



Avaliação da Incerteza de Medição do Ensaio de Dureza Rockwell A

Gabriel Douglas Ciquelero | gabriel.d13@aluno.ifsc.edu.br¹
Keli Vanessa Salvador Damin | keli.salvador@ifsc.edu.br²
Daniel Antonio Kapper Fabricio | daniel.fabricio@ifsc.edu.br³

Edital nº 03/2025/PROPPI - PIBITTI

Trabalho de Pesquisa

DT 4 - Inovação Tecnológica, Processos Produtivos e Futuro das Tecnologias

Resumo:

A determinação confiável das propriedades mecânicas dos materiais é essencial para sua correta aplicação e segurança de projetos. O Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Câmpus Chapecó dispõe, atualmente, de um durômetro não calibrado, o que pode comprometer a confiabilidade dos ensaios de dureza do tipo Rockwell A. Para avaliar essa confiabilidade, torna-se necessária uma estimativa da incerteza de medição associada a esse ensaio, sendo este o objetivo do presente projeto. Para isso, foi elaborada e validada uma planilha de cálculo com base nos oito passos estabelecidos pelo Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (GUM), possibilitando uma análise quantitativa mais precisa e rastreável dos resultados obtidos. Como resultado, foi possível estimar a incerteza de medição do ensaio de dureza Rockwell A por meio da planilha desenvolvida, em uma amostra existente no câmpus e de uma amostra adquirida com recursos de pesquisa, obtendo-se uma incerteza de medição expandida de 7,26 e 7,19 HRA, respectivamente, a uma probabilidade de abrangência de 95,45%. Os resultados demonstraram a viabilidade da metodologia proposta para a avaliação da confiabilidade das medições realizadas no laboratório.

Palavras-chave: metrologia; incerteza de medição; ensaio de dureza; Rockwell A.

Introdução

Para garantir a qualidade dos projetos e processos industriais é fundamental utilizar materiais que possuam propriedades mecânicas confiáveis. Entre os ensaios empregados para avaliar essas propriedades, destaca-se o ensaio de dureza Rockwell A. De acordo com o Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (GUM), a apresentação de resultados de medição sem a devida indicação de sua incerteza compromete sua

¹ Estudante do curso de Engenharia de Controle e Automação do IFSC - Câmpus Chapecó.

² Professora de Fabricação Mecânica do IFSC - Câmpus Chapecó.

³ Professor do Departamento Acadêmico de Saúde do IFSC - Câmpus Florianópolis.

utilidade metrológica, visto que impossibilita a comparação confiável entre diferentes medições ou com valores de referência estabelecidos em normas técnicas.

A incerteza de medição fornece uma estimativa quantitativa da qualidade do resultado, permitindo avaliar o grau de confiança associado ao valor medido. Dessa forma, a ausência dessa informação limita a interpretação dos resultados e pode levar a conclusões equivocadas, especialmente em aplicações industriais e científicas que exigem alto nível de precisão e rastreabilidade.

Nesse contexto, a metrologia desempenha um papel fundamental na garantia da confiabilidade dos resultados experimentais, especialmente em ensaios mecânicos amplamente utilizados na indústria, como o de dureza. O Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) – Câmpus Chapecó dispõe de um durômetro não calibrado, o que pode comprometer a confiabilidade dos resultados de dureza obtidos nos laboratórios. Diante dessa limitação, torna-se necessário estimar a incerteza de medição associada ao ensaio de dureza Rockwell A deste durômetro, de modo a aumentar a confiabilidade dos resultados obtidos. Nesse contexto, foi desenvolvido um projeto de pesquisa com o objetivo geral de obter uma estimativa da incerteza de medição do ensaio de dureza Rockwell A.

Fundamentação teórica

O ensaio de dureza é amplamente utilizado na indústria como ferramenta de controle de qualidade em diversos processos de fabricação metalúrgicos. De acordo com Callister (2012), esse ensaio pode ser definido como a medida da resistência de um material à deformação plástica. Sua aplicação é frequente devido ao baixo custo, simplicidade e rapidez de execução, além do fato de o corpo de prova não ser fraturado nem sofrer deformações significativas que o inutilizem. Ademais, os ensaios de dureza podem fornecer estimativas indiretas de outras propriedades mecânicas dos materiais (FERREIRA et al., 2020).

Existem diversas escalas e metodologias empregadas para a determinação da dureza. Segundo Mora (2010), os ensaios de dureza do tipo Rockwell baseiam-se na medição da profundidade de penetração de um penetrador sob carga.

Entre as principais fontes de incerteza em ensaios de dureza destacam-se a variabilidade das medições, limitações do equipamento, condições da superfície da amostra, influência do operador e condições ambientais. Esses fatores contribuem diretamente para a dispersão dos resultados e devem ser levados em conta na avaliação da incerteza de medição.

O Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (GUM) é um documento de referência internacional que estabelece as diretrizes para o cálculo e expressão da incerteza de medição, considerando a contribuição de cada parâmetro envolvido. De acordo com esse guia, a incerteza de medição é definida como um parâmetro associado ao resultado de uma medição que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser razoavelmente atribuídos ao mensurando. Entre os tipos de incerteza tem-se o Tipo A, que é obtido por análise estatística de medições repetidas, e o Tipo B, que é determinado por outros meios, como dados de fabricantes, experiência prévia ou certificados de calibração.

Conforme o JCGM (2008), a estimativa da incerteza requer a descrição do efeito de cada variável de entrada sobre o mensurando, utilizando coeficientes de sensibilidade. O GUM propõe um procedimento composto por oito etapas para a avaliação da incerteza de medição, baseado na Lei de Propagação de Incertezas e na caracterização estatística das variáveis de entrada a partir de suas distribuições de probabilidade.

Como resultado, o guia retorna a incerteza expandida, a qual é definida como uma quantidade que estabelece um intervalo em torno do resultado da medição, no qual se espera abranger uma grande fração dos valores atribuídos ao mensurando.

Procedimentos metodológicos

Inicialmente foi realizada uma revisão teórica sobre incerteza de medição aplicada ao ensaio de dureza Rockwell A, com base em normas técnicas, artigos científicos e livros especializados na área. Em seguida, desenvolveu-se uma planilha eletrônica para o cálculo da incerteza de medição do ensaio de dureza Rockwell A, seguindo os oito passos estabelecidos pelo Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (GUM) (JCGM, 2008), mostrada na Figura 1. A planilha foi posteriormente validada por meio de testes.

Figura 1 – Planilha para cálculo da incerteza expandida.

Medida 1		HRA
Medida 2		HRA
Medida 3		HRA
Medida 4		HRA
Medida 5		HRA
Média	#DIV/0!	HRA

Modelo Matemático de Medição: Dureza = Dureza_Média

Variável	Componente da incerteza	Estimativa	Distrib. Prob.	Tipo	Divisor	Incert. Padrão	Coef. Sensibilidade	Contrib. p/ Incerteza	GDL
Dureza_Média	Resolução do durômetro	0,100000	Retangular	Tipo B	1,732051	0,057735	1,000000	0,057735	1,00E+10
Dureza_Média	Desvio padrão da média	#DIV/0!	t-Student	Tipo A	0,000000	#DIV/0!	1,000000	#DIV/0!	-1
Dureza_Média	Desvio padrão de repetitividade	2,7144060	t-Student	Tipo A	1	2,714406	1,000000	2,714406	5,00

Incerteza combinada: #DIV/0! HRA
 GDL efetivo: #DIV/0!
 Coeficiente de abrangência: #DIV/0!
 Incerteza expandida: #DIV/0! HRA

Relato do resultado: #DIV/0!

Fonte: Autoria própria (2026).

Com a planilha validada, foram realizados ensaios de dureza Rockwell A em uma amostra metálica do câmpus e em um padrão de dureza adquirido. Para ambos, foram efetuadas cinco medições repetidas, permitindo a análise estatística dos resultados. Com base nesses dados, foi realizada a estimativa da incerteza de medição por meio da planilha elaborada na etapa anterior.

Após a conclusão das etapas experimentais e analíticas, procedeu-se à organização e análise dos resultados, seguida da elaboração do relatório final.

Resultados e discussões

Os resultados obtidos a partir da medição da dureza da amostra do câmpus são mostrados na Figura 2. Nessa medição, por exemplo, obteve-se uma média de 63,66 HRA com uma incerteza de medição expandida de 7,26 HRA a uma probabilidade de abrangência de 95,45%.

Figura 2 – Planilha com resultados da amostra do câmpus.

Medida 1	62,20	HRA
Medida 2	64,00	HRA
Medida 3	63,80	HRA
Medida 4	64,50	HRA
Medida 5	63,80	HRA
Média	63,66	HRA

Modelo Matemático de Medição	Dureza = Dureza_Média
------------------------------	-----------------------

Variável	Componente da incerteza	Estimativa	Distrib. Prob.	Tipo	Divisor	Incert. Padrão	Coef. Sensibilidade	Contrib. p/ Incerteza	GDL
Dureza_Média	Resolução do durômetro	0,100000	Retangular	Tipo B	1,732051	0,057735	1,000000	0,057735	1,00E+10
Dureza_Média	Desvio padrão da média	0,8648699	t-Student	Tipo A	2,236068	0,386782	1,000000	0,386782	4
Dureza_Média	Desvio padrão de repetitividade	2,7144060	t-Student	Tipo A	1	2,714406	1,000000	2,714406	5,00

Incerteza combinada	2,74243	HRA
GDL efetivo	5,20704	
Coefficiente de abrangência	2,64865425	
Incerteza expandida	7,26	HRA

Relato do resultado:
Dureza = (63,66 ± 7,26) HRA, a uma probabilidade de abrangência de 95,45%.

Fonte: Autoria própria (2026).

Na segunda etapa prática, foram realizados ensaios de dureza Rockwell A em um padrão de referência adquirido com recursos do projeto. Neste caso, obteve-se uma média de 63,10 HRA com uma incerteza de medição expandida de 7,19 HRA a uma probabilidade de abrangência de 95,45%.

Figura 3 – Planilha com resultados da amostra adquirida.

Medida 1	63,00	HRA
Medida 2	63,30	HRA
Medida 3	63,00	HRA
Medida 4	63,00	HRA
Medida 5	63,20	HRA
Média	63,10	HRA

Modelo Matemático de Medição	Dureza = Dureza_Média
------------------------------	-----------------------

Variável	Componente da incerteza	Estimativa	Distrib. Prob.	Tipo	Divisor	Incert. Padrão	Coef. Sensibilidade	Contrib. p/ Incerteza	GDL
Dureza_Média	Resolução do durômetro	0,100000	Retangular	Tipo B	1,732051	0,057735	1,000000	0,057735	1,00E+10
Dureza_Média	Desvio padrão da média	0,14142135	t-Student	Tipo A	2,236068	0,063246	1,000000	0,063246	4
Dureza_Média	Desvio padrão de repetitividade	2,7144060	t-Student	Tipo A	1	2,714406	1,000000	2,714406	5,00

Incerteza combinada	2,71576	HRA
GDL efetivo	5,00996	
Coefficiente de abrangência	2,64865425	
Incerteza expandida	7,19	HRA

Relato do resultado:
Dureza = (63,1 ± 7,19) HRA, a uma probabilidade de abrangência de 95,45%.

Fonte: Autoria própria (2026).

Esse padrão adquirido possui um valor certificado de dureza de 64,2 HRA. Portanto, esse resultado pode ser considerado satisfatório, pois o valor do padrão (64,2 HRA) está dentro da faixa de (63,10 ± 7,19) HRA dada pela planilha. No entanto, ressalta-se que a incerteza expandida da medição foi de 11,4% do valor médio, o que configura uma incerteza de medição relativamente alta.



Considerações finais

Os resultados obtidos apresentaram boa repetitividade e compatibilidade com os valores nominais dos padrões de dureza, confirmando a confiabilidade do método e a adequação da planilha para o cálculo da incerteza expandida. De forma geral, os resultados alcançados demonstraram que a metodologia proposta é viável, reprodutível e adequada para estimar a incerteza de medições de dureza Rockwell A, permitindo maior controle sobre a qualidade dos ensaios.

Do ponto de vista prático, a metodologia desenvolvida pode ser aplicada em atividades laboratoriais e industriais que envolvam ensaios de dureza, contribuindo para a melhoria da confiabilidade dos resultados e para a tomada de decisões mais seguras em processos de controle de qualidade.

Como produto final, o projeto entregou uma planilha eletrônica validada, capaz de ser utilizada em atividades didáticas e de pesquisa no laboratório de materiais do câmpus.

Referência ao fomento recebido

A equipe do projeto agradece ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e ao Instituto Federal de Santa Catarina (IFSC) pela disponibilização de bolsas e recursos, por meio do Edital nº 03/2025/PROPPI - PIBITI, que viabilizou a realização das atividades deste projeto de pesquisa.

Referências

CALLISTER, W. D. **Ciência e engenharia dos materiais: Uma introdução**. 7. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

FERREIRA, A. C. et al. **Caracterização de um material metálico sem especificações técnicas do fabricante, através de ensaios mecânicos e análise metalográfica**. Brazilian Journal of Development, Curitiba, v. 6, n. 9, p. 66241-66258, 2020.

JCGM – JOINT COMMITTEE FOR GUIDES IN METROLOGY. **Evaluation of measurement data: guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)**. Paris, 2008.



MORA, N. D. **Apostila de Materiais Elétricos**. Universidade Estadual do Estado do Paraná, Centro de Engenharias e Exatas, Foz do Iguaçu, 2010.