Figura 7 – Amostras após ciclagem: a) Filme de PTFE; b) Filme fino de TiAlN nitretado; c) Filme fino de TiAlN; d) Filme fino de TiN nitretado; e) Filme fino de TiN.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Na Tabela 6, estão apresentados os resultados para a perda de massa e a temperatura monitorada no tribômetro. Observou-se que, quanto maior a resistência ao giro, maior a corrente de acionamento do motor e maior a temperatura dissipada, medida realizada no dissipador do inversor de frequência do motor.

Tabela 6 – Comparação dos resultados de desgaste e temperatura.

Ordem de menor desgaste	Filme aplicado	Perda de massa ($\pm 0,0002\text{g}$)	Temperatura máxima ($\pm 1^\circ\text{C}$)
1	TiAlN nitretado	0,0009	33
2	TiN nitretado	0,0020	36
3	TiAlN	0,0129	42
4	TiN	0,0266	40
5	PTFE	0,0386	40

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

Pôde-se observar na Tabela 5 que os filmes finos com substrato nitretado foram os que apresentaram a menor taxa de desgaste. Isso pode ser explicado pelo fato de o filme fino aderir melhor ao substrato com uma intercamada de nitretos, do que nas amostras com deposição direto no substrato, conforme também observado por Tkadletz (et al., 2016) (10).

Para a análise da variação dimensional, foram escolhidos três locais de medição de diâmetro interno, sendo a dois milímetros de cada extremidade e a outra medida no centro. Esses pontos foram escolhidos no sentido de perceber o desalinhamento do sistema com o aumento do desgaste. Os valores das medições são apresentados na Tabela 7, podendo-se verificar que na amostra TiN nitretada houve transferência de material do eixo para o rolete, na região central, onde ocorre a maior pressão de contato.

Tabela 7 – Resultados da variação dimensional do diâmetro interno do rolete.

Filme aplicado	Extremidade 1* (mm)	Centro* (mm)	Extremidade 2* (mm)
TiAlN nitretado	+ 0,025	+ 0,010	+ 0,005
TiAlN	+ 0,020	+ 0,020	+ 0,005
TiN nitretado	+ 0,005	- 0,005	+ 0,005
TiN	+ 0,010	+ 0,015	+ 0,010
PTFE	+ 0,055	+ 0,075	+ 0,065

* incerteza de medição: $\pm 0,004$ mm

Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos de desgaste (perda de massa), foi possível concluir que as amostras com a intercamada nitretada resistiram melhor ao desgaste em comparação às depositadas diretamente no substrato e aos roletes com PTFE.

O sistema que apresentou o melhor alinhamento ou menor variação dimensional entre as configurações testadas foi o de TiN não nitretado. O método criado conseguiu representar bem o sistema real, obtendo-se resultados de desgaste confiáveis, conforme a literatura e análises apresentadas.

Os filmes finos mostraram ser uma boa alternativa em que é necessário altos esforços de contato rolante, em comparação ao sistema com PTFE. O desalinhamento do sistema com filme de PTFE juntamente ao desgaste por abrasão pode apresentar um impedimento em certas aplicações, em que os filmes de TiAlN e TiN com intercamada nitretada podem ser viáveis.

REFERÊNCIAS

- (1) NORTON, R. L. Projetos de Máquinas. Porto Alegre: Bookmann, 2004.
- (2) MARKOV, D.; KELLY, D. Mechanisms of adhesion-initiated catastrophic wear: pure sliding. *Wear*, n. 239, p. 189-210, 2000.
- (3) MARTINS, V.; MARGUTTI, D. M.; JÚNIOR, P. R. B.; BUENO, A. F., SCHAEFFER, L. Avaliação da influência da rugosidade superficial sobre o atrito no ensaio de compressão do anel. Congresso. ISSN 1516-392X, 2011.
- (4) SVAHN, F.; KASSMAN-RUDOLPHI, A.; WALLÉN, E. The influence of surface roughness on friction and wear of machine element coatings. *Wear*. n. 254, p. 1092-1098. 2003.
- (5) ASM INTERNATIONAL; Heat treatment of Steel, Vol 4, 1991, P. 317-413.
- (6) PODGORNIK, B.; VIZINTIN, J.; WANSTRAND, O.; LARSSON, M.; HOGMARK, S. Wear and friction behaviour of duplex-treated AISI 4140 steel. *Surface & Coatings Technology*, n. 120-121, p. 502-508, 1999.
- (7) BOTH, G. B.; ROCHA, A. S.; HIRSCH, T. K. Modificações microestruturais e tribológicas nos aços ferramenta AISI H13 e DIN X100CrMoV 8-1-1 produzidas por nitretação a plasma. *Estudos Tecnológicos – vol. 6, nº 3: p. 149-161. 2010.*

(8) RANALLI, G. A.; PALLONE, A. S. N.; PEREIRTA, V. F.; OLIVEIRA, R. G.; MARIANO. Efeitos da nitretação por plasma com pós-oxidação e por banho de sal na resistência à corrosão de um aço ferramenta. *Revista maéria*, v. 14, n. 2, p. 814-823. 2009.

(9) SANTECHIA, E.; HAUDA, A. M. S.; MUSHARAVATI, F.; ZALNEZHAD, E.; CABIBBO, M.; SPIGARELLI, S. Wear resistance investigation of titanium nitride-based coatings. *Ceramics international*. n. 41. p. 10349-10379. 2015.

(10) TKADLETZ, M.; SCHALK, N.; DANIEL, R.; KECKES, J.; CZETTL, C.; MITTERER, C. Advanced characterization methods for wear resistant hard coatings: A review on recent progress. *Surface & Coatings Technology*, n. 285, p. 31-46, 2016.

(11) PODGORNIK, B.; HOGMARK, S.; SANDBERG, O.; LESKOVSEK, V. Wear resistance and anti-sticking properties of duplex treated forming tool steel. *Wear*, n. 254, p. 1113-1121, 2003.

(12) COLBERT, R. S.; ALVEREZ, L. A.; HAMILTON, M. A.; STEFFENS, J. S.; ZIEGERT, J. C.; BURRIS, D. L.; SAWYER, W. G. Edges, clearances, and wear: Little things that make big differences in bushing friction. *Wear*, n. 268, p. 41-49, 2010.

6 PATENTE

Com o nome *Dispositivo Gerador de Desgaste, Sistema e Processo de Geração de Desgaste e Medição de Atrito* foi enviado o pedido de patente ao Instituto Nacional da Propriedade Industrial (INPI), na data de 29/03/2019, para obtenção de patente de invenção de equipamento tribômetro de desgaste e atrito para contatos cilíndricos.

O pedido de patente destaca as características de inovação do equipamento tribômetro como a troca rápida de amostra e da previsão e detecção de travamento de pares em contato cilíndrico.

Para a validação do equipamento, diversos testes foram realizados usando diferentes pares de materiais em contato sendo seus coeficientes de atrito comparados com valores da literatura.

RELATÓRIO DESCRITIVO DE PATENTE DE INVENÇÃO

DISPOSITIVO GERADOR DE DESGASTE, SISTEMA E PROCESSO DE GERAÇÃO DE DESGASTE E MEDIÇÃO DE ATRITO

6.1 CAMPO DA INVENÇÃO

A presente invenção descreve um dispositivo gerador de desgaste, um sistema de geração de desgaste e medição de atrito e um processo de geração de desgaste e medição de atrito entre duas superfícies cilíndricas que permitem a medição dos coeficientes de atrito estático e dinâmico entre as ditas superfícies cilíndricas em movimento rotativo relativo, mais especificamente nos campos das engenharias mecânica e de materiais.

6.2 ANTECEDENTES DA INVENÇÃO

[1] O estado da técnica dispõe atualmente de equipamentos para medir o desgaste entre superfícies, conhecidos como tribômetros ou tribossistemas. Em sua maioria, os tribômetros fazem uso de um ensaio chamado “pino no disco”, onde

é realizado o escorregamento de uma primeira superfície esférica, o pino, sobre uma segunda superfície plana, o disco, em um movimento de translação relativa, de acordo com a norma G99-17, que estabelece o contato de uma esfera contra uma superfície plana para o teste “pino no disco”.

[2] Além da dificuldade de realizar ensaios com superfícies não planas, os tribômetros do presente estado da técnica são de complicada montagem e operação, além de demandar elevado tempo e esforço na troca das amostras a serem avaliadas.

[3] Na busca pelo estado da técnica em literaturas científica e patentária, foram encontrados os seguintes documentos que tratam sobre o tema:

[4] O documento KR 20030024184 revela um dispositivo de testes para avaliar e medir características de atrito e desgaste geradas em elementos de máquinas submetidos à rotação, sendo o desgaste gerado entre suas superfícies em contato. Mais especificamente, o documento realiza testes de atrito e desgaste aplicando várias condições de teste, como rotação variável, variação da força normal, utilização e controle de fluidos nos testes, como lubrificantes e gases, aferindo pressão e temperatura do ambiente de teste controlado. Ademais, o documento revela emissão de alerta de travamento, monitorando a frequência durante o teste, sendo que sensores enviam sinal à unidade de controle que interrompe o funcionamento do motor em caso de desgaste severo da amostra, entretanto, não revela a emissão de um alerta ao usuário no caso de desgaste severo. O documento KR 20030024184 revela uma solução complexa, de elevado custo de fabricação, operação e manutenção, demandando a utilização de múltiplos sensores, fluidos, válvulas, etc. Por fim, o documento não revela uma solução que permita a troca das amostras de superfícies sendo avaliadas de modo rápido, fácil, prático e seguro.

[5] O documento CN 106644795 revela um dispositivo de teste de desgaste de rolamento fazendo uso de uma pasta abrasiva, que compreende variação da velocidade de teste por um servo motor, sensor de torque para medir o torque de saída e um torque de trabalho no eixo experimental e medição de coeficiente de atrito entre a bucha do rolamento de teste e o fuso de teste. A bucha de teste é montada no fuso de teste e no rolamento. Um dispositivo de carga é montado no rolamento, medindo a força normal aplicada por um cilindro hidráulico por meio de

um sensor de tensão. Temperatura, carga, velocidade e coeficiente de atrito são medidos e armazenados por instrumentos de aquisição de dados. O documento CN 106644795 não revela uma solução para armazenamento do número de ciclos e emissão de alerta em situações de desgaste severo das amostras, bem como não revela uma solução que permita a troca das amostras de superfícies sendo avaliadas de modo rápido, fácil, prático e seguro.

[6] O documento WO 2018050531 revela um dispositivo e um método de teste de propriedades de desgaste e atrito de diferentes materiais sob diversas condições experimentais representativas das condições de uso, baseando-se no contato de uma amostra com um disco rotativo com contato intermitente, em condições de "ciclo aberto", em que são aplicadas cargas dinâmicas à amostra para que o contato ocorra. O controle do carregamento dinâmico é totalmente independente da rotação do disco. Desse modo, o documento WO 2018050531 trata-se do ensaio "pino no disco", em que o contato ocorre entre superfícies planas, não apresentando armazenamento de número de ciclos e emissão de alarme sonoro em casos de travamento por desgaste severo, bem como não revelando uma solução que permita a troca das amostras de superfícies sendo avaliadas de modo rápido, fácil, prático e seguro.

[7] O documento CN 108344654 revela uma máquina de teste de desgaste e atrito entre superfícies em contato, compreendendo um eixo principal, um par de atrito do conjunto de teste e um dispositivo de carregamento radial. A amostra do conjunto de teste no par de atrito é montada no eixo principal por um sistema de troca de amostra com encaixe, compreendendo uma tampa e um elemento roscado. Um dispositivo de medição de força é disposto entre o dispositivo de carregamento radial e o par de atrito do conjunto de teste e o dispositivo de medição de força é composto principalmente de um suporte de amostra, um sensor de tensão e uma haste de articulação. Ademais, é fornecida uma passagem de diferentes meios de lubrificação, e a extremidade de carregamento do dispositivo de carregamento radial atua no suporte de amostra para ajustar quantitativamente a carga radial do par de atrito do conjunto de teste. O documento CN 108344654 não revela uma solução de segurança para casos onde ocorre desgaste severo das superfícies em desgaste, armazenamento do número de ciclos bem como sua solução para troca das amostras de superfícies sendo avaliadas não permite uma

troca de modo rápido, fácil, prático e seguro, que seja de baixo custo de fabricação, operação e manutenção.

[8] O documento JP 2016118392 revela um dispositivo pra testes de resistência à abrasão de um rolamento de rolos com contato deslizante testando a resistência à abrasão da superfície. O documento JP 2016118392 compreende medição de desgaste entre superfícies cilíndricas em contato contínuo e em movimento rotativo relativo, meio de alteração de variáveis, como variação da rotação do eixo e variação da força aplicada aos anéis do rolamento, visto que essa força é resultante da carga centrípeta. O documento JP 2016118392 apresenta uma análise diferente da análise dos tribossistemas, não apresenta medição dos coeficientes de atrito, emissão de alerta em situações de desgaste severo, armazenamento do número de ciclos e sistema de troca das amostras de superfícies sendo avaliadas não permite uma troca de modo rápido, fácil, prático e seguro, não revelando uma solução que seja de baixo custo de fabricação, operação e manutenção.

[9] O documento JPS 61210926 revela um dispositivo com o objetivo de realizar testes simultâneos de fricção e desgaste de múltiplas peças compreendendo um eixo principal giratório acionado por um único motor e um dispositivo de velocidade variável, cuja velocidade pode ser controlada durante o acionamento. Ademais, compreende um único motor e dispositivo de velocidade variável que varia a rotação de um eixo principal giratório. Ainda, outros parâmetros, como a força normal aplicada, são variáveis. O documento JPS 61210926 não apresenta medição dos coeficientes de atrito estático e dinâmico, emissão de alerta de desgaste severo, armazenamento do número de ciclos e sistema de troca de amostra de modo rápido, fácil, prático e seguro.

[10] Assim, do que se depreende da literatura pesquisada, não foram encontrados documentos antecipando ou sugerindo os ensinamentos da presente invenção, de forma que a solução aqui proposta possui novidade e atividade inventiva frente ao estado da técnica.

[11] Deste modo, não foram revelados documentos que apresentem solução para os problemas técnicos de troca das amostras de superfícies cilíndricas e alerta de desgaste severo das amostras, de modo que a solução seja rápida, fácil de operar, prática, segura e de baixo custo de fabricação, operação e manutenção.

6.3 SUMÁRIO DA INVENÇÃO

[12] Dessa forma, a presente invenção resolve os problemas do estado da técnica a partir de um dispositivo gerador de desgaste entre superfícies cilíndricas, um sistema de geração de desgaste e medição de atrito que compreende o dispositivo gerador de desgaste e um processo de geração de desgaste e medição de atrito que compreende o sistema de geração de desgaste e medição de atrito. Ainda, a presente invenção permite medição dos coeficientes de atrito estático e dinâmico entre as superfícies, compreende sistema de troca rápida (14) das amostras de superfícies cilíndricas e emite um alerta de situações de desgaste severo entre as superfícies.

[13] Em um primeiro objeto, a presente invenção revela um dispositivo gerador de desgaste entre superfícies cilíndricas que compreende um gerador de desgaste (9) entre as ditas superfícies cilíndricas, o gerador de desgaste (9) compreendendo:

- a) um fornecedor de movimento rotativo (10) relativo entre as superfícies cilíndricas; e
- b) um porta-amostra (11), que compreende:
 - I. fornecedor de força normal (12);
 - II. eixo de torção (13);
 - III. sistema de troca rápida (14) de amostra de superfícies cilíndricas;

em que,

- a) o fornecedor de movimento rotativo (10) é associado ao eixo de torção (13), transmitindo movimento rotativo relativo entre as superfícies cilíndricas;
- b) o fornecedor de força normal (12) aplica esforço sobre as superfícies cilíndricas associadas ao sistema de troca rápida (14); e
- c) o sistema de troca rápida (14) de superfícies cilíndricas é associado a uma extremidade do eixo de torção (13) e a uma parede do porta-amostra (11).

[14] Em um segundo objeto, a presente invenção revela um sistema de geração de desgaste e medição de atrito entre superfícies cilíndricas que compreende ao menos:

- a) um dispositivo gerador de desgaste entre superfícies cilíndricas conforme definido acima;

- b) um meio de controle (19) do sistema, que compreende ao menos um sensor de posição (20); e
- c) um aquisitor de dados (29), que compreende ao menos um transdutor (30);

em que,

- a) o sensor de posição (20) do meio de controle (19) do sistema é associado ao gerador de desgaste (9); e
- b) cada transdutor (30) do aquisitor de dados (29) é associado ao gerador de desgaste (9).

[15] Em um terceiro objeto, a presente invenção revela um processo de geração de desgaste e medição de atrito entre superfícies cilíndricas que compreende um sistema conforme definido acima e que compreende ao menos as etapas de:

- a) substituição de amostras de superfícies cilíndricas no porta-amostra (11) por meio de um sistema de troca rápida (14) de amostra de superfícies cilíndricas;
- b) fornecimento de força normal às amostras de superfícies cilíndricas por meio de um fornecedor de força normal (12);
- c) seleção de parâmetros do sistema por meio de um meio de controle do sistema (19);
- d) acionamento de um fornecedor de movimento rotativo (10);
- e) verificação da força normal aplicada pelo fornecedor de força normal (12) por ao menos um transdutor (30);
- f) transmissão de movimento rotativo relativo de um fornecedor de movimento rotativo (10) para as superfícies cilíndricas por meio de um eixo de torção (13);
- g) medição do coeficiente de atrito estático por um aquisitor de dados (29) com base na verificação feita pelo transdutor (30);
- h) medição do coeficiente de atrito dinâmico por um aquisitor de dados (29) com base na verificação feita pelo transdutor (30);
- i) verificação da posição e velocidade de rotação por meio de ao menos um sensor de posição (20); e
- j) verificação de desgaste severo entre superfícies cilíndricas.

[16] Este e outros objetos da invenção serão imediatamente valorizados pelos versados na arte e serão descritos detalhadamente a seguir.

6.4 BREVE DESCRIÇÃO DAS FIGURAS

[17] São apresentadas as seguintes figuras:

[18] A figura 1 mostra uma concretização do gerador de desgaste (9) entre superfícies cilíndricas da presente invenção.

[19] A figura 2A mostra uma concretização do porta-amostra (11) da presente invenção, compreendendo fornecedor de força normal (12) e eixo de torção (13) associados com transdutores (30), sistema de troca rápida (14) de superfície cilíndricas e as ditas superfícies cilíndricas, em que o fornecedor de força normal (12) é ilustrado como uma associação entre parafuso de aperto e porca de travamento.

[20] A figura 2B mostra uma concretização do porta-amostra (11) da presente invenção, compreendendo fornecedor de força normal (12) e eixo de torção (13) associados com transdutores (30), sistema de troca rápida (14) de superfície cilíndricas e as ditas superfícies cilíndricas, em que o fornecedor de força normal (12) é ilustrado como um peso morto com massa padronizada.

[21] A figura 3 mostra uma concretização do eixo de torção (13) da presente invenção, associado em uma extremidade a uma geometria de encaixe do sistema de troca rápida (14) e associado a um transdutor (30) do aquisitor de dados (29).

[22] A figura 4 mostra uma concretização de um par de superfícies cilíndricas analisadas pela presente invenção, onde as superfícies em contato são a superfície externa de um eixo e a superfície interna de um rolete, sendo que as extremidades do eixo compreendem geometria de encaixe do sistema de troca rápida (14) de superfícies cilíndricas.

[23] A figura 5 mostra uma concretização do sistema de geração de desgaste e medição de atrito entre superfícies cilíndricas da presente invenção, compreendendo gerador de desgaste (9), meio de controle (19) do sistema e aquisitor de dados (29).

6.5 DESCRIÇÃO DETALHADA DA INVENÇÃO

[24] As descrições que se seguem são apresentadas a título de exemplo e não limitativas ao escopo da invenção e farão compreender de forma mais clara o objeto do presente pedido de patente.

[25] Em um primeiro objeto, a presente invenção apresenta um dispositivo gerador de desgaste entre superfícies cilíndricas que compreende um gerador de desgaste (9) entre as superfícies cilíndricas. O dito gerador de desgaste (9) compreende um fornecedor de movimento rotativo (10) relativo entre as superfícies cilíndricas e compreende um porta-amostra (11). O dito porta-amostra (11) compreende ao menos um fornecedor de força normal (12), ao menos um eixo de torção (13) e ao menos um sistema de troca rápida (14) de amostra de superfícies cilíndricas.

[26] O fornecedor de movimento rotativo (10) é associado ao eixo de torção (13), transmitindo movimento rotativo relativo entre as superfícies cilíndricas. Em uma concretização, o fornecedor de movimento rotativo (10) compreende um motor. Em uma concretização, o fornecedor de movimento rotativo (10) compreende um motor elétrico. Em uma concretização, o fornecedor de movimento rotativo (10) compreende um motor elétrico, um redutor e um acoplamento mecânico, associando-os. Em uma concretização, o fornecedor de movimento rotativo (10) é associado ao eixo de torção (13) por meio de um acoplamento mecânico.

[27] O fornecedor de força normal (12) aplica esforço sobre as superfícies cilíndricas associadas ao sistema de troca rápida (14) de amostra de superfícies cilíndricas. Em uma concretização, o fornecedor de força normal (12) compreende um parafuso de aperto associado a uma porca de travamento, onde a força normal fornecida às superfícies cilíndricas é regulada pelo aperto do parafuso na porca. Em uma concretização, o fornecedor de força normal (12) compreende peso morto como fonte de força, onde massas padronizadas podem ser associadas para fornecimento da força, o que mantém a mesma força normal de atrito independente do desgaste entre as superfícies cilíndricas.

[28] O sistema de troca rápida (14) de superfícies cilíndricas é associado a uma extremidade do eixo de torção (13) e a uma parede do porta-amostra (11). Em uma concretização, o sistema de troca rápida (14) compreende geometria de encaixe

em uma extremidade do eixo de torção (13), em uma parede do porta-amostra (11) e nas extremidades de uma amostra de superfície cilíndrica, sendo que uma primeira extremidade de uma amostra de superfície cilíndrica é associável a uma extremidade do eixo de torção (13) e uma segunda extremidade de uma amostra de superfície cilíndrica é associável a uma parede do porta-amostra (11). Em uma concretização, o sistema de troca rápida (14) permite a troca manual das amostras, devido a sua geometria de encaixe rápido.

[29] Para fins de exemplificação, sem que haja limitação do escopo da presente invenção, uma primeira amostra de superfície cilíndrica em teste compreende um eixo, cujas extremidades compreendem a geometria de encaixe rápido do sistema de troca rápida (14) da presente invenção, enquanto uma segunda amostra de superfície cilíndrica em teste compreende um rolete, onde o eixo é colocado no interior do rolete, gerando contato entre as superfícies cilíndricas, conforme ilustrado pela figura 4. Ademais, o eixo de torção (13) também compreende em sua extremidade a geometria de encaixe rápido do sistema de troca rápida (14) da presente invenção, conforme ilustrado pela figura 3. Para fins de exemplificação, uma primeira extremidade do eixo de desgaste da amostra em teste é encaixada no rasgo chanfrado do eixo de torção (13). O encaixe é feito de forma a coincidirem as superfícies das extremidades do eixo (figura 4) com os rasgos do eixo de torção (13) (figura 3), sendo que tal rasgo compreende um chanfro, o que permite o encaixe rápido do eixo a ser testado e, ainda possui um furo com rosca, para o travamento da amostra, através de um parafuso de aperto. O sistema de troca rápida (14) permite a associação da amostra de superfícies cilíndricas no porta-amostra (11), fazendo com que a primeira amostra de superfície cilíndrica (eixo) gire na mesma rotação e concentricamente ao eixo de torção (13), atritando com a segunda superfície cilíndrica (rolete).

[30] Em uma concretização, o sistema de troca rápida (14) de superfícies cilíndricas traz à presente invenção a possibilidade de uma padronização das amostras de superfícies cilíndricas e do modo como são associadas ao dispositivo da presente invenção. Deste modo, viabiliza-se a criação de normas técnicas de ensaios tribológicos com padrão dimensional de amostras por meio das soluções apresentadas pela presente invenção.

[31] Em um segundo objeto, a presente invenção apresenta um sistema de geração de desgaste e medição de atrito entre superfícies cilíndricas que compreende ao menos: um dispositivo gerador de desgaste entre superfícies cilíndricas conforme definido acima; um meio de controle (19 do sistema, que compreende ao menos um sensor de posição (20); e um aquisitor de dados (29), que compreende ao menos um transdutor (30).

[32] O sensor de posição (20) do meio de controle (19) do sistema é associado ao gerador de desgaste (9). Em uma concretização, o sensor de posição (20) é um sensor indutivo. Em uma concretização, o sensor de posição (20) é um sensor de posição angular. Em uma concretização, o sensor de posição (20) é um sensor indutivo de posição angular. Em uma concretização, o sistema da presente invenção compreende três sensores indutivos de posição angular. Em uma concretização, o sensor de posição (20) é associado ao eixo de torção (15) do gerador de desgaste (9), aferindo a posição do mesmo e enviando tais informações ao meio de controle (19), permitindo assim que o meio de controle (19) monitore e controle a velocidade e rotação do sistema.

[33] Em uma concretização, o meio de controle (19) do sistema compreende meio de variação de parâmetros do sistema. Em uma concretização, o meio de controle (19) do sistema permite variação da rotação, podendo ser alternada, com repetição de ciclos, contínua e/ou variável. Em uma concretização, o meio de controle (19) compreende contador de número de ciclos por meio de um algoritmo que capta as informações do sensor de posição (20). Em uma concretização, o meio de controle (19) compreende armazenamento do tempo de duração do teste.

[34] Em uma concretização, o meio de controle (19) do sistema compreende algoritmo detector de desgaste severo entre as superfícies cilíndricas. Em uma concretização, o meio de controle (19) do sistema compreende um algoritmo de controle de tempo de ciclo e, com auxílio do sensor de posição (20), o meio de controle (19) compreende captação do tempo de ciclo, de modo que caso o tempo seja maior que o estabelecido no início do teste, o meio de controle (19) coloca o sistema em modo de falha. Em uma concretização, o meio de controle (19) compreende emissor de alerta de desgaste severo em situação de modo de falha. Em uma concretização, o alerta de desgaste severo emitido compreende sinal sonoro e/ou luminoso de alerta. Em uma concretização, o meio de controle (19)

compreende desligamento do fornecedor de movimento rotativo (10) quando o algoritmo do meio de controle (19) detecta situação de desgaste severo entre as superfícies cilíndricas e entra em modo de falha. Em uma concretização, o meio de controle (19) armazena o número de ciclos até o momento de detecção do desgaste severo. Deste modo, é possível realizar análises de durabilidade das superfícies cilíndricas em teste. Em uma concretização, a partir da programação do ciclo de aplicação de carga o meio de controle (19) também detecta a sua parada devido à detecção da velocidade angular nula. No momento do desligamento do fornecedor de movimento rotativo (10) é registrado o número de ciclos da parada e o tempo desde o início do teste até o travamento da amostra. Deste modo, a presente invenção permite preservar o equipamento, elevando sua durabilidade, e possibilita análises de desgaste devido a esses travamentos.

[35] O aquisitor de dados (29) compreende ao menos um transdutor (30). Cada transdutor (30) do aquisitor de dados (29) é associado ao gerador de desgaste (9). Em uma concretização, cada transdutor (30) do aquisitor de dados (29) é associado ao eixo de torção (13) do gerador de desgaste (9). Em uma concretização, o transdutor é uma célula de torque.

[36] Em uma concretização, o aquisitor de dados (29) possibilita correlacionar o desgaste das superfícies cilíndricas em contato por meio de ao menos um transdutor (30). Em uma concretização, o transdutor está associado ao eixo de torção (13) e capta informações da variação de esforços das superfícies cilíndricas transmitidas ao eixo de torção (13). Deste modo, o aquisitor de dados (29) é capaz de gerar informação que possibilita correlacionar o desgaste entre as superfícies cilíndricas em contato.

[37] Em uma concretização, o aquisitor de dados (29) compreende medidor dos coeficientes de atrito estático e dinâmico por meio de verificação da força normal aplicada pelo fornecedor de força normal (12) sobre as superfícies cilíndricas, sendo tal verificação feita por ao menos um transdutor (30). Em uma concretização, o aquisitor de dados (31) compreende a obtenção do coeficiente de atrito estático e dinâmico por meio de medição da força normal aplicada pelo fornecedor de força normal (12) em combinação com a leitura do torque vinda do fornecedor de movimento rotativo (10), sendo tal medição feita por ao menos um transdutor (30) para cada tipo de leitura.

[38] Em uma concretização, os transdutores permitem análise da perda de pressão entre as superfícies cilíndricas, quando utilizado o parafuso e porca de travamento como fornecedor de força normal (12), possibilitando correlacionar o desgaste dos pares em contato. Em uma concretização, na utilização de um peso morto como fornecedor de força normal (12) é possível manter constante essa força e pressão de contato.

[39] Em um terceiro objeto, a presente invenção apresenta um processo de geração de desgaste e medição de atrito entre superfícies cilíndricas que compreende um sistema de geração de desgaste e medição de atrito entre superfícies cilíndricas conforme definido acima.

[40] O processo da presente invenção compreende ao menos a etapa de substituição de amostras de superfícies cilíndricas no porta-amostra (11) por meio de um sistema de troca rápida (14) de amostra de superfícies cilíndricas. Em uma concretização, a etapa de substituição de amostras compreende a troca manual da amostra de superfícies cilíndricas. Em uma concretização, a etapa de substituição das amostras compreende remoção de parafusos de aperto que fixam as extremidades de uma amostra ao eixo de torção (13) e ao porta-amostra (11) por meio das geometrias de encaixe do sistema de troca rápida (14), retirada das amostras que estavam no porta-amostra (11), colocação de novas amostras, sendo que as extremidades de uma nova amostra compreendem geometria de encaixe do sistema de troca rápida (14) para associação à geometria de encaixe na extremidade do eixo de torção (13) e no porta-amostra (11) e, posteriormente, colocação de parafusos de aperto para garantir a fixação das amostras ao sistema.

[41] O processo da presente invenção compreende ao menos a etapa de fornecimento de força normal às amostras de superfícies cilíndricas por meio de um fornecedor de força normal (12). O fornecedor de força normal (12) aplica força na parte externa de uma amostra, gerando contato entre as superfícies cilíndricas das amostras associadas ao sistema de troca rápida (14) de amostra de superfícies cilíndricas. Em uma concretização, o fornecedor de força normal (12) compreende um parafuso de aperto associado a uma porca de travamento, onde a etapa de fornecimento de força normal é dada pelo aperto do parafuso na porca. Em uma concretização, o fornecedor de força normal (12) compreende peso morto como fonte de força, onde a etapa de fornecimento de força normal é dada por massas

padronizadas que são associadas para fornecimento da força, o que mantém a mesma força normal de atrito independente do desgaste entre as superfícies cilíndricas.

[42] O processo da presente invenção compreende ao menos a etapa de seleção de parâmetros do sistema por meio de um meio de controle do sistema (19). Em uma concretização, a etapa de seleção de parâmetros do sistema compreende ao menos um entre: seleção da rotação do sistema; seleção da força normal aplicada; seleção do tempo de duração do teste; seleção de número de ciclos; seleção de rugosidade da superfície cilíndricas das amostras; seleção do material das amostras de superfícies cilíndricas. Em uma concretização, o meio de controle (19) do sistema permite variação da rotação, podendo ser alternada, com repetição de ciclos, contínua e/ou variável.

[43] O processo da presente invenção compreende ao menos a etapa de acionamento de um fornecedor de movimento rotativo (10). Em uma concretização, o fornecedor de movimento rotativo (10) compreende um motor elétrico. Em uma concretização, o fornecedor de movimento rotativo (10) compreende um motor elétrico, um redutor e um acoplamento mecânico, associando-os.

[44] O processo da presente invenção compreende ao menos a etapa de transmissão de movimento rotativo relativo de um fornecedor de movimento rotativo (10) para as superfícies cilíndricas por meio de um eixo de torção (13). Em uma concretização, o fornecedor de movimento rotativo (10) é associado ao eixo de torção (13) por meio de um acoplamento mecânico.

[45] O processo da presente invenção compreende ao menos a etapa de verificação da força normal aplicada pelo fornecedor de força normal (12) por ao menos um transdutor (30).

[46] O processo da presente invenção compreende ao menos a etapa de medição do coeficiente de atrito estático por um aquisitor de dados (29) com base na verificação feita pelo transdutor (30).

[47] O processo da presente invenção compreende ao menos a etapa de medição do coeficiente de atrito dinâmico por um aquisitor de dados (29) com base na verificação feita pelo transdutor (30).

[48] O aquisitor de dados (29) possibilita correlacionar o desgaste das superfícies cilíndricas em contato por meio de ao menos um transdutor (30). Em uma

concretização, o aquisitor de dados (29) compreende a obtenção do coeficiente de atrito estático e dinâmico por meio de medição da força normal aplicada pelo fornecedor de força normal (12), mais a leitura do torque vinda do fornecedor de movimento rotativo (10), sendo tal medição feita por ao menos um transdutor (30) específico para cada tipo de leitura. Em uma concretização, o transdutor (30) está associado ao eixo de torção (13) e capta informações da variação de esforços das superfícies cilíndricas transmitidas ao eixo de torção (13). Deste modo, o aquisitor de dados (29) é capaz de gerar informação que possibilite correlacionar o **desgaste** das superfícies em contato.

[49] O processo da presente invenção compreende ao menos a etapa de verificação da posição e velocidade de rotação por meio de ao menos um sensor de posição (20). O sensor de posição (20) do meio de controle (19) do sistema é associado ao gerador de desgaste (9). Em uma concretização, o sensor de posição (20) é um sensor indutivo. Em uma concretização, o sensor de posição (20) é um sensor de posição angular. Em uma concretização, o sensor de posição (20) é um sensor indutivo de posição angular. Em uma concretização, a presente invenção compreende três sensores indutivos de posição angular. Em uma concretização, o sensor de posição (20) é associado ao eixo de torção (13) do gerador de desgaste (9), e compreende etapas de aferir a posição do mesmo e enviar tais informações ao meio de controle (19), permitindo assim que o meio de controle (19) monitore e controle a velocidade e rotação do sistema.

[50] O processo da presente invenção compreende ao menos a etapa de verificação de desgaste severo entre superfícies cilíndricas. Em uma concretização, a etapa de verificação de desgaste severo entre superfícies cilíndricas compreende, em situação de desgaste severo, as subetapas de desligamento do fornecedor de movimento rotativo (10), emissão de alerta de travamento e armazenamento do número de ciclos. Em uma concretização, o meio de controle (19) do sistema compreende algoritmo detector de desgaste severo entre as superfícies cilíndricas. Em uma concretização, o meio de controle (19) do sistema compreende um algoritmo de controle de tempo de ciclo e, com auxílio do sensor de posição (20), o meio de controle (19) compreende etapa de captação do tempo de ciclo, de modo que caso o tempo seja maior que o estabelecido no início do teste, o meio de controle (19) coloca o sistema em modo de falha. Em uma concretização, a

subetapa de emissão de alerta compreende sinal sonoro e/ou luminoso de alerta. Em uma concretização, o processo da presente invenção compreende a subetapa de desligamento do fornecedor de movimento rotativo (12) quando o algoritmo do meio de controle (19) detecta situação de desgaste severo entre as superfícies cilíndricas e entra em modo de falha. Em uma concretização, o meio de controle (19) do processo da presente invenção compreende etapa de armazenamento do número de ciclos até o momento de detecção do desgaste severo. Deste modo, é possível realizar análises de durabilidade das superfícies cilíndricas em teste. Em uma concretização, a partir da programação do ciclo de aplicação de carga o meio de controle (19) também detecta a sua parada devido à detecção da velocidade angular nula. No momento do desligamento do fornecedor de movimento rotativo (10) é registrado o número de ciclos da parada e o tempo desde o início do teste até o travamento da amostra. Deste modo, a presente invenção permite preservar o equipamento, elevando sua durabilidade, e possibilita análises de desgaste devido a esses travamentos.

[51] Em uma concretização, o processo da presente invenção compreende as etapas de medição de perda de massa em cada superfície cilíndrica e medição de perda de volume em cada superfície cilíndrica. Em uma concretização, tais etapas são feitas manualmente por um operador com auxílio de balança e paquímetro após etapa de retirada da amostra.

6.6 EXEMPLO 1 – TRIBÔMETRO PARA PAR EIXO/ROLETE

[52] Os exemplos aqui mostrados têm o intuito somente de exemplificar uma das inúmeras maneiras de se realizar a presente invenção, contudo sem limitar, o escopo da mesma.

[53] A presente invenção é um tribômetro ou tribossistema, compreendendo dispositivo, sistema e processo para medir o desgaste e os coeficientes de atrito estático e dinâmico entre duas superfícies cilíndricas, sendo as ditas superfícies representadas por um eixo (superfície interna) e um rolete (superfície externa). As superfícies são colocadas em contato de deslizamento para avaliação do desgaste e coeficientes de atrito do par.

[54] A presente invenção compreende um dispositivo gerador de desgaste entre superfícies cilíndricas que compreende um gerador de desgaste (9) entre a superfície interna do rolete e a superfície externa do eixo. Ainda, compreende um meio de controle (19) do sistema e um aquisitor de dados (29). Deste modo, a presente invenção permite avaliar os coeficientes de atrito estático e dinâmico entre conjuntos eixo/rolete, como pinos e buchas de sistemas mecânicos no geral.

[55] O gerador de desgaste (9) entre eixo e rolete compreende um fornecedor de movimento rotativo (10), formado por um motor elétrico trifásico, um redutor e um acoplamento mecânico. Ainda, o gerador de desgaste (9) compreende um módulo porta-amostra (11), que compreende um fornecedor de força normal (12), um eixo de torção (13) e um sistema de troca rápida (14) das amostras do conjunto eixo/rolete.

[56] O fornecedor de força normal (12) é associado a uma parede do porta-amostra (11) e compreende um parafuso de aperto e uma porca de travamento e/ou peso morto com massas padronizadas e ao menos um desses aplica carga normal sobre o rolete. Deste modo, o torque aplicado ao parafuso ou a massa padronizada utilizada têm relação direta com a força normal aplicada sobre o rolete e a pressão entre o rolete e o eixo.

[57] O eixo de torção (13) é associado ao redutor do fornecedor de movimento rotativo (10) por meio de um acoplamento mecânico em sua extremidade. Em uma extremidade oposta, o eixo de torção (13) compreende geometria de encaixe do sistema de troca rápida (14) do conjunto eixo/rolete. Ainda, o eixo de torção (13) é passante por uma das paredes do módulo porta-amostra (11).

[58] Em uma parede oposta à parede do porta-amostra (11) por onde passa o eixo de torção (13) é associado outro elemento com geometria de encaixe do sistema de troca rápida (14), de modo que a troca de amostras (eixo/rolete) é feita de forma rápida e prática, sem perder sua segurança e eficiência, de modo que o eixo (superfície interna) fica associado ao eixo de torção (13) e ao porta-amostra (11) pelo sistema de troca rápida (14) e o rolete (superfície externa) fica associado ao fornecedor de força normal (12). O conjunto eixo/rolete é associado ao dispositivo (9) sempre na mesma posição, o que fornece ao sistema da presente invenção o potencial de criação de uma norma técnica de ensaio tribológico com padrão dimensional do conjunto eixo/rolete, pois seu dimensional pode ser

constante e seu sistema de troca rápida (14) permite análise de diversas amostras. Ainda, o sistema pode ser parametrizado em função do material (par eixo/rolete), e superfícies de contato (rugosidade, dimensional, etc.).

[59] A rotação pode ser alternada e variável, com ciclos de rotação repetida, contínua e/ou variável. A rotação pode ser alterada pelo meio de controle (19) através de um CLP e um inversor de frequência que enviam sinais ao fornecedor de movimento rotativo (10).

[60] O meio de controle (19) do sistema compreende sensores de posição (20) do tipo sensores indutivos de posição angular. Ainda, o meio de controle (19) compreende um CLP, inversor de frequência, contador de rotações e alerta de sinalização. Três sensores indutivos de posição angular são associados ao eixo de torção (13) do gerador de desgaste (9) e fornecem um sinal digital tipo on/off ao meio de controle (19) do sistema que monitora a rotação eixo de torção (13). Deste modo, os sensores de posição (20) alimentam o algoritmo de detecção de desgaste severo do meio de controle (19) e, a partir da programação do ciclo de aplicação de carga, o sistema também detecta a sua parada, devido ao travamento do sistema, o que significa uma velocidade angular nula e o desligamento do fornecedor de movimento rotativo (10) do gerador de desgaste (9). Nesse momento o meio de controle (19) registra o número de ciclos da parada e o tempo desde o início do teste até o travamento das amostras, preservando o equipamento e possibilitando análises de desgaste devido a esses travamentos e análise da durabilidade de pares eixo/rolete.

[61] O meio de controle (19) permite variação dos parâmetros de desgaste, como a rotação e torque do fornecedor de movimento rotativo (10), permite ajustar eletronicamente o parâmetro do escorregamento entre eixo e estator do motor elétrico do fornecedor de movimento rotativo (10), resultando em melhor entrega de torque ao eixo do motor elétrico, o que permite vencer condições de elevado atrito entre as superfícies cilíndricas. Ainda, o meio de controle (19) é programado para se adaptar a variações de material e superfícies de contato sendo avaliadas.

[62] A pressão de contato pode ser alterada por meio do fornecedor de força normal (12), mudando o torque aplicado ao parafuso a variando massa padronizada em peso morto, que são diretamente relacionados à força normal.

[63] O aquisitor de dados (29) compreende ao menos um transdutor (30), onde o transdutor pode ser um entre uma célula de força, associada ao parafuso ou ao pino do peso morto, e célula de torque, no eixo do motor elétrico - fornecedor de movimento rotativo (10). Ainda, o aquisitor de dados (29) processa os dados obtidos e exibe os resultados para um usuário do presente sistema.

[64] A força normal aplicada pelo fornecedor de força normal (12) sobre o rolete permite isolar o coeficiente de atrito estático na partida ou no início do ciclo. A medição do torque na saída do redutor/início do eixo de torção (13) permite obter a força de atrito entre as superfícies cilíndricas, isolando-se assim o coeficiente de atrito dinâmico durante o ciclo. Ainda, com auxílio de uma balança e um paquímetro, um usuário é capaz de avaliar as perdas de massa e volume das amostras após o ensaio e retirada das amostras por meio do sistema de troca rápida (14).

[65] Os versados na arte valorizarão os conhecimentos aqui apresentados e poderão reproduzir a invenção nas modalidades apresentadas e em outras variantes e alternativas, abrangidas pelo escopo das reivindicações a seguir.

6.7 REIVINDICAÇÕES

1. Dispositivo gerador de desgaste entre superfícies cilíndricas **caracterizado** por compreender um gerador de desgaste (9) entre as ditas superfícies cilíndricas, o gerador de desgaste (9) compreendendo:

- a) um fornecedor de movimento rotativo (9) relativo entre as superfícies cilíndricas; e
- b) um porta-amostra (11), que compreende:
 - I. fornecedor de força normal (12);
 - II. eixo de torção (13);
 - III. sistema de troca rápida (14) de amostra de superfícies cilíndricas;em que,
 - a) o fornecedor de movimento rotativo (12) é associado ao eixo de torção (13), transmitindo movimento rotativo relativo entre as superfícies cilíndricas;

- b) o fornecedor de força normal (12) aplica esforço sobre as superfícies cilíndricas associadas ao sistema de troca rápida (14); e
- c) o sistema de troca rápida (14) de superfícies cilíndricas é associado a uma extremidade do eixo de torção (13) e a uma parede do porta-amostra (11).

2. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de o sistema de troca rápida (14) compreender geometria de encaixe em uma extremidade do eixo de torção (15), em uma parede do porta-amostra (11) e nas extremidades de uma amostra de superfície cilíndrica, sendo que uma primeira extremidade de uma amostra de superfície cilíndrica é associável a uma extremidade do eixo de torção (13) e uma segunda extremidade de uma amostra de superfície cilíndrica é associável a uma parede do porta-amostra (11).

3. Dispositivo, de acordo com a reivindicação 1, **caracterizado** pelo fato de o fornecedor de força normal (12) compreender um entre:

- a) parafuso de aperto com porca de travamento;
- b) peso morto com massas padronizadas; ou
- c) uma combinação dos anteriores.

3. Sistema de geração de desgaste e medição de atrito entre superfícies cilíndricas **caracterizado** por compreender ao menos:

- a) um dispositivo gerador de desgaste entre superfícies cilíndricas conforme definido em qualquer uma das reivindicações de 1 a 3;
- b) um meio de controle (19) do sistema, que compreende ao menos um sensor de posição (20);
- c) um aquisitor de dados (29), que compreende ao menos um transdutor (30);

em que,

- a) o sensor de posição (20) do meio de controle (19) do sistema é associado ao gerador de desgaste (9); e
- b) cada transdutor (30) do aquisitor de dados (29) é associado ao gerador de desgaste (9).

4. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de o aquisitor de dados (29) compreender medidor dos coeficientes de atrito estático e dinâmico por meio de verificação da força normal aplicada pelo fornecedor de força

normal (12) sobre as superfícies cilíndricas, sendo tal verificação feita por ao menos um transdutor (30).

5. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de o meio de controle do sistema (19) compreender algoritmo detector de desgaste severo entre as superfícies cilíndricas e emissor de alerta de desgaste severo.

6. Sistema, de acordo com a reivindicação 4, **caracterizado** pelo fato de o meio de controle (19) do sistema compreender meio de variação de parâmetros do sistema e contador de número de ciclos.

7. Processo de geração de desgaste e medição de atrito entre superfícies cilíndricas **caracterizado** por compreender um sistema conforme definido em qualquer uma das reivindicações de 3 a 6 e por compreender ao menos as etapas de:

- a) substituição de amostras de superfícies cilíndricas no porta-amostra (13) por meio de um sistema de troca rápida (14) de amostra de superfícies cilíndricas;
- b) fornecimento de força normal às amostras de superfícies cilíndricas por meio de um fornecedor de força normal (12);
- c) seleção de parâmetros do sistema por meio de um meio de controle do sistema (19);
- d) acionamento de um fornecedor de movimento rotativo (10);
- e) verificação da força normal aplicada pelo fornecedor de força normal (12) por ao menos um transdutor (30);
- f) transmissão de movimento rotativo relativo de um fornecedor de movimento rotativo (10) para as superfícies cilíndricas por meio de um eixo de torção (13);
- g) medição do coeficiente de atrito estático por um aquisitor de dados (29) com base na verificação feita pelo transdutor (30);
- h) medição do coeficiente de atrito dinâmico por um aquisitor de dados (29) com base na verificação feita pelo transdutor (30);
- i) verificação da posição e velocidade de rotação por meio de ao menos um sensor de posição (20); e
- j) verificação de desgaste severo entre superfícies cilíndricas.

8. Processo, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de a etapa de verificação de desgaste severo entre superfícies cilíndricas compreender, em situação de desgaste severo, as subetapas de:

- a) desligamento do fornecedor de movimento rotativo (10);
- b) emissão de alerta de travamento; e
- c) armazenamento do número de ciclos.

9. Processo, de acordo com a reivindicação 8, **caracterizado** pelo fato de compreender as etapas de:

- a) medição de perda de massa em cada superfície cilíndrica; e
- b) medição de perda de volume em cada superfície cilíndrica.

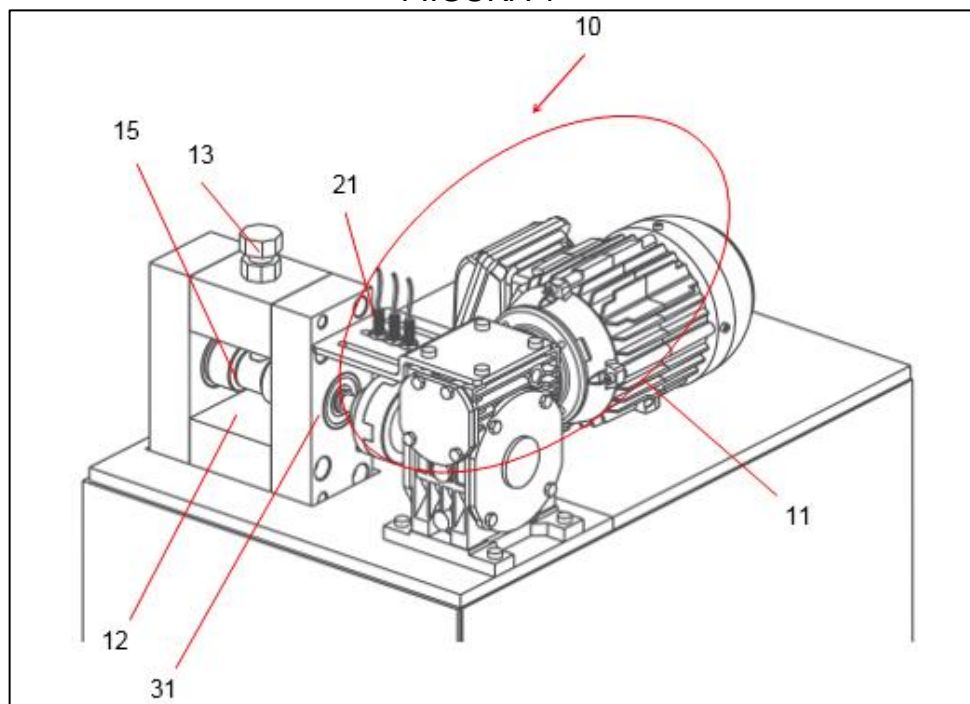
6.8 RESUMO

DISPOSITIVO GERADOR DE DESGASTE, SISTEMA E PROCESSO DE GERAÇÃO DE DESGASTE E MEDIÇÃO DE ATRITO

A presente invenção descreve um dispositivo gerador de desgaste, um sistema de geração de desgaste, medição de atrito e um processo de geração de desgaste e medição de atrito entre superfícies cilíndricas. Especificamente, a presente invenção compreende um dispositivo gerador de desgaste entre superfícies cilíndricas, um sistema de geração de desgaste e medição de atrito que compreende o dispositivo gerador de desgaste e um processo de geração de desgaste e medição de atrito que compreende o sistema de geração de desgaste e medição de atrito. Ainda, a presente invenção permite medição dos coeficientes de atrito estático e dinâmico entre as superfícies e compreende sistema de troca rápida (15) das amostras de superfícies cilíndricas. A invenção se situa nos campos das engenharias mecânica e de materiais.

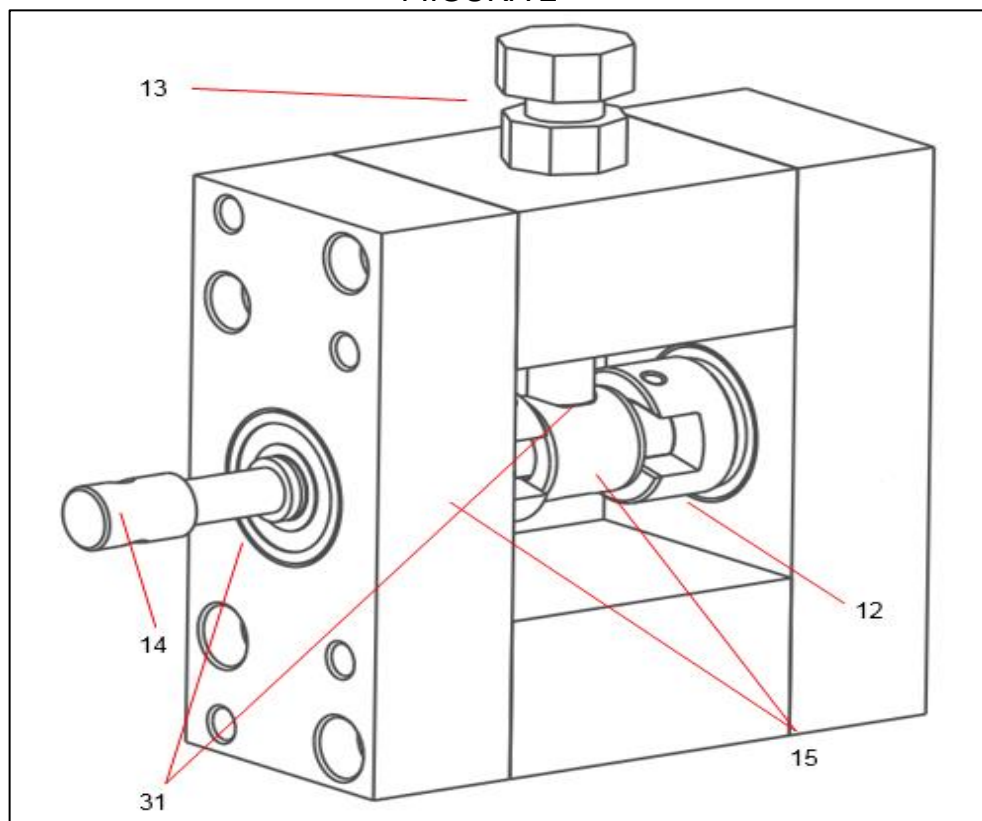
7 FIGURAS

FIGURA 1



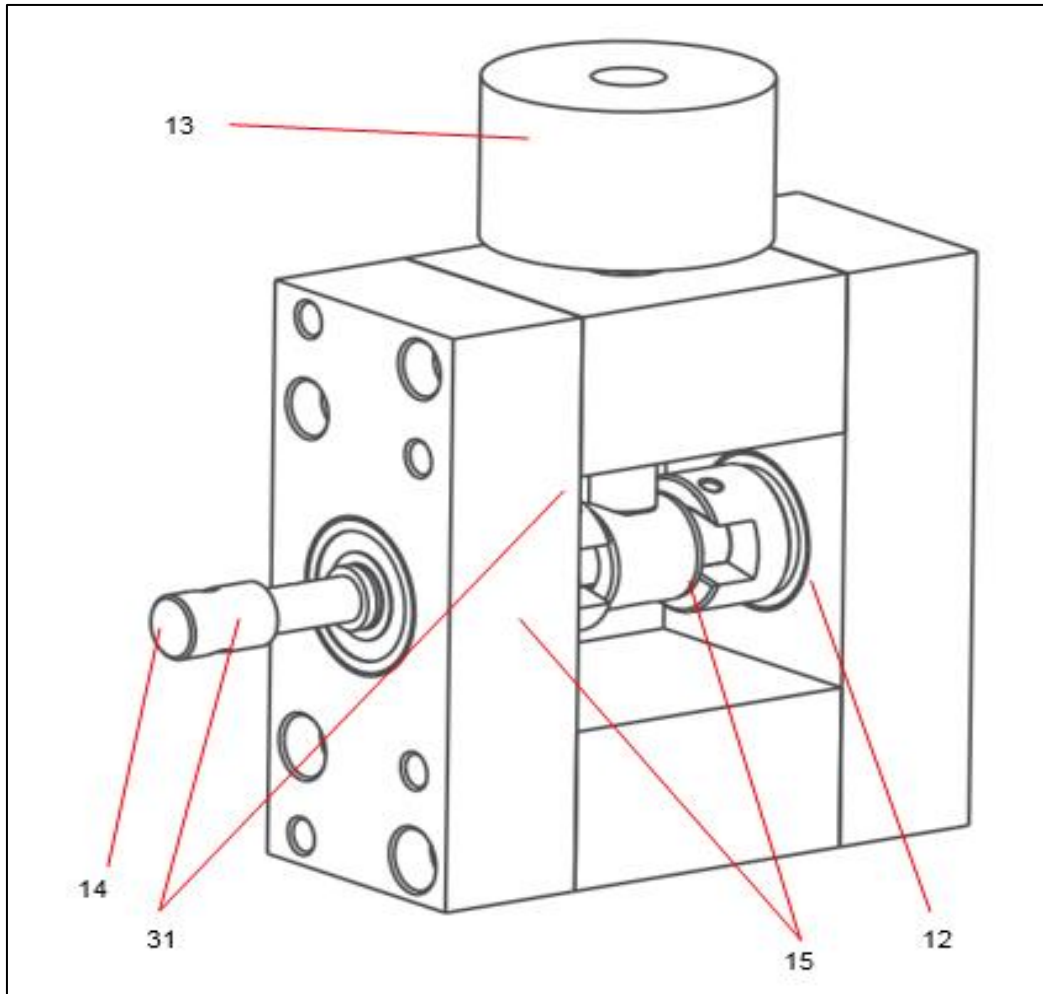
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

FIGURA 2



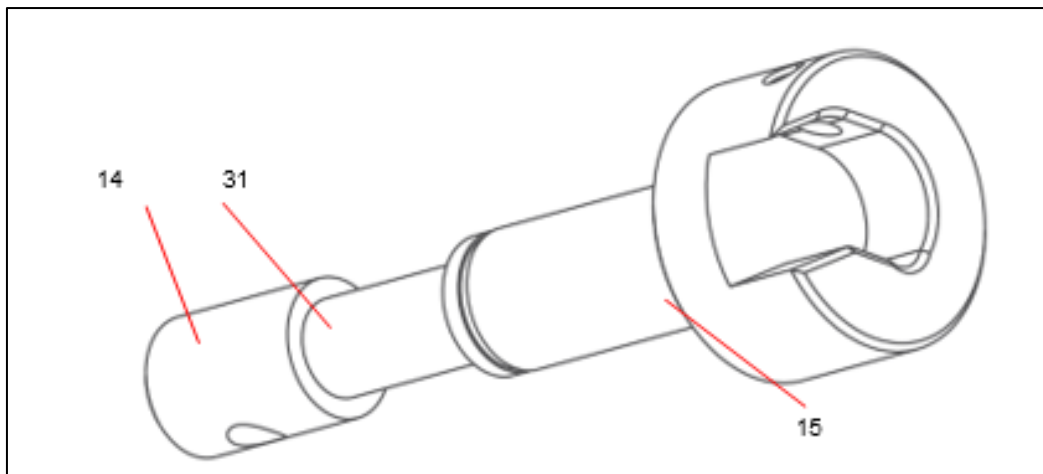
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

FIGURA 2B



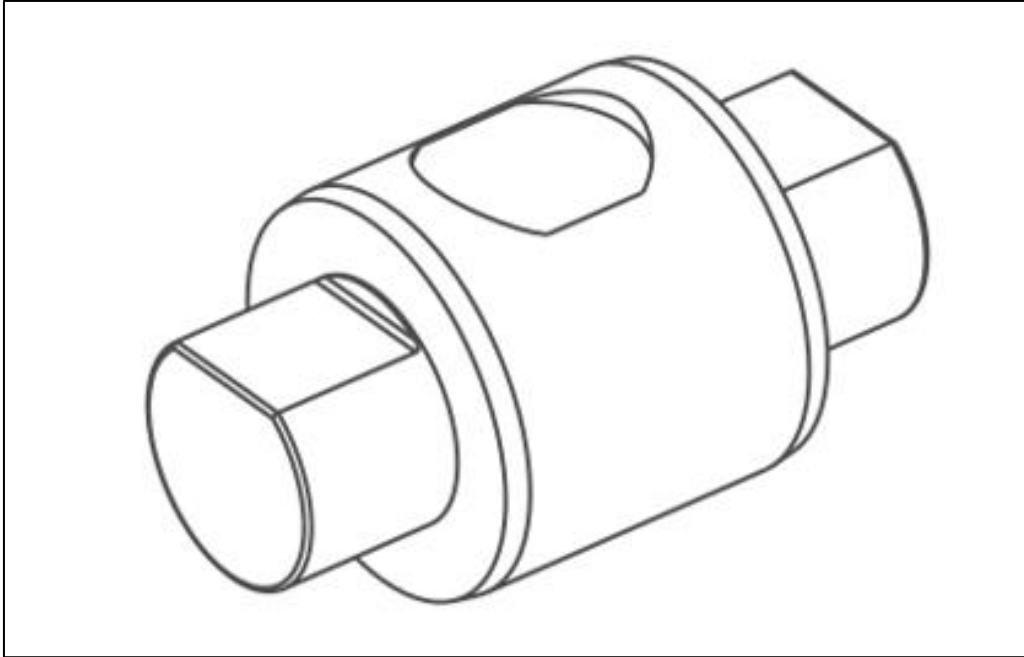
Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

FIGURA 3



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

FIGURA 4



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

FIGURA 5



Fonte: Elaborado pelo autor (2019).

8 CONCLUSÕES

Como conclusão do desenvolvimento do tribômetro para ensaio de desgaste e medição do coeficiente de atrito em sistemas bucha-pino se pode destacar que apresentou bons resultados em todos os testes realizados e que foram apresentados neste trabalho, mostrando ser um equipamento confiável no desenvolvimento de novas pesquisas de desgaste em sistemas bucha-pino.

Em termos de leitura do coeficiente de atrito, o equipamento conseguiu fazer as leituras para os pares testados retornando valores próximos a literatura, inclusive mostrando a tendência de travamento do par de contato pela leitura do coeficiente de atrito.

O tribômetro desenvolvido apresentou robustez mecânica conseguindo desenvolver testes de desgaste em materiais de alta dureza e com aplicação de altas pressões de contato.

Finalizando o sistema de troca rápida de amostra, mostrou-se eficiente resultando em facilidade e precisão na recolocação da amostra após o período de retirada para testes externos.

8.1 CONTRIBUIÇÃO DO TRABALHO

Devido ao desenvolvimento do tribômetro, foram possíveis conduzir mais duas pesquisas para trabalhos de conclusão de curso, sendo uma delas a análise do tratamento térmico de Austêmpera em substituição a buchas de material polimérico e a outra um comparativo de resistência ao desgaste entre os aços 1045 temperado e revenido e o aço AISI O1 (VND).

8.2 POSSIBILIDADES DE TRABALHOS FUTUROS

Para trabalhos futuros, é possível desenvolver uma célula de carga que transmita o sinal de força com maior estabilidade ou configurar filtros digitais no *software* de pós-processamento dos sinais coletados.

Outra linha de pesquisa que é possível conduzir com o tribômetro desenvolvido é o estudo para o desenvolvimento de novos pares de contato, sejam

eles poliméricos, sejam metálicos, que apresentem melhor resistência ao desgaste quando colocados em contato deslizante.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Linearly Reciprocating Ball-on-Flat Sliding Wear**. West Conshohocken, PA: 2005. Reapproved in 2016. G133-05.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Ranking Resistance of Plastic Materials to Sliding Wear Using Block-on-Ring Configuration**. West Conshohocken, PA: 2005. Reapproved in 2017. G137-97.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard guide for Measuring and Reporting Friction Coefficients**. West Conshohocken, PA: 2010. Reapproved 2018. G115-10.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Conducting Friction Tests of Piston Ring and Cylinder Liner Materials Under Lubricated Conditions**. West Conshohocken, PA: 2011. Reapproved 2017. G181-11.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Ranking Resistance of materials to Sliding Wear Using Block-on-Ring Wear Test**. West Conshohocken, PA: 2017. G77-17.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Wear Testing With a Pin-on-Disk Apparatus**. West Conshohocken, PA: 2017. G 99-17.

ASM HANDBOOK. **Heat treatment of Irons and Steel**. 4 v. [S. I.]: 2014. ISBN 0-87170-379-3.

BENINCÁ, E. *et al.* Avaliação do desgaste de roletes de aço SAE 4140 em configuração duplex (TiN) e Triplex (TiAlN) em contato de rolamento com eixos de aço DIN 42CrMo4 com cromo duro. **23° CBECiMat - Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais**, Foz do Iguaçu, p. 5575-5586, 2018.

BENINCÁ, E.; GASPARIN, A. L. Dispositivo Gerador de Desgaste, Sistema e Processo de Geração de Desgaste e Medição de Atrito. **INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial**. Rio de Janeiro: 2019.

BOTH, G. B.; ROCHA, A. S.; HIRSCH, T. K. Modificações microestruturais e tribológicas nos aços ferramenta AISI H13 e DIN X100CrMoV 8-1-1 produzidas por nitretação a plasma. **Estudos Tecnológicos em Engenharia**, v. 6, n. 3, p. 149-161, 2010. ISSN 1808-7310.

CHEN, S. *et al.* A novel tribometer for investigating bushing wear. **Wear**, v. 430, p. 263-271, 2019.

COLBERT, R. S. *et al.* Edges, clearances, and wear: Little things that make big differences in bushing friction. **Wear**, v. 268, p. 41-49, 2010.

HIBBELER, R. C. **Estática: Mecânica para engenharia**. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2013. ISBN 85-87918-97-4.

MARKOV, D.; KELLY, D. Mechanisms of adhesion-initiated catastrophic wear: pure sliding. **Wear**, v. 239, p. 189-210, 2000.

MARTINS, V. *et al.* Avaliação da influência da rugosidade superficial sobre o atrito no ensaio de compressão do anel. **66º Congresso ABM**, São Paulo, p. 2220-2227. 2011. ISSN 1516-392X.

NORTON, R. L. **Projeto de Máquinas**. Porto Alegre: Bookmann, 2013. ISBN 978-85-8260-023-8.

PODGORNIK, B. *et al.* Wear and friction behaviour of duplex-treated AISI 4140 steel. **Surface & Coatings Technology**, v. 120-121, p. 502-508, 1999.

PODGORNIK, B. *et al.* Wear resistance and anti-sticking properties of duplex treated forming tool steel. **Wear**, v. 254, p. 1113-1121, 2003.

RANALLI, G. A. *et al.* Efeitos da nitretação por plasma com pós-oxidação e por banho de sal na resistência à corrosão de um aço ferramenta. **Matéria**, v. 14, n. 2, p. 814-823, 2009. ISSN 1517-7076.

SANTECHIA, E. *et al.* Wear resistance investigation of titanium nitride-based coatings. **Ceramics International**. v. 41. p. 10349-10379, 2015.

STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR, A. W. **Tribology**. Oxford: Elsevier. 2005. ISBN 0-7506-7836-4.

SVAHN, F.; KASSMAN-RUDOLPHI, A.; WALLÉN, E. The influence of surface roughness on friction and wear of machine element coatings. **Wear**, v. 254, p. 1092-1098, 2003.

TKADLETZ, M. *et al.* Advanced characterization methods for wear resistant hard coatings: A review on recent progress. **Surface and Coatings Technology**, n. 285, p. 31-46, 2016.

UNLU, B. S.; ATIK, E.; KOKSAL, S. Tribological properties of polymer-based journal bearing. **Materials and Design**, v. 30, p. 2618-2622, 2009.