

A INCERTEZA DE MEDIÇÃO DE PESO DE 500 kg NO LABORATÓRIO DE MARINGÁ DO IPEM/PR

1. Maciel, M. A. D.

1. Chefe do laboratório de Maringá do IPEM

Resumo. Os laboratórios acreditados pela CGCRE/INMETRO pertencem a Rede Brasileira de Calibração (RBC) ou a Rede Brasileira de Laboratórios de Ensaio (RBLE). Estes laboratórios devem apresentar as incertezas dos resultados de medição de todas as suas calibrações e tipos de calibrações. Esta exigência está descrita no item 7.6 da Norma ABNT ISO/IEC 17025: 2017. O objetivo deste trabalho é apresentar as componentes da incerteza da calibração de um peso de 500 kg do Laboratório de Maringá do IPEM-PR – LAMAR dentro da faixa do escopo acreditado de calibrações de Pesos Padrão de 50 kg até 2.000 kg e Balanças até 120 kg, bem como medição de massa de peças diversas de 50 kg até 2.000 kg.

1. INTRODUÇÃO

O LAMAR realiza calibrações de Pesos Padrão de 50 kg até 2.000 kg, Balanças até 120 kg e medição de massa de peças diversas de 50 kg até 2.000 kg, utilizando o método de comparação direta com padrões calibrados e rastreados ao Sistema Internacional de Unidades – SI. Estes serviços são acreditados pela CGCRE/INMETRO sob o número 129 desde 13 de dezembro de 1999.

Além disso, o LAMAR executa calibrações de Pesos Padrão e medição de massa de peças diversas na faixa de 2.000 kg até 5.000 kg.



Fig. 01 – Vista parcial do Laboratório de Maringá

Rede Brasileira de Calibração - RBC

| | |
|-------------------------------|--|
| Consulta <input type="text"/> | |
| Acreditação Nº | 129 |
| Data da Acreditação | 13/12/1999 |
| ACREDITAÇÃO VIGENTE | Clique aqui para mais informações. |
| Última Revisão do Escopo | 27/05/2015 |
| Razão Social | Instituto de Pesos e Medidas do Estado do Paraná - IPEM / PR |
| Nome do Laboratório | Laboratório de Maringá |
| Situação | Ativo |
| Endereço | Rua Pioneiro Carlos Burian, 190 |
| Bairro | Parque Industrial II |
| CEP | 87065190 |
| Cidade | Maringá |
| UF | PR |
| Telefone | (44) 3266 2443-R 34 |
| Fax | (44) 3266 2443-R 26 |

ESCOPO DA ACREDITAÇÃO - ABNT NBR ISO/IEC 17025 - CALIBRAÇÃO

| Descrição do Serviço | Parâmetro, Faixa e Método | Capacidade de Medição e Calibração (CMC) |
|---|---------------------------|--|
| (Realizados nas instalações permanentes) | | |
| MEDIDAS DE MASSA | | |
| Medição de Massa de Peças Diversas | 50 kg até 2000 kg | 0,20 g até 130 g |
| | 50 kg até ≤ 2000 kg | 0,2 g até 130 g |
| | > 2000 kg até 5000 kg | 130 g até 370 g |
| PADRÕES DE MASSA | | |
| Peso Padrão | 50 kg | 0,20 g |
| | 100 kg | 4,65 g |
| | 200 kg | 9,2 g |
| | 500 kg | 18,4 g |
| | 1000 kg | 70 g |
| | 2000 kg | 130 g |

Fig.02 – Escopo parcial do laboratório de massa

2. PRINCÍPIO DE MEDIÇÃO

O método comumente utilizado na determinação da massa de um objeto é comparar a força gravitacional exercida no receptor de carga de uma balança com a força exercida por uma massa de valor conhecido (massa padrão) do mesmo valor.

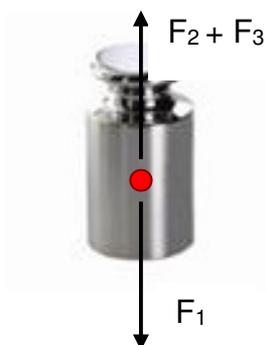


Fig. 03 – Forças que atuam em um corpo em equilíbrio colocado sobre o prato de uma balança. Estas forças são F_1 = peso; F_2 = empuxo do ar; F_3 = força normal do prato da balança sobre o objeto.

A equação de equilíbrio do corpo é descrita como:

$$F_1 - (F_2 + F_3) = 0 \quad (1)$$

Sendo:

$F_1 = m \cdot g$ → é a força gravitacional (peso).

Onde:

m → é a massa do objeto.

g → é a aceleração da gravidade local.

$F_2 = \rho_a \cdot V_{ol} \cdot g$ → é a força do empuxo do ar.

ρ_a → é a densidade do ar.

V_{ol} → é o volume do objeto.

$F_3 = F_1 - F_2$ → é a força normal exercida pelo prato da balança sobre o objeto.

$F_3 = L_b = k \cdot \theta_c$ → é a indicação da balança.

K → é uma constante de proporcionalidade devido a calibração da balança.

θ_c → é a resposta da balança em unidades de massa.

Assim, a indicação da balança é:

$$L_b = m \cdot g - \rho_a \cdot V_{ol} \cdot g \quad (2)$$

A determinação da massa é feita por comparação com um peso de referência com valor de massa conhecido (Peso Padrão).

Combinando a equação (2) aplicada a um Peso Padrão com a correspondente a uma massa desconhecida obtém a seguinte equação:

$$m_x - m_p + \rho_a \cdot (V_{olp} - V_{olx}) = L_{bx} - L_{bp} \quad (3)$$

Obs.: Os subscritos p e x representam o peso padrão e o objeto, respectivamente.

A calibração de pesos das classes E₂, F₁, F₂, M₁, M₁₋₂, M₂, M₂₋₃ e M₃ são realizadas em valor convencional de massa, a recomendação D 28 da OIML[3] define a massa convencional como:

$$m_c \{1 - (\rho_{ac} / \rho_c)\} = m \{1 - (\rho_{ac} / \rho)\} \quad (4)$$

onde:

m_c → é a massa convencional do peso (objeto),

m → é o valor da massa do peso (objeto),

ρ_{ac} → é o valor convencional da densidade do ar $1,2 \text{ kg/m}^3$ nas condições de referência ($20 \text{ }^\circ\text{C}$),

ρ_c → é a densidade do peso de referência 8.000 kg/m^3 ,

ρ → é a densidade do peso (objeto).

Das equações (3) e (4) obtemos a seguinte equação em valores de massa convencional:

$$m_{cx} = m_{cp} - (\rho_a - 1,2) \cdot (V_{olp} - V_{olx}) + \Delta L \quad (5)$$

Onde:

ΔL → é a diferença de massa entre o peso desconhecido e o padrão.

Existem vários métodos de calibração de pesos padrão, neste trabalho será aplicado o método de comparação direta com padrões rastreados, também conhecido como método ABA, o qual é utilizado para calibração de peso como para ajuste de pesos maiores de que 50 kg que são utilizados na verificação de instrumentos de grande capacidade. O método consiste em colocar um peso padrão (A) sobre o prato da balança de mesmo valor nominal do peso cuja massa desejamos calibrar (B) com a finalidade de obter uma diferença de leituras entre ambos os pesos, em três ciclos de medição. As balanças apresentam uma deriva a curto prazo (deriva do zero) cujo efeito é atenuado com a utilização da sequência de calibração ABA.

3. PROCEDIMENTO DA CALIBRAÇÃO

O Laboratório de Maringá na determinação de massa utiliza o método da comparação direta com três ciclos de medição. Este método consiste em comparar a massa a ser calibrada com uma massa padrão, utilizando uma balança comparadora de massa marca Mettler Toledo modelo KE 5000, com resolução de 10 g e reprodutibilidade de 3 g , sendo que a diferença entre o peso padrão e o peso a calibrar foi determinada em 3 ciclos de pesagens comparativas utilizando a seguinte sequência (ciclos) de pesagem:

PADRÃO (P1), OBJETO (O1), PADRÃO (P2).

O número de sequências ou ciclos de medição depende da incerteza exigida, bem como da repetibilidade e da reprodutibilidade da medição. A sequência de medição utilizada é mostrada na tabela 1.

Durante a calibração, as condições ambientais do laboratório foram mantidas estáveis, com a temperatura ambiente, pressão atmosférica e umidade relativa do ar monitoradas com instrumentos calibrados. O padrão e o peso a calibrar foram limpos utilizando um tecido não abrasivo embebido em éter p.a.. Os pesos foram estabilizados termicamente permanecendo por 24 horas na temperatura ambiente de acordo com os procedimentos internos do laboratório.

| LEITURA | Peso sobre o prato da balança |
|----------------|--------------------------------|
| L ₁ | A (peso padrão) – 1º ciclo |
| L ₂ | B (peso a calibrar) – 1º ciclo |
| L ₃ | A (peso padrão) – 1º ciclo |
| L ₄ | B (peso a calibrar) – 2º ciclo |
| L ₅ | A (peso padrão) – 2º ciclo |
| L ₆ | B (peso a calibrar) – 3º ciclo |
| L ₇ | A (peso padrão) – 3º ciclo |

Tabela 1 – leituras no método de comparação direta.

Onde:

L_i → são as leituras da balança em divisões.

Para determinar a diferença de massa entre os pesos é utilizada a seguinte equação:

$$\Delta L = \frac{[L_2 - (L_3 + L_1)/2] + [L_4 - (L_5 + L_3)/2] + [L_6 - (L_7 + L_5)/2]}{3} \quad (6)$$

O modelo matemático para a determinação do valor de massa convencional de um peso está descrito na equação (5), que pode ser expressa em função da densidade dos materiais da seguinte expressão:

$$m_{cx} = m_{cp} \cdot \frac{\left(1 - \frac{\rho_a - 1,2}{\rho_p}\right)}{\left(1 - \frac{\rho_a - 1,2}{\rho_x}\right)} + \Delta L \quad (7)$$

Onde

m_{cx} = massa convencional do peso desconhecido (objeto) em g;

m_{cp} = massa convencional do peso padrão em g;

ρ_a = densidade do ar no laboratório em g/cm³;

1,2 = densidade convencional do ar em g/cm³;

ρ_p = densidade do peso padrão em g/cm³;

ρ_x = densidade do objeto em g/cm³;

ΔL = média das leituras da balança em divisões.

4. FONTES DE INCERTEZA DA MEDIÇÃO DO LABORATÓRIO DE MARINGÁ

A incerteza de medição é calculada de acordo com as orientações do Guia para a Expressão da Incerteza de Medição e NIT-DICLA -021 – Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração, rev.: 09.

a) INCERTEZA DO PROCESSO DE MEDIÇÃO

A fonte de incerteza associada ao desvio padrão das leituras é dada pela repetitividade das indicações (R_e), que é definida pela equação 1:

$$R_e = t.s / 2 \cdot \sqrt{n} \quad 1$$

Onde: R_e – repetitividade das indicações;
t – distribuição de Student;
s – desvio padrão das leituras;
n – número de sequências de leitura.

b) INCERTEZA DOS PADRÕES DE MASSA

A incerteza do padrão de referência, l_P é calculada a partir do certificado de calibração do padrão, dividindo-se a incerteza expandida, normalmente declarada, pelo fator de abrangência (em geral, $k = 2$) de acordo com a equação 2:

$$l_P = \mu / k \quad 2$$

c) ESTABILIDADE DOS PADRÕES DE MASSA EM FUNÇÃO DO TEMPO

A incerteza em relação à deriva da indicação em função do tempo é calculada dividindo-se a incerteza expandida do padrão pelo fator $\sqrt{3}$, de acordo com a equação 3:

$$l_{EP} = \mu / \sqrt{3} \quad 3$$

d) RESOLUÇÃO DO COMPARADOR DE MASSA

Para um instrumento digital, com menor divisão d , a incerteza devido à resolução I_R é dada pela equação 4:

$$I_R = \{ (d/2) / \sqrt{3} \} \quad 4$$

e) INCERTEZA DEVIDO AO EMPUXO DO AR

O laboratório faz a correção do empuxo do ar apenas nos casos em que o cliente solicita que os resultados sejam fornecidos em valores verdadeiros. Caso contrário, essa correção não é feita, e o laboratório fornece os resultados em valores verdadeiros convencionais e a contribuição de incerteza, de acordo com a equação 5, será:

$$I_{EA} = 1 \text{ ppm} / \sqrt{3} \quad 5$$

f) INCERTEZA COMBINADA

A incerteza combinada μ_C é determinada pela soma quadrática das contribuições individuais das fontes de incertezas I_i , e fornece o valor da incerteza de medição para uma probabilidade de abrangência de 68%, de acordo com a equação 6:

$$\mu_C = \sqrt{(\sum I_i^2)} \quad 6$$

g) INCERTEZA EXPANDIDA

A incerteza expandida μ fornece o valor da incerteza combinada multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição t com graus efetivos de liberdade calculado, corresponde a uma probabilidade de abrangência de 95%, de acordo com a equação 7:

$$\mu = \mu_C \cdot K \quad 7$$

A tabela 2 mostra as componentes da incerteza para uma massa de 500 kg de aço inoxidável, e a Figura 4 mostra a composição linear das componentes da incerteza.

| Componente da incerteza | Massa de 500 kg |
|-------------------------|-----------------|
| Repetitividade | 1,4 g |
| Incerteza do padrão | 6,0 g |
| Estabilidade do padrão | 7,0 g |
| Resolução do comparador | 0,5 g |
| Empuxo do ar | 0,5 g |

Tabela 2 – Componentes da incerteza para massa de 500 kg.

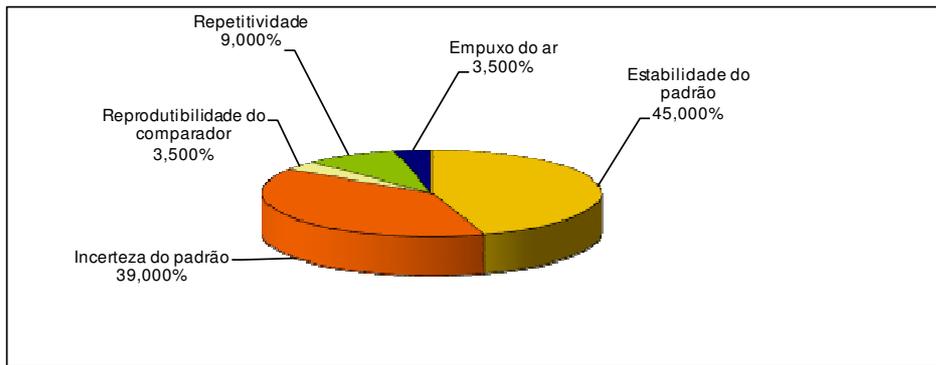


Fig. 4 – Composição linear das componentes da incerteza

5. CONCLUSÃO

O Laboratório de Maringá dispõe de programas que buscam apoiar atividades de prestação de serviços de calibração e fornece assistência técnica para a implementação da metrologia nos processos produtivos das indústrias, contribuindo efetivamente para a disseminação do conhecimento metrológico e atuando numa região de comprovada demanda e que não dispõe de serviços de calibração na mesma grandeza e faixa de medição.

REFERÊNCIAS

- [1] GIACOMO, P. Equation for the determination of the density of moist air. In Metrologia, 18, 1982, p.34 – 40.
- [2] GUIA PARA EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO. 1ª Ed. Rio de Janeiro. Programa RH-Metrologia. 1997. 120 p.
- [3] MACIEL, MARCO A. D. Considerações sobre a rastreabilidade de uma massa de 500 kg. Anais do Encontro Sul Americano de Metrologia. Foz do Iguaçu. 1998.
- [4] METTLER TOLEDO. Fundamentals of mass determination. Greifensee. 1991. 88 p.
- [5] OIML D 28. Conventional value of the result of weighing in air. Paris. 2004.
- [6] OIML R 111-1. Weights of classes E1, E2, F1, F2, M1, M1-2, M2, M2-3, M3. Paris. 2004.