

CONTRIBUINDO PARA A RASTREABILIDADE DO FATOR f_{ab}

Elsio Junior Bonati Borges

Tulio Alves Rodrigues

Joyce Antunes da Silva

Washington Martins da Silva Junior

Rosenda Valdés Arencibia

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia – MG, 38408-100

elsio.bonati@bol.com.br

tualro@gmail.com

joyce_antunes@gmail.com

washington.martins@ufu.br

rosena.arencibia@ufu.br

Resumo. O fator f_{ab} tem sido amplamente utilizado para quantificar a resposta do deslizamento de uma partícula sobre uma superfície quanto à capacidade de sulcar ou cortar. Entretanto a literatura estudada destaca a baixa repetibilidade dos valores de f_{ab} levando em alguns casos à impossibilidade de associá-los aos diferentes mecanismos de abrasão observados ou até a invalidação dos mesmos. Este fato pode ser atribuído principalmente à significativa quantidade de fontes de erros que podem afetar o valor de f_{ab} . Na literatura estudada observou-se ainda a falta de rastreabilidade metrológica, o uso de programas computacionais não validados, dentre outros. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo validar o programa Mountains Map Universal 3.0.11 utilizado para determinação dos valores de áreas necessários para o cálculo do fator f_{ab} . Adicionalmente a incerteza associada é estimada. Os resultados obtidos mostraram que o programa Mountains Map Universal 3.0.11 fornece valores de áreas com exatidão e repetibilidade elevadas. A incerteza expandida associada é da ordem de 0,20 mm².

Palavras chave: Fator f_{ab} , Incerteza de medição.

1. INTRODUÇÃO

Uma maneira de quantificar a resposta do deslizamento de uma partícula sobre uma superfície quanto à capacidade de sulcar ou cortar é por meio do cálculo do fator f_{ab} . Esse cálculo se baseia na análise das áreas de material removido/movimentado da seção transversal do evento formado, durante o processo de deslizamento. A Figura 1 mostra o esquema da seção transversal de um risco em um material dúctil.

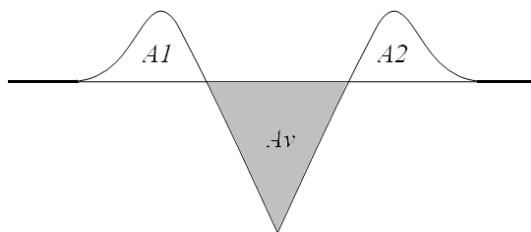


Figura 1. Esquema da seção transversal de um risco com resposta dúctil (ZUM GAHR, 1987).

Na Figura 1, a área A_v corresponde ao material removido pela ação do penetrador e as áreas $A1$ e $A2$ representam o material deformado para as laterais do sulco. O fator f_{ab} é calculado de acordo com a Eq. (1) (MULHEARN; SAMUELS, 1962; ZUM GAHR, 1987).

$$f_{ab} = \frac{A_v - (A1 + A2)}{A_v} \quad (1)$$

Para o riscamento com resposta dúctil, um f_{ab} igual a zero significa que toda a área removida pelo indentador foi deformada para as laterais do sulco. O f_{ab} igual a um (1) representa o microcorte ideal. Qualquer valor intermediário representa o percentual de material removido durante o deslizamento (MULHEARN; SAMUELS, 1962; ZUM GAHR, 1987). Por sua vez, no regime frágil, a remoção de material devido à propagação de trincas pode levar a obtenção de

áreas maiores que aquela correspondente ao indentador, resultando em um fator f_{ab} maior do que um (1), por tal motivo o fator f_{ab} não é usual para análise do deslizamento no regime frágil (MULHEARN; SAMUELS, 1962; BARRADAS; COSTA; DE MELLO, 2001; STACHOWIAK; BATCHELOR, 2001).

Os valores das grandezas que servem de base para o cálculo do f_{ab} são determinadas por meio de medições. Sabe-se, ainda, que nos processos de medição utilizando perfilômetros, interferômetros e durômetros podem estar presentes diversos fatores ou fontes de erros que, em muitas situações práticas, conduzem à invalidação dos resultados de medição e consequentemente à formulação de conclusões errôneas. Ainda muitos dos sistemas de medição utilizados possuem programas computacionais. A calibração dos programas computacionais é essencial para a garantia da rastreabilidade dos resultados de medição, bem como para o atendimento da NBR ISO/IEC 17025 (ABNT, 2017).

A baixa repetibilidade dos valores de f_{ab} tem sido reportada por diversos autores. Barradas, *et al.*, 2001 observaram que os valores do fator f_{ab} variaram consideravelmente ao longo dos riscos efetuados em amostras de alumínio e de ferro fundido branco hipoeutético. Franco (2015) ao analisar a abrasão do ferro fundido cinzento, utilizado no par camisa/bloco em motores automotivos, observou que os valores de f_{ab} obtidos por perfilometria óptica apresentaram dispersão elevada, não sendo possível associá-los aos diferentes mecanismos de abrasão observados. Ainda, os valores de áreas apresentaram discrepâncias importantes entre as duas apurações. Franco e Sinatora (2017) concluíram que os valores de desvio padrão associados aos valores médios do fator f_{ab} foram significativos em várias das condições ensaiadas. E afirmaram que é possível determinar um valor médio de f_{ab} , a partir da análise das várias seções transversais obtidas de um risco, desde que se utilize uma sólida base estatística.

Pöhl, *et al.*, 2016 calcularam o valor médio de f_{ab} e o desvio padrão considerando cinco posições ao longo de um risco realizado sob valores de força crescentes (3 mN a 603 mN), em amostras de ferro puro monofásico, de AISI1045 e de AISI304L lixadas e polidas, visando à avaliação dos micro-mecanismos dominantes, (Fig. 2). É possível observar na Fig. 2 que, para o ferro e o AISI1045, as barras de erros que representam o desvio padrão ultrapassam 50 % do valor médio de f_{ab} o que denota a baixa repetibilidade dos mesmos.

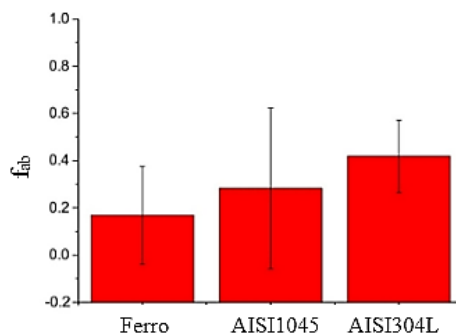


Figura 2. Média e desvio padrão dos valores de f_{ab} (PÖHL, *et al.*, 2016).

Kobrick, *et al.*, 2014, a baixa repetibilidade dos valores de f_{ab} pode estar associada à definição da linha de base (linha zero) à correta definição do ponto de transição entre a área deformada pelo indentador e a superfície original Franco (2015). Das constatações de Kobrick, *et al.*, 2014 e Franco (2015) se conclui que, apesar dos sistemas de medição utilizados para determinação das áreas necessárias para o cálculo do f_{ab} serem modernos e sofisticados, pode haver uma fonte de erro relacionada ao operador. Desta forma, dificilmente, operadores diferentes reproduzirão os resultados da medição.

A partir do exposto se conclui que são diversas as fontes de erro que podem contribuir para a baixa repetibilidade dos valores do fator f_{ab} . Ainda, a rastreabilidade metrológica da maioria dos resultados apresentados pode ser questionada, uma vez que a incerteza de medição não é calculada nem declarada. Desta forma, o presente trabalho tem como objetivo validar o programa Mountains Map Universal 3.0.11 utilizado para determinação dos valores de áreas necessários para cálculo do fator f_{ab} . Adicionalmente a incerteza associada é estimada. Espera-se, desta forma, contribuir para a rastreabilidade dos valores de f_{ab} , bem como com o atendimento da NBR ISO/IEC 17025 (ABNT, 2017).

2. METODOLOGIA

Os principais fatores que afetam a determinação do fator f_{ab} utilizando perfilômetro mecânico (medição com contato) estão relacionados a: amostra, ambiente, perfilômetro, esclerômetro e áreas de interesse (Fig. 3). A cada um destes fatores está associado um conjunto de fontes de erros, que podem comprometer a exatidão e a repetibilidade dos resultados obtidos.



Figura 3. Diagrama de causa e efeito, com os principais fatores e fontes de erros observadas na determinação do fator f_{ab} utilizando perfilômetro mecânico (medição com contato).

A partir da Fig. 3, se observa que dentre as fontes de erros relacionadas à determinação das áreas de interesse está a calibração do programa computacional utilizado para determinação das áreas. Esta calibração é frequentemente negligenciada, deixando dúvidas sobre a qualidade do valor do fator f_{ab} obtido. Um dos programas computacionais utilizados para esta finalidade é o Mountains Map Universal 3.0.11, o qual foi validado neste trabalho.

A validação do programa computacional Mountains Map Universal 3.0.11, foi efetuada por meio da comparação dos valores de área obtidos pelo programa e aqueles calculados matematicamente a partir de figuras geométricas, por meio da Eq. (2).

$$E_A = \overline{X_A} - VC_A \quad (2)$$

Na Equação 2, E_A é uma estimativa do erro sistemático ou tendência associado ao cálculo da área; $\overline{X_A}$ é a média dos valores de área obtidos por meio do programa; e VC_A é o valor convencional ou de referência determinado por meio de cálculos matemáticos.

As figuras geométricas utilizadas na calibração do programa são mostradas na Fig. 4. Estas figuras foram obtidas a partir de 37 pontos com ordenadas (x, y). Os quais resultaram em três triângulos, cujas áreas foram denominadas de Área 1, Área 2 e Área 3, respectivamente. A área total A_T foi determinada por meio da soma das três áreas. O uso dos triângulos se justifica pela facilidade no cálculo da área e por serem figuras geométricas similares às obtidas durante o riscamento. Vale a pena ressaltar que de forma geral os perfis de seções transversais de riscos são apresentados em gráficos bidimensionais, nos quais a escala vertical é ampliada. Esta prática facilita a análise.

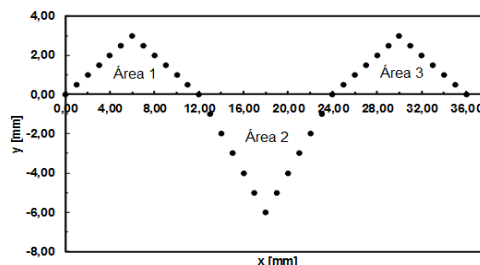


Figura 4. Figuras geométricas obtidas a partir de pontos coordenados x e y e utilizadas para a validação do programa Mountains Map 3.0.11.

Para a entrada de dados no programa Mountains Map foram utilizados os valores da coordenada y de todos os pontos, definindo o espaçamento em x igual a 1,00 mm. Desta forma, o programa é capaz de identificar a curva e os valores das ordenadas dos pontos. O cálculo das áreas foi efetuado cinco vezes utilizando o comando *surface of a Hole/Peak*. A resolução da medição foi de 0,1 mm². A incerteza associada ao cálculo da área foi estimada utilizando o método GUM proposto no JCGM 100 (JCGM, 2008). Para tanto foi utilizado o modelo matemático dado na Eq. (2).

A incerteza associada à determinação do valor de área por meio de cálculos matemáticos pode ser considerada igual a zero. Entretanto, a incerteza padrão associada à determinação das áreas $u(\overline{X}_A)$ estimada por meio do programa depende da variabilidade dos valores de área obtidos considerando os cinco ciclos de medição. Esta incerteza foi estimada por meio de uma avaliação do tipo A considerando uma distribuição t-Student, como mostra a Eq. (3). A incerteza expandida associada à área $U(\overline{X}_A)$ foi estimada como indicado na Eq. (4). Nesta equação k é o fator de abrangência da medição.

$$u(\overline{X}_A) = \frac{s}{\sqrt{n}} \quad (3)$$

Na Equação 3, s representa o desvio padrão amostral e n o número de medições.

$$U(A) = u(\overline{X}_A) \cdot k \quad (4)$$

3. RESULTADOS

A Figura 5, mostra as geometrias obtidas por meio do programa Mountains Map. A área total obtida foi de 72,00 mm², com desvio padrão igual a zero.

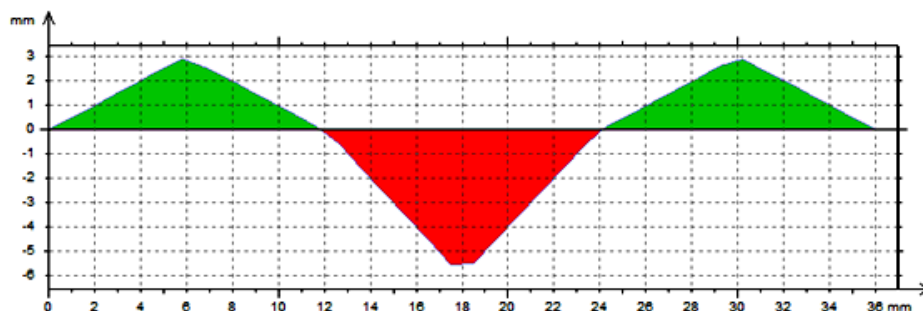


Figura 5. Imagem obtida por meio do programa Mountains Map Universal 3.0.11.

O valor de área calculado matematicamente também resultou em 72,00 mm². Desta forma o erro sistemático ou tendência é igual a zero, sendo indicativo da elevada exatidão dos valores de área obtidos pelo programa. A repetibilidade associada aos valores de área obtidos pelo programa também foi muito boa uma vez que o desvio padrão foi igual a zero. O JCGM 100 (JCGM, 2008) destaca que quando o desvio padrão for igual a zero a incerteza padrão associada à variabilidade dos valores do mensurando não deve ser desprezada.

A incerteza expandida associada aos valores de erro na determinação da área por meio do programa Mountains Map Universal 3.0.11 foi de 0,20 mm² para um fator de abrangência $k=2,78$ e uma probabilidade de abrangência de 95 %. Desta forma pode-se concluir que o programa apresenta exatidão, repetibilidade e incerteza expandida adequadas para determinação das áreas utilizadas no cálculo do fator f_{ab} . Vale ressaltar que a determinação dos valores de áreas por um operador experiente é de importância ímpar para a obtenção de resultados confiáveis. Kobrick et al. (2014) e Franco (2015) destacaram que, apesar dos sistemas de medição utilizados para determinação das áreas necessárias para o cálculo do f_{ab} serem modernos e sofisticados, pode haver uma fonte de erro relacionada ao operador. Desta forma, dificilmente, operadores diferentes reproduzirão os resultados da medição.

Vale ressaltar que outras geometrias poderiam ser utilizadas para avaliar o programa computacional e que resultados diferentes poderiam ser obtidos. Entretanto, acredita-se que a qualidade dos valores de áreas fornecidos pelo programa não deferirão muito dos aqui apresentados.

4. CONCLUSÕES

O programa Mountains Map Universal 3.0.11 apresentou exatidão e repetibilidade elevadas. A incerteza expandida associada foi de 0,20 mm² indicando a qualidade dos valores de áreas obtidos.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, FAPEMIG e CNPq pelo apoio financeiro ao projeto, ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica/UFU e à Petrobras.

6. REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS NBR ISO/IEC 17025, 2017. “Requisitos gerais para competência de laboratórios de ensaio e calibração”. Rio de Janeiro, Brazil.
- BARRADAS, H. A.; COSTA H. L.; DE MELLO J. D. B. “O uso da topografia de superfícies 3D para determinar o fator f_{ab} em ensaios esclerométricos”. XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA MECÂNICA – COBEM, Tribologia, volume 3, anais do XVI COBEM.
- JCGM (Joint Committee for Guides in Metrology). 2008a. “*Evaluation of Measurement Data – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*”. JCGM 100: 2008. 134 p.
- FRANCO, L. A., 2015. “Abrasão de ferro fundido cinzento: aplicação a motores automotivos”. Tese de Doutorado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, Brazil.
- FRANCO, L. A.; SINATORA, A., 2017. “*Material removal factor (f_{ab}): A critical assessment of its role in theoretical and practical approaches to abrasive wear of ductile materials*”. Wear, volume 382 – 383, pp 51 – 61.
- KOBRICK, R. L.; KLAUS, D. M.; STREET, K. W., 2014. “*Standardization of a volumetric displacement measurement for two-body abrasion scratch test data analysis*”. Wear, volume 270, pp 120 – 126, 2014.
- MULHEARN, T. O.; SAMUELS L. E., 1962. “*The Abrasion of Metals: A Model of the Process*”. Wear, volume 5, pp 478 – 498.
- PÖHL, F.; HARDES, C.; THEISEN, W., 2016. “*Scratch behavior of soft metallic materials*”. AIMS, volume 3, pp 390 – 403.
- STACHOWIAK, G. W.; BATCHELOR, A. W., 2001. “*Engineering Tribology, Butterworth – Heinemann.*” 2ª edition, Woburn, MA, USA, ISBN 0750673044, 744 p.
- ZUM GAHR, K. H., 1987. “*Microstructure and Wear of Materials*”. Amsterdam, Elsevier, 560 p.

7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

Contributing to the Traceability of the Factor f_{ab}

Elsio Junior Bonati Borges

Tulio Alves Rodrigues

Joyce Antunes da Silva

Washington Martins da Silva Junior

Rosenda Valdés Arencibia

Universidade Federal de Uberlândia, Av. João Naves de Ávila, 2121, Santa Mônica, Uberlândia – MG, 38408-100

elsio.bonati@bol.com.br

tualro@gmail.com

joyce_antunes@gmail.com

washington.martins@ufu.br

rosena.arencibia@ufu.br

Abstract. The f_{ab} factor has been widely used to quantify the slide response of a particle on a surface as to the ability to groove or cut. However, the studied literature highlights the low repeatability of the f_{ab} values, leading in some cases to the impossibility of associating them with the different abrasion mechanisms observed or until their invalidation. . This fact can be attributed mainly to the significant amount of error sources that can affect the f_{ab} values. In the studied literature it was also observed the lack of metrological traceability and the use of non-validated softwares, among others. In this way, the present work aims to validate the Mountains Map Universal 3.0.11 software used to determine the values of areas required to calculate the factor f_{ab} . Additionally, the associated uncertainty is estimated. The obtained results showed that the Mountains Map Universal 3.0.11 software provides area values with high accuracy and repeatability. The associated expanded uncertainty is on the order of 0.20 mm^2 .

Keywords: Factor f_{ab} , Measurement uncertainty, Traceability.

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.