

Técnicas de Metrologia Aplicada à Calibração de uma Balança de Precisão

Rafael Lucas Machado Pinto (UFOP, UFMG) rafaelucas@gmail.com

Michele Lisboa Silveira (UFMG) michelesilveira1991@gmail.com

Bárbara Cristina Mendanha Reis (UFMS, UFMG) barbara.mendanha@ufms.br

Natália Fernanda Santos Pereira (UFMG) natsantos23@gmail.com

Juan Carlos Horta Gutiérrez (UFMG) horta@demec.ufmg.br

Resumo:

O conhecimento e aplicação das técnicas de metrologia é fundamental no setor acadêmico e empresarial, pois permite obter maior precisão dos dados analisados. Programas de certificação e normalização garantem visibilidade à organização e demonstram a capacidade do sistema produtivo em atender aos requisitos dos clientes internos e externos. Trata-se de uma área de atuação do Engenheiro de Produção aplicada para planejamento, garantia e controle da qualidade. Neste trabalho será apresentado um procedimento para calibração de uma balança analítica marca GEHAKA modelo B200. O procedimento de medições das massas-padrão consistiu no estudo de 10 pontos ao longo da faixa de medição (que para esta balança varia de 0 a 200g). Cada um destes pontos equivale uma medição, no qual foi repetida 5 vezes em iguais condições, de forma que uma massa padrão ou da combinação entre elas alcançasse a massa do ponto desejado. Para cada um destes pontos, foram obtidos a tendência, a incerteza padrão, os graus de liberdade e a repetitividade. Estas informações foram utilizadas para se obter a curva de erros da balança. Por meio do balanço de incertezas para cada ponto analisado, foi sistematizado um procedimento para estimar a correção combinada e a incerteza expandida associadas ao processo de medição, onde mais de uma fonte de incertezas esteja envolvida. Por fim, foi gerado o relatório de calibração para este instrumento de medição.

Palavras chave: calibração, balança, medição, metrologia

Metrology Techniques Applied to the Calibration of a Precision Balance

Abstract

The knowledge and application of metrology techniques is fundamental in the academic and business sector, since it allows obtaining greater accuracy of the analyzed data. Certification and standardization programs ensure visibility to the organization and demonstrate the ability of the production system to meet internal and external customer requirements. It is an area of activity of the Production Engineer applied to planning, guarantee and quality control. In this work a procedure will be presented for calibration of a GEHAKA model B200 analytical balance. The measurement procedure of the standard masses consisted of the study of 10 points along the measurement range (which for this balance varies from 0 to 200g). Each of these points equals a measurement, in which it was repeated 5 times in equal conditions, so that a standard mass or the combination between them reached the mass of the desired point. For each of these points, the trend, the standard uncertainty, the degrees of freedom and the repeatability were obtained. This information was used to obtain the error curve of the scale. By means of the uncertainty balance for each analyzed point, a procedure to estimate the combined correction and the expanded uncertainty associated with the measurement process was systematized, where more than one source of uncertainties is involved. Finally, the calibration report for this measuring instrument was generated.

Key-words: calibration, scale, measurement, metrology.

1. Introdução

De acordo Albertazzi (2008), a medição é uma operação antiquíssima e de fundamental importância para diversas atividades do ser humano. Transações comerciais, manufatura de bens e a intercambialidade somente tornaram-se possíveis em função da utilização de processos de medição. Medir é o procedimento experimental pelo qual o valor momentâneo de uma grandeza física (mensurando) é determinado (comparado) como um múltiplo e/ou uma fração de uma unidade, estabelecida por um padrão, e reconhecida internacionalmente. A operação de medição é realizada por um instrumento de medição ou, de uma forma mais genérica, por um sistema de medição (SM).

Segundo Abackerli *et al.* (2015), autores como Armand Feigenbaum e Philip Crosby, considerados referências na área de qualidade, caracterizam o tema por meio da abordagem em relação às especificações, bem como pelo seu cumprimento. Considerando os bens de consumo, de capital ou bens tangíveis em geral, produzidos com qualidade, existe a necessidade do controle das especificações desses bens. Esse controle demanda o uso dos sistemas de medição. Já pela visão de Willian Deming, Kaoru Ishikawa e Genichi Taguchi é possível verificar explicitamente a menção à previsibilidade, à variabilidade e à medição de perdas aos clientes, o que também leva à eventual necessidade da existência de sistemas capazes de mensurar a qualidade visando a sua avaliação, o seu acompanhamento e à busca por melhoria contínua.

A norma ISO 9001:2008, que é um modelo brasileiro para gestão da qualidade, apresenta recomendações que visam garantir a qualidade dos produtos por meio das medições como, por exemplo, tópicos relacionados à aquisição de produtos (inspeção e verificação do produto por meio de medição e ensaios), recebimento (monitoramento e medição de processos e de produtos não conforme) e de manufatura (controle de equipamento de monitoramento e medição, controle de produção e melhoria contínua). Desta forma, Carpinetti *et al.* (2011) enfatizam que é essencial e necessário a aplicação da metrologia no controle da execução dos requisitos ditados pela qualidade.

Para Albertazzi (2008), o resultado de uma medição deve ser capaz de exprimir o grau de confiança a que é depositado pelo experimentador, sendo impossível obter uma indicação exata. O erro provável envolvido deve sempre ser informado por meio de um parâmetro denominado incerteza. Um sistema de medição (SM) de boa qualidade deve ser capaz de operar com pequenos erros. Seus princípios construtivos e operacionais devem ser projetados para minimizar erros sistemáticos e aleatórios ao longo da sua faixa de medição, nas suas condições de operação nominais.

Entretanto, por melhores que sejam as características de um SM, este sempre apresentará erros, seja por fatores internos, seja por ação das grandezas de influência externas. A perfeita caracterização das incertezas associadas a estes erros é de grande importância para que o resultado da medição possa ser estimado de maneira segura.

Por meio do procedimento experimental denominado calibração é possível correlacionar os valores indicados pelo sistema de medição e sua correspondência com a grandeza sendo medida. Esta operação é extremamente importante e é realizada por um grande número de entidades credenciadas espalhadas pelo país.

Segundo Albertazzi (2008), a calibração é um procedimento experimental por meio do qual são estabelecidas, sob condições específicas, as relações entre os valores indicados por um instrumento de medição ou sistema de medição ou valores representados por uma medida

materializada ou um material de referência, e os valores correspondentes das grandezas estabelecidos por padrões.

O resultado de uma calibração permite tanto o estabelecimento dos valores do mensurando para as indicações, como a determinação das correções a serem aplicadas. Uma calibração também pode determinar outras propriedades metrológicas como, por exemplo, os efeitos das grandezas de influência sobre a indicação, ou o comportamento metrológico de sistemas de medição em condições adversas de utilização

Logo, o objetivo deste trabalho foi apresentar um procedimento para calibração de uma balança analítica de precisão. Dessa forma, na seção 2 é apresentada os objetivos geral e específicos do trabalho, na seção 3 é caracterizado os procedimentos metodológicos. Na mesma seção foram descritos os dados coletados e o memorial de cálculo para calibração. Na seção posterior foram discutidos os resultados detalhando-se os cálculos de medição, as incertezas e curvas de erro. Por fim, na seção 5 são apresentadas as conclusões, limitações da pesquisa, bem como as perspectivas para trabalhos futuros. Este estudo relaciona-se com a atuação do engenheiro de produção voltado para a subárea engenharia da qualidade, com foco em gestão de sistemas da qualidade, confiabilidade de processos, normalização, auditoria e certificação para a qualidade.

2. Objetivos

O objetivo geral do presente trabalho é apresentar as etapas do procedimento de calibração de uma balança analítica pertencente ao laboratório de metrologia do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Minas Gerais. Para alcançá-lo foram traçados objetivos específicos, a saber: planejamento do procedimento de coleta de dados para calibração da balança; execução de um procedimento sistematizado e padronizado para levantamento das medições feitas a partir de cada massa padrão ou de suas combinações; realização do experimento de calibração com base nos princípios e fundamentos da metrologia e emissão de um certificado de calibração com as informações técnicas da balança, das massas padrões utilizadas com os resultados de medições calculados.

3. Procedimentos Metodológicos

3.1. Classificação metodológica da pesquisa

Segundo Medeiros (2006) a pesquisa científica tem como objetivo contribuir para a evolução do conhecimento humano em todos os setores, da ciência pura, ou aplicada; da matemática ou da agricultura, da tecnologia ou da literatura. A Figura 1 ilustra alguns critérios de classificação da pesquisa científica em Engenharia de Produção, como proposto por Turrioni e Mello (2012).

Do ponto de vista da natureza da pesquisa, trata-se de uma pesquisa aplicada, pelo seu interesse prático, no qual o conhecimento teórico adquirido durante a revisão bibliográfica é utilizado na realidade da empresa para solucionar os problemas encontrados.

Quanto aos objetivos, caracteriza-se como exploratória, pois, conforme Medeiros (2006), esse modelo visa proporcionar maior familiaridade com um problema a fim de torná-lo mais explícito ou construir hipóteses, e tem como objetivo o aprimoramento de ideias. Pode-se utilizar levantamento bibliográfico, documental e observação direta intensiva. A pesquisa tem uma abordagem quantitativa, pois, de acordo com Turrioni e Mello (2012), a interpretação

dos fenômenos e requer o uso de recursos de coleta de dados e de técnicas estatísticas, de forma a quantificar o estudo para classificação e análise. Relativo ao método, a pesquisa pode ser classificada como um experimento, pois o deseja-se analisar a influência de um determinado conjunto de variáveis no objeto de estudo, bem como formas de controle e observação dos efeitos que estas variáveis produzem no objeto de estudo.

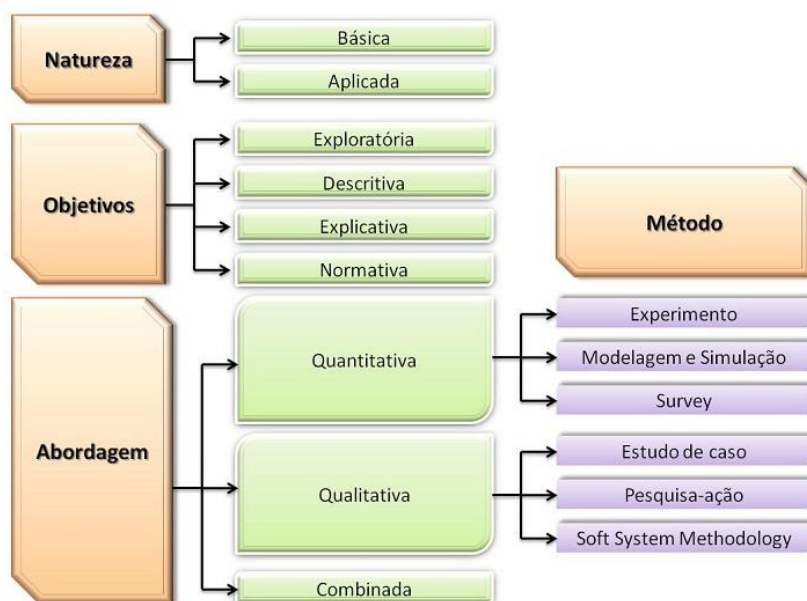


Figura 1- Classificação da pesquisa científica em Engenharia de Produção.
Fonte: adaptado de Turrioni e Mello (2012).

3.2. Descrição dos dados coletados

A partir da faixa de medição da balança, que varia de 0 a 200g, definiu-se quais seriam os pontos analisados, sendo adotados diferentes blocos de massa padrão, ou a combinação entre eles para se alcançar a massa desejada de determinado ponto. Estes blocos são um conjunto de massas padrão fabricados em aço inox, com densidade de 7800kg/m^3 , confeccionados no laboratório de usinagem da UFMG, e calibrados no laboratório de metrologia do CETEC-MG. Na Figura 2 observa-se o conjunto de blocos padrão utilizados no experimento. A Tabela 1 ilustra dados de calibração dos blocos padrão de massa, onde constam o valor nominal (VVC) e a incerteza expandida para um nível de confiança de 95% ($U_{95}(k2)$) utilizados nos experimentos. A Tabela 2 retrata algumas informações técnicas coletadas sobre a balança.



Figura 2: Blocos de massa padrão utilizados no experimento

Massa Padrão	Valor Nominal (g)	Incertezas U_{95} (K=2)
MP1	10,39301	0,000037
MP2	20,35210	0,000047
MP3	40,56631	0,000068
MP4	78,93071	0,00012
MP5	101,62572	0,00011

Tabela1: dados de calibração para os pesos de massa padrão

Informações Técnicas Balança	
Marca	Balança Gehaka modelo B200.
Número de Série	10.989.385.9
Resolução	0,1mg
Incremento Digital (ID)	1mg
Faixa de Medição (FM)	0 a 200g

Tabela 2: informações técnicas da balança

Segundo Albertazzi (2008), costuma-se selecionar dentro da faixa de medição do SM (sistema de medição) um número limitado de pontos, normalmente regularmente espaçados, e estimar a (tendência) e Re (repetitividade) para cada um destes pontos. Tipicamente são usados em torno de 10 pontos na faixa de medição. Neste trabalho, foram adotados 10 pontos. Cada um destes pontos será medido 5 vezes sob as mesmas condições de repetitividade, com o objetivo de se avaliar os erros aleatórios e sistemáticos. A Tabela 3 apresenta o resultado de todas as medições realizadas para os blocos de massa padrão.

Medições massa padrão (n)	10 g	20 g	40 g	60 g	80 g	100 g	120 g	140 g	160 g	180 g
1	10,395	20,355	40,57	60,925	78,936	101,631	121,989	142,199	162,556	180,57
2	10,394	20,355	40,57	60,923	78,935	101,631	121,988	142,2	162,556	180,566
3	10,395	20,355	40,569	60,923	78,936	101,631	121,986	142,202	162,554	180,569
4	10,394	20,354	40,571	60,924	78,936	101,633	121,986	142,202	162,555	180,568
5	10,395	20,354	40,57	60,924	78,935	101,634	121,984	142,201	162,555	180,567

Tabela 3: resultados da medições realizadas

Foi utilizado o software Microsoft Excel 2013 para estruturar, organizar e elaborar os cálculos relativos à calibração. Será emitido o certificado de calibração da balança, contendo as informações relativas aos cálculos de calibração.

3.3. Memorial de cálculo para a calibração de uma balança analítica

O memorial de cálculo é constituído de 3 partes, a saber: Inicialmente, detalhou-se os cálculos para a realização do experimento com bloco padrão de 10g. Logo em seguida, apresentou-se (Anexo I) os resultados obtidos para os conjuntos sequenciais preparados para medições para verificação da linearidade da balança, na seguinte ordem: 10g; 20g; 40g; 60g; 80g; 100g; 120g; 140g; 160g; 180g. Por fim, gerou-se o Certificado de Calibração da Balança;

4. Resultados

4.1. Detalhamento dos cálculos para a realização do experimento com bloco padrão de 10g.

Optar-se-á pela apresentação detalhada do experimento para o ponto com bloco padrão de 10g. A Tabela 4 ilustra a obtenção da incerteza padrão para este ponto. De acordo com Albertazzi (2008), é possível calcular a incerteza padrão a partir da incerteza expandida dividindo esta última por um parâmetro conhecido como fator de abrangência. A Equação 1 representa esta relação. O valor do fator de abrangência para os blocos padrão é $K=2$.

$$U_{95} = K_{95} * u \quad (1)$$

Onde:

U_{95} - incerteza expandida;

K_{95} - fator de abrangência;

u - incerteza padrão

Massa (g)	10
Valor nominal (g)	10,39301
Incerteza Expandida (g)	0,000037
Incerteza Padrão (g)	0,0000185

Tabela 4: Cálculo da Incerteza Padrão para o bloco padrão de 10g.

A Tabela 5 ilustra o procedimento de cálculo para obtenção da tendência e repetitividade nesta balança para o ponto com bloco padrão de 10g. A Coluna “VV” refere-se ao valor verdadeiro, que é referente ao valor nominal emitido pelo certificado de calibração dos pesos de massa padrão. A coluna “Indicação” refere-se às cinco repetidas medições realizadas sob as mesmas condições. A coluna “erro” que é caracterizado como a diferença entre o valor da indicação do SM e o valor verdadeiro do mensurando, expresso pela Equação 2.

$$E = I - VV \quad (2)$$

Onde:

E – erro de medição;

I – indicação;

VV – valor verdadeiro

Erro sistemático é a parcela do erro que se repete quando uma série de medições é efetuada nas mesmas condições. Numericamente corresponde à média de um número infinito de medições do mesmo mensurando, efetuadas sobre condições de repetitividade, menos o valor verdadeiro do mensurando. Em termos práticos, adota-se a tendência como estimativa do erro sistemático. Para o cálculo da tendência, foi utilizada a Equação 3.

$$T_d = MI - VVC \quad (3)$$

Onde:

T_d – tendência;

MI - média das indicações do SM;

VV – valor verdadeiro

Quando uma medição é repetida diversas vezes, nas mesmas condições, observam-se variações nos valores obtidos. Em relação ao valor médio, nota-se que estas variações ocorrem de forma imprevisível, tanto para valores acima do valor médio, quanto para abaixo. Este efeito é provocado pelo erro aleatório (E_a). O erro aleatório distribui-se em torno do valor médio das indicações. É possível isolar seu valor individual para uma determinada medição. A coluna “erro aleatório” foi calculada utilizando-se a Equação 4.

$$E_{ai} = I_i - MI \quad (4)$$

Onde:

E_{ai} - erro aleatório da i-ésima indicação;

I_i - valor da i-ésima indicação individual

MI - média das indicações do SM

A *incerteza padrão* (u) de um dado efeito aleatório corresponde à estimativa equivalente a um desvio padrão da ação deste efeito sobre a indicação. Suponha que a variável aleatória q represente os efeitos de uma fonte de incertezas sobre o resultado da medição. O desvio padrão experimental desta variável q é determinado a partir de "n" valores independentemente obtidos para a variável q , isto é, q_k (para $k = 1, 2, \dots, n$). A Equação 5 representa o cálculo do desvio padrão para esta variável aleatória. A incerteza padrão foi obtida através da Equação 5.

$$s(q) = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^n (q_k - \bar{q})^2}{n-1}} \quad (5)$$

A Repetitividade especifica a faixa de valores dentro da qual, com uma probabilidade estatística definida, se situará o valor do erro aleatório da indicação de um SM, para as condições em que a medição é efetuada. Neste trabalho, adotou-se um nível de confiabilidade de 95, 45%. A Equação 6 representa fórmula para se obter a repetitividade.

$$R_e = t \cdot s \quad (6)$$

Onde:

R_e - faixa de dispersão dentro da qual se situa o erro aleatório (neste estudo, adotou-se uma probabilidade de 95,45%);

t = é o coeficiente “t” de Student;

s = desvio padrão experimental da amostra de n medidas

O número de graus de liberdade (n) é calculado como o número de dados usados para estimar o desvio padrão experimental (n) menos um, representado pela Equação 7.

$$v = n - 1 \quad (7)$$

Neste caso, o número de graus de liberdade é $v = 5 - 1 = 4$. Já o coeficiente $t_{95,45\%; gl=4} = 2,869$. Com tal parâmetro e aplicando-se a Equação (6), obtém-se uma estimativa para a repetitividade.

N	VV (g)	Indicação (g)	Erro (g)	Bloco padrão de 10 g		Incerteza Padrão	Graus de Liberdade	Coef. t	Repetitividade
				Tendência (g)	Erro Aleatório (g)				
1	10,39301	10,3950	0,00199	0,00159	0,0004	0,00054772	4	2,869	0,001571416
2	10,39301	10,3940	0,00099		-0,0006				
3	10,39301	10,3950	0,00199		0,0004				
4	10,39301	10,3940	0,00099		-0,0006				
5	10,39301	10,3950	0,00199		0,0004				
Média	10,39301	10,3946		-	-	-	-	-	-

Tabela 5: tendência e da repetitividade Padrão para o bloco padrão de 10g.

O Anexo 1 ilustra o certificado de calibração da balança que apresenta os resultados encontrados para os demais pontos de medição, semelhante ao que foi feito para o bloco padrão de 10g. Este certificado resume todos os cálculos realizados.

4.2. Apresentação do balanço de incertezas para o bloco padrão de 10g.

O balanço de incerteza busca sistematizar o procedimento para estimar a correção combinada e a incerteza expandida associadas a um processo de medição onde mais de uma fonte de incertezas esteja envolvida. De acordo com Albertazzi (2008), em linhas gerais, o procedimento de avaliação da incerteza expandida e correção combinada de um processo de medição pode ser organizado nos seguintes passos:

1. Analise o processo de medição. Procure entender claramente os princípios envolvidos e os procedimentos adotados para chegar ao resultado da medição.
2. Faça um levantamento de todas as fontes de incertezas que possuem influência sobre o processo de medição. Não descarte *a priori* fontes de incertezas que aparentemente não tenham influência significativa sobre o processo. Disponha cada fonte de incertezas em uma linha diferente da tabela.
3. Procure, para cada fonte de incertezas estimar os efeitos sistemáticos e aleatórios. Lembre-se que efeitos sistemáticos não conhecidos ou não compensados devem ser considerados como efeitos aleatórios. Estime e transponha para cada linha correspondente da tabela os valores estimados para a correção e os dados que permitam a estimativa da respectiva incerteza padrão, como o tipo de distribuição. Informe também o respectivo número de graus de liberdade. Mantenha uma memória de cálculo com as informações e considerações que levaram àquelas estimativas.
4. Calcule a correção combinada através da Equação 8 somando algebricamente os valores da coluna de correção.

$$C_c = \sum_{k=1}^p C_k \quad (8)$$

Onde:

C_K - representa a correção associada à k-ésima fonte de incerteza;

p - é o número de fontes de incertezas considerado;

C_C -representa a correção combinada das “p” fontes de incertezas.

5. Calcule os valores das incertezas padrão de cada fonte de incertezas. Calcule a incerteza padrão combinada usando a equação 8 e transponha o resultado na coluna de incerteza padrão da linha correspondente.

6. Calcule o número de graus de liberdade efetivos através da Equação 9 e transponha o resultado para a coluna de graus de liberdade da linha correspondente.

$$\frac{u_c^4}{v_{ef}} = \frac{u_1^4}{v_1} + \frac{u_2^4}{v_2} + \dots + \frac{u_p^4}{v_p} \quad (9)$$

Onde:

u_c - é a incerteza padrão combinada;

$u_1, \dots, u_p$ - são as incertezas padrão de cada uma das “p” fontes de incerteza;

$v_1, \dots, v_n$ - são os números de graus de liberdade de cada uma das “p” fontes de incerteza;

v_{ef} - é o número de graus de liberdade efetivo associado à incerteza padrão combinada.

7. Estime a incerteza expandida através da Equação 10.

$$U_{95,45\%} = K_{95,45\%} * u_c \quad (10)$$

Onde:

u_c - é a incerteza padrão combinada;

$K_{95,45\%}$ - é o fator de abrangência adotado, considerando o nível de confiança de 95,45%;

$U_{95,45\%}$ - representa a incerteza expandida para o nível de confiança 95,45%;

A incerteza expandida é o intervalo dentro do qual, para uma probabilidade de 95%, espera-se encontrar a componente aleatória dos erros de um processo de medição (Albertazzi, 2008). O fator de abrangência, para os 6 graus de liberdade encontrados por meio dos cálculos, é 2,517. A incerteza expandida pode ser calculada multiplicando-se a incerteza padrão combinada por 2,517, representado pela Equação 11.

$$U_{expandida} = 2,517 \times 0,6194 = 1,559 \text{ mg} \quad (11)$$

A Tabela 6 ilustra o resultado do balanço de incertezas para o ponto com peso de massa padrão de 10g.

BALANÇO DE INCERTEZAS - Ponto: 10g - Unidade: mg							
Fontes de incertezas		Efeitos sistemáticos		Efeitos aleatórios			
Símbolo	Descrição	Correção	VB	Distribuição	Fator de redução	u	v
AL	Acurácia Limitada	-1,59	0,547722558	Normal	1	0,547722558	4
EA	Erro de Arredondamento	0	0,5	Retangular	1,732050808	0,288675135	∞
CM	Calibração da massa padrão	0	0,037	Normal	2	0,01850000	∞
MA	Massa do ar deslocado	-1,593621515	0,010766092	Retangular	1,732050808	0,00621581	∞
Cc	Correção combinada	-3,1836215					
Uc	Incerteza combinada			Normal		0,61944670	6,543848986
U	Incerteza expandida			Normal		1,55914736	

Tabela 6: balanço de incertezas para o peso de massa padrão de 10g.

4.3. Expressão do Resultado de Medição

Com esses parâmetros é possível calcular o valor da correção da balança (CB) e sua respectiva incerteza para a massa padrão de 10g, representado pela Equação 12.

$$C_B = (M_p + C_c) - \bar{I} \pm U \quad (12)$$

Onde:

$\bar{I}$: média de um número finito de indicações

$$C_B = (10,39301 - 0,00318) - 10,3946 \pm 0,001591$$

$$C_B = (-0,0048 \pm 0,0016) \text{ g}$$

3.7. A curva de erros

De acordo com Albertazzi (2008), os valores estimados para a tendência e repetitividade de um sistema de medição normalmente são obtidos para vários pontos ao longo da sua faixa de medição. Estes valores podem ser representados graficamente, por meio de um gráfico denominado de curva de erros, facilitando a visualização do comportamento metrológico do SM nas condições em que estas estimativas foram obtidas.

Para cada ponto medido, a tendência é representada pelo ponto central ao qual adiciona-se e subtrai-se a repetitividade. Caracteriza-se assim a faixa de valores dentro da qual estima-se que o erro do SM estará para aquele ponto de medição. Na prática, este levantamento é muito importante para a correta compensação de erros e estimação do denominado resultado de uma medição.

O Gráfico 1 representa a curva de erros esboçada utilizando-se os dados relativos a tendência (Td) e repetitividade (Re) para os pontos de calibração adotados neste experimento e representados por meio das Tabelas 1 a 6. Nota-se que o erro máximo foi 0,0161g.

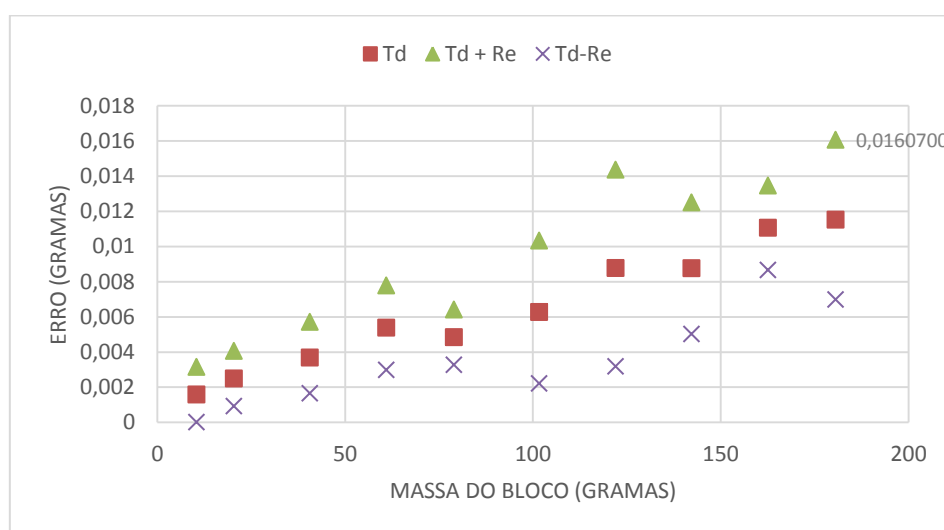


Gráfico 1: Curva de erros proveniente da calibração da balança.

5. Conclusões

Este trabalho foi importante para fixação e aplicação dos conceitos de metrologia. Balanças de precisão e outros instrumentos de medição devem portar certificados de calibração atualizados, garantindo medições precisas e assim, eliminando erros provenientes dos valores apresentados durante a medição. Muitas vezes os certificados de calibração acompanham o produto quando o mesmo é comprado, mas estes certificados possuem prazos de validade, por isso é importante saber como funciona um memorial de cálculo para emitir um novo certificado. O passo a passo dos cálculos para obtenção de um certificado de calibração de massas padrão mostrado neste trabalho pode ser utilizado para outras balanças. A partir do balanço de incertezas variáveis importantes de medida foram aplicadas, como correção, incerteza de correção e incerteza expandida, conceitos estes, que muitas vezes passam despercebidos, mas que garantem maior precisão para disposição de dados como a massa de um material em uma balança de precisão. A curva de erros apresentou um valor máximo de $\pm 0,016$ g. Como proposta para trabalhos futuros, apresentar o uso do certificado de calibração para a obtenção do resultado de medição de um objeto de massa desconhecida.

Referências

ABACKERLI, A. J.; PEREIRA, P. H.; OLIVEIRA, M. C.; MIGUEL, P. A. C. *Metrologia para a Qualidade*. Editora Elsevier. Rio de Janeiro, RJ, 2015.

ALBERTAZZI, G. Jr., A.; DE SOUZA, A. R. *Fundamentos de Metrologia Científica e Industrial*. Editora Manole. São Paulo, SP, 2008.

CARPINETTI, L. C. R.; GEROLAMO, M. C.; MIGUEL, P. A. C. *Gestão da Qualidade ISO 9001:2008: princípios e requisitos*. São Paulo: Atlas, 2011.

MEDEIROS, J. B. *Redação Científica: a prática de fichamentos, resumos, resenhas*. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2006.

NBR ISO 9001:2008. *Sistema de gestão da qualidade – requisitos*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2008.

TURRIONI, J.B.; MELLO, C. H. P. *Metodologia de pesquisa em engenharia de produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas*. Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Itajuba, 2012.

Anexo I

Certificado de Calibração N°NNN

Data: 08/05/2018

Validade de calibração: 24 meses

1. Contratante: UFMG

2. Contratado:

3. **Objetivo:** Calibração de uma balança analítica, afim de conhecer as características metrológicas e compará-los com as especificações do fabricante.

4. Sistema de medição calibrado

Proprietário: Escola de Engenharia da UFMG **Fabricante:** Gehaka **Modelo:** BG200 N° Série: 10.989.385.9
Faixa de medição: 0,01 a 200g Resolução: 0,001 g

a) Síntese desta calibração

Conforme procedimento interno de calibração, o erro máximo encontrado pela balança foi de $\pm 0,016$ g.

5. Padrão utilizado

O sistema calibrado consiste de cinco blocos padrão em aço inoxidável de fabricação caseira. O padrão usado nestes bloco padrão foi a Balança de precisão Satorius (Göttingen/Alemanha), Rastreável conforme Certificado n° 9768 - CETEC 2006. Pesos Padrão classe E1. Densidade dos blocos padrão: 7800 Kg/m³.

As Incertezas destes Pesos Padrão estão representado na Tabela a seguir

VVC	Incetezas
Valor Nominal [g]	$U_{95} (k = 2)$ [g]
10,39301	0,000037
20,35210	0,000047
40,56631	0,000068
78,93071	0,00012
101,62572	0,00011

Rastreabilidade: Rastreáveis conforme Certificado n° 8675 CETEC 2007.

6. Procedimento interno de calibração.

Definiu-se 10 pontos de medição pertencentes à faixa de medição do sistema de medição, que são: 10g; 20g; 40g; 60g; 80g; 100g; 120g; 140g; 160g; e 180g. Para cada ponto foram realizadas 5 medições afim de registrar a repetitividade (95,45%) da balança.

7. Condições ambientais durante a calibração:

Temperatura: $(24,0 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$

8. Tabela de Resultados

Tabela de Resultados						
Valor Nominal(g)	Média das Indicações(g)	Correção(g)	Incerteza da correção $\pm$ (g)	Repetitividade $\pm$ (g)	Graus de Liberdade efetivo	Incerteza Expandida (g)
10,3930	10,3946	-0,0032	0,0006	0,0016	6	0,0016
20,3521	20,3546	-0,0056	0,0006	0,0016	6	0,0016
40,5663	40,5700	-0,0099	0,0008	0,0020	5	0,0020
60,9184	60,9238	-0,0147	0,0009	0,0024	5	0,0023
78,9308	78,9356	-0,0170	0,0006	0,0016	6	0,0016
101,6257	101,6320	-0,0219	0,0014	0,0041	4	0,0041
121,9778	121,9866	-0,0275	0,0020	0,0056	4	0,0057
142,1920	142,2008	-0,0306	0,0013	0,0037	4	0,0038
162,5441	162,5552	-0,0360	0,0009	0,0024	5	0,0024
180,5565	180,5680	-0,0392	0,0016	0,0045	4	0,0046

Observações: o valor da correção deve sempre ser somado à indicação.

Erro máximo da balança nas condições de calibração: Não aplicando a correção: $\pm 0,016$ g

Responsável técnico

Belo Horizonte, 08 de maio de 2018