

PROJETO, CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UM ABRASÔMETRO RODA DE BORRACHA APLICADO A ESTUDOS TRIBOLÓGICOS

A. R. S. da Silva, A. Mutter, F. Kieckow
Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões – URI, Campus Santo Ângelo/RS
Rua Universidade das Missões, 464, CEP 98.802-470
fkieckow@santoangelo.uri.br

RESUMO

No presente trabalho desenvolveu-se um protótipo de abrasômetro roda de borracha em meio acadêmico para o desenvolvimento de pesquisa científica aplicada a estudos tribológicos. A concepção do projeto, construção e validação do abrasômetro foram realizadas de acordo com os parâmetros descritos pela norma ASTM G-65/2010. No projeto analisou-se os modelos existentes, sistemas de controle e medição dos parâmetros de teste para assim obter a melhor relação entre custo e benefício para desenvolvimento do protótipo. A construção do equipamento foi realizada nos laboratórios de engenharia da URI. Após, realizou-se a validação, calibração e configuração dos sistemas de controle, acionamento e leitura. O sistema é semi-automatizado para garantir maior precisão e controle dos parâmetros de teste exigidos pela Norma. Os resultados alcançados foram satisfatórios, garantindo a repetitividade e confiabilidade do equipamento e do teste.

Palavras chave: Projeto, Validação, Abrasômetro, Tribologia, ASTM G-65.

1. INTRODUÇÃO

Um dos maiores problemas presentes na indústria, principalmente do ramo metal-mecânico, é o desgaste de máquinas e/ou componentes devido à interação dos mesmos com variados tipos de meios abrasivos e erosivos, como o solo, minérios, areia e até mesmo o adubo e grãos na área agrícola, ou ainda, com algum outro componente mecânico que faça parte do conjunto em movimento.

Sabe-se que o desgaste pode apresentar várias formas de atuação, mas na prática o desgaste abrasivo é o mais importante porque, em termos gerais, é responsável por aproximadamente 50% das causas de falhas das máquinas ou componentes ⁽¹⁾. Além disso, o desgaste acarreta um custo significativo, levando em conta os gastos com a reposição ou reparo dos componentes danificados e o tempo no qual são interrompidas as atividades produtivas. A fim de reduzir os custos e

tempos de paradas, existem diversos estudos focados no desenvolvimento de novos materiais e revestimentos para que os materiais apresentem um melhor comportamento mecânico quanto a solicitações tribológicas.

A tribologia é a ciência da interação entre superfícies em movimento relativo, que engloba a superfície, o agente e o meio em que as partes envolvidas estão atuando. O balanço de energia na interface de contato é, provavelmente, a mais importante informação, e tem considerável influência no tipo de mecanismo de desgaste ⁽²⁾.

Dessa forma, é essencial que se tenha uma maneira de determinar previamente a resistência ao desgaste dos materiais para que os resultados obtidos auxiliem na escolha de materiais e projetos de componentes sujeitos ao desgaste. Equipamentos para realização de testes de desgaste em laboratório vêm sendo desenvolvidos com objetivo de analisar as taxas de desgaste de materiais, porém, em muitos casos os testes não representam adequadamente o ambiente ou a forma de desgaste real.

Para o estudo e análise desses fenômenos de desgaste, um dos equipamentos utilizados é o abrasômetro tipo roda de borracha, ilustrado na figura 1, que de um modo geral pode ser descrito como um equipamento onde uma amostra de material é desgastada por um abrasivo que passa entre a interface da amostra e da roda de borracha. Tanto o equipamento como os testes são padronizados pela norma ASTM G-65/2010 ⁽³⁾.

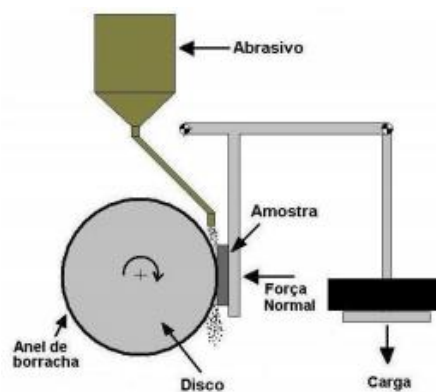


Figura 1- Ilustração de um abrasômetro tipo roda de borracha.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um protótipo de um abrasômetro segundo orientação da norma ASTM G-65/2010. Os parâmetros definidos pela norma serviram de base para o projeto e construção do equipamento, desenvolvido

nos laboratórios da engenharia mecânica da URI campus de Santo Ângelo. A caracterização dos materiais e métodos a serem aplicados na realização e validação dos testes são necessários para que os ensaios de desgaste em laboratório sejam realizados com um razoável grau de precisão e repetibilidade e que possam representar os ambientes de desgaste padronizados pela *American Society for Testing and Materials (ASTM)*.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do abrasômetro tipo roda de borracha seguiu-se a metodologia de projeto, baseada no desenvolvimento de um produto, como propõe Rozenfeld ⁽⁴⁾, bem como na norma já referenciada. Resumidamente, a sequência de passos foi a seguinte:

- Revisão da literatura;
- Definição dos critérios de projeto do equipamento;
- Concepção do projeto;
- Desenhos e dimensionamento;
- Detalhamentos;
- Especificação para fabricação;
- Fabricação e montagem;
- Testes de funcionamento e ajustes;
- Validação.

Os parâmetros de projeto para o desenvolvimento do abrasômetro estão descritos na tabela 1.

Tabela 1 - Parâmetros de projeto.

Potência do motor	750 W
Rotação (RPM)	200 ± 10
Revoluções	100 a 6000
Carga aplicada (N)	45 a 130 (± 3%)
Vazão do Abrasivo (g/min)	300 a 400
Dimensões da amostra (mm)	25x75x12,7(LxAxE)
Diâmetro externo do disco (mm)	228,6
Dureza da borracha (Shore A)	60 ± 2

Fonte: Adaptado de ASTM G 65, 2010.

3. PROJETO MECÂNICO

Durante a concepção do projeto foi feita uma revisão da literatura bem como as definições dos critérios de projeto do equipamento, desenhos, detalhamentos e dimensionamentos. A figura 2 ilustra a modelagem do protótipo.

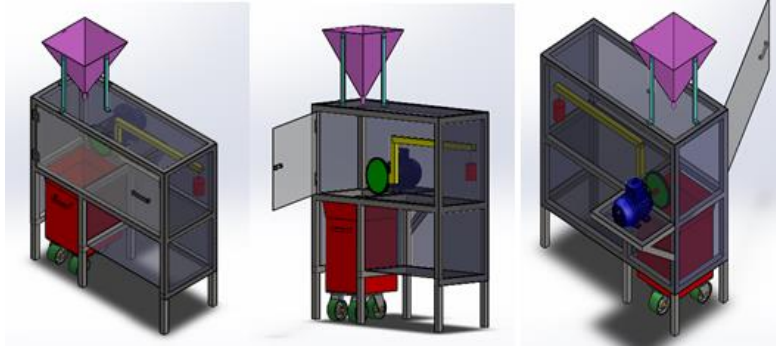


Figura 2 - Modelagem do Projeto do abrasômetro em SolidWorks

O processo de construção foi dividido em sete partes: corpo da máquina, bico dosador, roda de borracha, braço de alavanca, quadro de comando, suporte para corpos de prova e montagem dos componentes.

Estrutura (corpo da máquina)

O corpo da máquina é composto pela estrutura e pelo reservatório de abrasivo, conforme figura 3.



Figura 3 - Corpo da máquina.

A estrutura da máquina foi construída em tubos (perfil quadrado) de aço de dimensões 40x40x3mm, revestida com chapas de 2mm de espessura. O reservatório de abrasivo foi projetado para um volume de 23 litros de abrasivo, construído em chapas de aço de 2mm de espessura e foi fixado a estrutura da máquina.

Roda de borracha

A roda de borracha, figura 4(a), é constituída por um tarugo de aço 1020, revestida por uma camada de borracha cloributil vulcanizada, com dimensões e dureza especificadas pela norma regulamentadora. O suporte para amostras, figura 4(b), foi confeccionado em alumínio de forma a garantir melhor condutividade térmica durante os ensaios para dissipar melhor o calor gerado pelo atrito. Para aplicação do abrasivo na interface amostra/roda de borracha, foi construído um bico dosador seguindo as referências da Norma ASTM G-65, para que o mesmo forneça uma quantia de abrasivo de 300 a 400g/min. A figura 4(b) mostra o bico vazador, demonstrando o fluxo laminar de abrasivo exigido pela Norma.

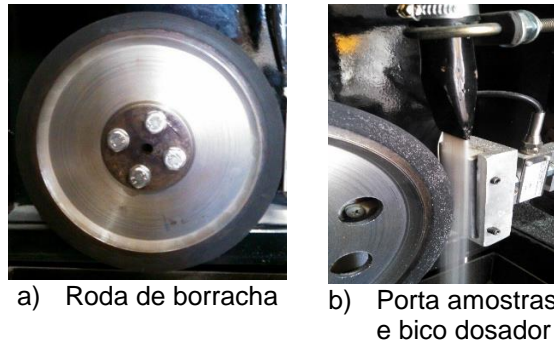


Figura 4 - Roda de borracha, porta-amostra e bico dosador.

Braço de alavanca

O sistema de aplicação da carga na interface amostra/roda de borracha é constituído por um braço de alavanca, construído a partir tubos de aço perfil quadrado, fixado na estrutura. Uma força normal precisa ser aplicada ao corpo de prova com um limite máximo de 130N +- 3%. Uma célula de carga modelo SCSA/ZL-50 com capacidade de 50 Kgf mede a força de compressão exercida sobre a amostra e o valor é mostrado em um indicador digital com resolução de 0,01. A figura 5 mostra o registro fotográfico do sistema do braço de alavanca.



Figura 5 - Braço de alavanca.

Quadro de comando

No quadro de comando ficam localizados os sistemas de acionamento, controle e leitura. O sistema de controle da carga aplicada é composto por uma célula de carga juntamente com um mostrador digital. Para controle da rotação, é utilizado um inversor de frequência para atender os requisitos exigidos pela norma e identificados na tabela 1.

O sistema de acionamento e leitura é composto por um contador de giros micro-processado e um sensor magnético. Assim que o número de giros máximos permitidos realizado pela roda de borracha é atingido, o sistema se auto desliga. A figura 6 mostra o registro fotográfico do quadro de comando, bem como os sistemas de acionamento, controle e leitura.



Figura 6 - Quadro de comando.

Após a construção, montagem e regulagem dos componentes e sistemas integrantes ao abrasômetro, finalizou-se o projeto ilustrado pelo registro fotográfico da figura 7.



Figura 7 – Abrasômetro completo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Validação

Na norma ASTM G-65 estão estabelecidos dois parâmetros de ensaio para o equipamento: a distância de deslizamento (associado ao número de revoluções da roda) e a carga atuante no espécime. A ASTM padronizou cinco procedimentos através de variações destes dois parâmetros de ensaio que permitem a validação do abrasômetro, conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Procedimentos padrão para testes com abrasômetro roda de borracha.

Procedimento ASTM	Força aplicada na Amostra (N)	Revoluções da Roda de Borracha	Distância de Deslizamento (m)
A	130	6000	4.3
B	130	2000	1.44
C	130	100	71.8
D	45	6000	4.3
E	130	1000	0.72

Fonte: Adaptado de ASTM G 65, 2010.

Preparação do Abrasivo

O abrasivo recomendado pela norma é uma areia de rio, classificação AFS 50/70. O abrasivo deve ser classificado através de peneiras e a norma estabelece uma porcentagem máxima de 5% de retenção para a peneira de 50 mesh e mínima de 95% para a peneira de 70 mesh. Para tanto, peneirou-se areia até que a granulometria ficasse de acordo com o exigido pela norma.

Preparação das amostras

Para os testes foi escolhido o aço AISI D2. O material depois de ter sua composição química checada foi usinado nas dimensões de 25x75x 2,5mm (L x A x Esp.). Foi realizado tratamento térmico de têmpera com temperatura de austenitização de 1050°C por 30 minutos, seguida de resfriamento em óleo. O revenido foi realizado a 220°C por duas horas com posterior resfriamento ao ar. Após tratadas termicamente as amostras obtiveram uma dureza média de 58,5 HRC, dentro dos padrões exigidos pela norma. Logo após, as amostras foram lixadas, a fim de se obter um padrão de acabamento superficial dentro do especificado com rugosidade superficial abaixo 0,8 µm. A figura 8 ilustra uma amostra pronta para os testes, já tratada termicamente e lixada.



Figura 8 – Amostra de aço AISI D2 pronta para ensaio.

Antes do início de cada ensaio, todas as amostras foram pesadas. Optou-se por testes de desgaste de 6000 revoluções da roda de borracha. Depois do ensaio, as amostras foram novamente pesadas. Para a pesagem foi utilizada uma balança digital com precisão de 0,0001 gramas, para determinar a perda de massa após o ensaio. Os dados coletados serviram para o cálculo de perda de volume total, utilizando a equação (A). Gráficos foram com os resultados obtidos.

$$\text{Volume Perdido [mm}^3] = \frac{\text{Massa perdida [g]}}{\text{Densidade [\frac{g}{\text{cm}^3}]}]} \times 1000 \quad (\text{A})$$

Validação do abrasômetro

Os ensaios foram realizados aplicando-se aos parâmetros da Tabela 2, Procedimento 'A'. Notou-se uma variação na leitura da força da célula de carga, mas permaneceu no limite dos $\pm 3\%$ de variação, o que é aceitável pela norma.

A figura 9 mostra o gráfico contendo os resultados dos ensaios. Os valores estão em perda volumétrica e foram calculados através da equação (A), considerando a densidade do aço AISI D2 como sendo 7,7 g/cm³.

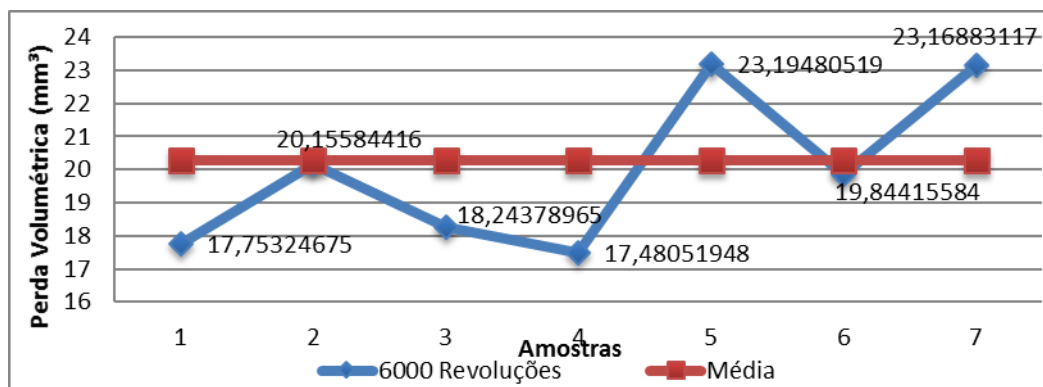


Figura 9 - Perda volumétrica das amostras para 6000 revoluções.

Analisando os dados da figura 9, nota-se que o volume médio de material perdido foi de 20 ± 4 mm³, com um coeficiente de variação de 11,15%. Estes resultados são considerados satisfatórios, pois o coeficiente de variação foi menor do que os 14% apresentado pela norma ASTM G-65/2010. Porém, os resultados da

perda volumétrica apresentaram-se inferiores aos indicados pela norma, que é de $36 \pm 5 \text{ mm}^3$.

Com objetivo de alcançar os valores apresentados na literatura todos os parâmetros do equipamento foram revisados e constatou-se que estes valores inferiores podem ser explicados devido a uma pequena excentricidade, existente na roda de borracha, decorrente de sua fabricação, não estando exatamente concêntrica com seu eixo de rotação, não garantindo assim que ocorra o perfeito contato da roda com a amostra durante todo o decorrer do ensaio. Todos os demais parâmetros foram conferidos e reajustados, dentro dos padrões estabelecidos.

A figura 10 apresenta as marcas de desgaste sobre o corpo de prova, mostrando um desgaste uniforme, conforme solicitado pela norma, o que mostra que o braço de alavanca está devidamente alinhado.



Figura 10 - Marca uniforme de desgaste.

Além disso, foram realizados ensaios com tomada de dados da taxa de desgaste a cada 2.000 revoluções, com o objetivo de poder estabelecer uma equação que permita determinar qual o número de revoluções que se precisa para se obter uma perda volumétrica definida. Os resultados alcançados estão dispostos na figura 11.

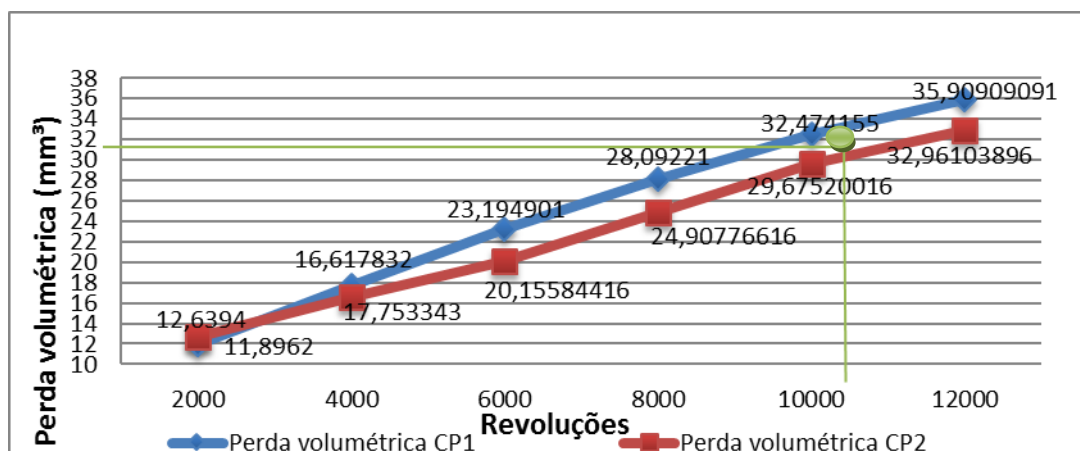


Figura 11 - Perda volumétrica à cada 2000 revoluções.

Analisando os dados obtidos pode-se ver claramente que nas fases iniciais do ensaio os resultados apresentam maior variação, porém a partir de 6.000 revoluções os resultados se apresentam mais lineares e com baixa variação. Também se pode perceber que com ensaios a partir de aproximadamente 10.500 revoluções atingem valores de perda volumétrica acima de 31 mm³ considerados satisfatórios pela Norma.

A equação (B), obtida a partir da figura 11, permite determinar o número de revoluções para qualquer perda volumétrica desejada, sendo valores em “x” o número de revoluções e valores em “y” a perda volumétrica.

$$X = \frac{4000 y - 23480}{9,52} \quad (B)$$

5. CONCLUSÃO

O projeto e construção do abrasômetro atendeu os requisitos da norma ASTM G-65/2010, quanto a carga aplicada, vazão da areia no bico dosador, controle de velocidade e do número de revoluções e uniformidade do desgaste. O sistema de confere precisão e repetibilidade aos testes realizados.

Nos testes com o aço AISI D2, os resultados obtidos de perda volumétrica das amostras ensaiadas ficaram abaixo do especificado pela norma, porém, devido a boa linearidade dos resultados é possível obter qualquer volume de desgaste em função da definição do número de revoluções.

AGRADECIMENTOS

A FAPERGS e a URI Campus de Santo Ângelo pelas bolsas de Iniciação Científica e pela infraestrutura disponibilizada para a construção do equipamento e desenvolvimento da pesquisa.

REFERÊNCIAS

- (1) KELM, Maikel, **Desenvolvimento de um Dispositivo para Teste de Desgaste Abrasivo com Arroz em Casca**. 2013. 48f. TCC do curso de Engenharia Mecânica, URI, Santo Ângelo, 2013.
- (2) GAHR, Karl-Heinz Zum. **Microestrutura and wear of materials**. *Tribology series*, vol 10. Amsterdam: Elsevier, 1987.

(3) ASTM G 65. **Standard Practice for Conducting Dry Sand/Rubber Wheel Abrasion Tests. Wear and Erosion: Metal Corrosion.** American Society for Testing and Materials. ASM Society: United States, 2010, Vol 03.02.

(4) ROZENFELD, Henrique, AMARAL, Daniel Capaldo, FORCELLINI, Fernando Antônio, TOLEDO, José de. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma Referência Para Melhoria do Processo**, 1ª edição. Ed. Saraiva, 2013. 542p.

PROJECT, CONSTRUCTION AND VALIDATION OF A RUBBER WHEEL ABRASOMETER APPLIED IN TRIBOLOGICAL STUDIES

ABSTRACT

In the present study we developed a prototype abrasometer rubber wheel in the university for scientific research development applied to tribological studies. The conception of the project, construction and validation of abrasometer were performed according to the parameters described by ASTM G-65/2010. The project analyzed the existing models, control systems and measuring test parameters in order to obtain the best relation between cost and benefit to the development of a prototype. The construction of the equipment was performed in the URI engineering laboratories. After the validation was performed, calibration and configuration of control systems, drive and read. The system is semi-automated to ensure greater accuracy and control of test parameters required by the standard. The results achieved were satisfactory, ensuring repeatability and reliability of the equipment and testing

Keywords: Design, Validation, Abrasometer, Tribology, ASTM G65.