

## Avaliação de desempenho de banhos de calibração em meio líquido com o uso de blocos equalizadores.

Carlos Mike Alves Pessoa Rodrigues<sup>1</sup>, Alexandre Mendes<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ);

<sup>2</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro (IFRJ)

E-mail: carlosmike10@hotmail.com; alexandre.mendes@ifrj.edu.br

**Resumo:** O banho de calibração é vulnerável a erros de medição proveniente do seu gradiente térmico, pois possui sensores que não são capazes de controlar a temperatura de todo volume útil. Existem formas de melhorar seu desempenho, utilizando blocos equalizadores. A importância em fornecer uma região termicamente homogênea e estável gera a necessidade de avaliar sua estabilidade e uniformidade. Este artigo objetiva avaliar a uniformidade de banhos líquidos devido à utilização de blocos equalizadores e estimar a incerteza de medição do gradiente térmico.

**Palavras-chave:** banho de calibração, bloco equalizador, calibração.

**Abstract:** The calibration bath is susceptible to measurement errors arising from their thermal gradient, as has sensors which are not able to control the temperature of the entire working volume. There are ways to improve their performance by using equalizers blocks. The importance of providing a thermally homogeneous and stable region makes it necessary to assess its stability and uniformity. This article aims to evaluate the uniformity of liquid baths due to the use of equalizers blocks and estimate the measurement uncertainty of the thermal gradient.

**Keywords:** calibration bath, equalizer block, calibration.

### 1. INTRODUÇÃO

Todo resultado de medição apresentado por um laboratório está sujeito a um grande número de perturbações que irão influenciar o resultado final, seja por meio de erros ou incertezas de medição. Dada esta importância, é necessário garantir que os medidores de temperatura, tais como: termômetros de líquido em vidro, termopares e termômetros de resistência, correspondam com as suas especificações, mas para isso é necessário conhecer seu comportamento, sua exatidão e incertezas, enfim, calibrá-los.

Segundo a NBR ISO/IEC 17025, todo instrumento de medição utilizado em ensaio e/ou calibração necessita de calibração, inclusive equipamentos auxiliares, devem ser calibrados antes de entrar em serviço.

Todos os equipamentos térmicos utilizados numa calibração necessitam de calibração, exceto o banho líquido. Para entender melhor o que é banho líquido, iremos recorrer à norma ABNT NBR 13770, que define como equipamento eletromecânico com capacidade para criar e manter um meio térmico, formado por um líquido agitado, a uma temperatura controlada. Apesar de não necessitarem de calibração, a ABNT NBR 13770 nos orienta que se deve efetuar a avaliação

da estabilidade e das uniformidades radial e axial, nas diferentes condições de utilização e os valores obtidos deve ser considerado no cálculo da incerteza de medição.

Para uma medição ideal é necessário que o volume do banho seja homogêneo em todo seu volume. O que não ocorre, por diversos fatores. Todo banho de calibração possui um sensor/controlador de temperatura, utilizado com a finalidade de estabilizar a temperatura do banho no valor pré-determinado pelo metrologista (set point). Devido a este sensor estar localizado em um único ponto, não é possível determinar que todo o volume útil do banho esteja à mesma temperatura.

O banho possui agitação para reduzir os efeitos do gradiente de temperatura, mas devido ao meio térmico possuir um grande volume não é possível que toda região esteja à mesma temperatura.

## 2. GRADIENTE TÉRMICO

A literatura metrológica e alguns sites de fabricantes nos mostram que a utilização de blocos equalizadores melhora a uniformidade do banho reduzindo seu gradiente de temperatura. Será que realmente a utilização de blocos equalizadores ajuda na uniformidade de banhos líquidos?

O gradiente térmico é a medida da variação da temperatura espacial, isto é, ao longo do seu volume. Após a estabilidade térmica encontramos uma diferença de temperatura tanto no eixo radial (horizontalmente) quanto no eixo axial (verticalmente). Sua avaliação térmica espacial permite conhecer as variações de temperaturas existentes nos seus diversos pontos e assim estimar o quanto que essas variações afetam a calibração e de que forma podem ser inseridas no cálculo da incerteza final do objeto a ser calibrado.

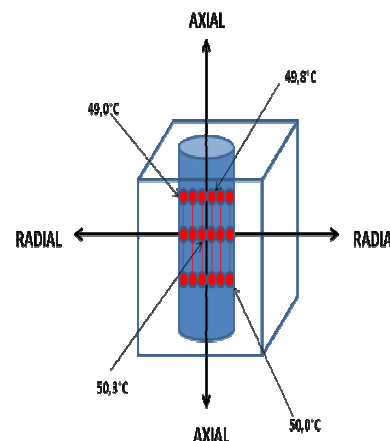


Figura 1: Gradiente de temperatura radial e axial

## 3. CONDUÇÃO TÉRMICA

A condução térmica é uma propriedade física dos materiais que descreve a habilidade desses em conduzir calor, o qual se desloca de uma extremidade a outra através da agitação molecular e nas colisões entre as moléculas donde há transferência de energia, sendo que o calor sempre se movimenta de um corpo de maior temperatura para outro com temperatura inferior. Os materiais com maiores densidades apresentam uma condutibilidade térmica superior aos com densidade inferior, pois quanto menores forem as densidades dos materiais, menos moléculas para propagarem o calor por toda a sua área útil eles terão.

Se uma extremidade de um metal for mantida a uma temperatura de 100°C e a outra a uma temperatura de 20°C, a energia é transportada do lado mais quente para o lado mais frio, a velocidade da condução de energia térmica vai variar quanto maior for à condutividade do material, a diferença de temperatura do ponto de maior temperatura para o de menor temperatura chama-se gradiente de temperatura.

Ao se utilizar um meio térmico para calibração de termômetros, é necessário que o objeto de medição e o padrão estejam em equilíbrio térmico, em toda área útil do banho. Como não é possível eliminar o gradiente de

temperatura, é necessário que sejam conhecidos e minimizados.

Considerando que a condutividade térmica do cobre é de 401,0 W/(m.K) e a condutividade térmica da água é de 0,6 W/(m.K), temos uma grande diferença entre a condutividade térmica dos materiais e com isso uma menor propagação do calor pela água do que pelo cobre.

O meio térmico deve proporcionar a maior homogeneidade térmica possível, de modo ao aquecer/resfriar o banho líquido em toda a sua superfície se comporte de modo homogêneo, sem gerar áreas mais quentes ou mais frias.

A condutividade térmica da água é baixa comparada a de um metal por isso a utilização de blocos equalizadores com o intuito de minimizar os efeitos produzidos por gradientes térmicos.

#### 4. ENSAIO DE UNIFORMIDADE

O objetivo deste procedimento é avaliar o desempenho da uniformidade radial e axial de banhos líquidos devido à utilização de blocos equalizadores. Usaremos como padrão de temperatura um Pt-100 à 4 fios.

O bloco equalizador deve possuir furos, onde os medidores de temperatura irão ser introduzidos e calibrados. No nosso caso, o bloco possuía 6 furos equidistantes radialmente.

A medição iniciou sem a utilização do bloco equalizador, na temperatura de 20°C, o Pt-100 deverá ser posicionado no furo 1, a uma distancia de 2 cm da base do fundo do banho térmico. Foram realizadas dez medições em um intervalo de tempo de um minuto para cada medição. Em seguida repetimos o processo para os pontos 4cm e 10cm de distancia até a base do banho térmico. Passamos para o furo 2 com a repetição de todo o procedimento até chegarmos aos 6 furos. Repetimos o mesmo procedimento, mas agora com o bloco equalizador dentro do banho.

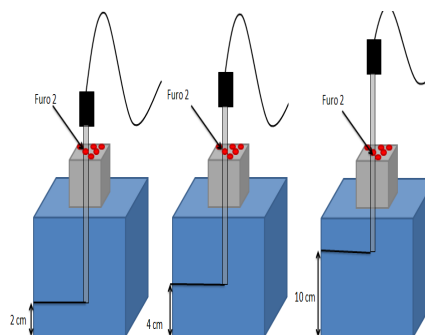


Figura 2: Esquema representativo do ensaio

#### 5. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

##### 5.1 Análise do ganho percentual com a utilização do bloco equalizador.

O maior gradiente de temperatura do banho sem o bloco equalizador, tanto no eixo radial como axial, foi observado na temperatura de 60°C (desvio de 0,10°C). Já o maior gradiente de temperatura do banho com o bloco equalizador, tanto no eixo radial como axial, foi observado nas temperaturas 40°C, 60°C e 80°C (desvio de 0,02°C).

Logo, o percentual de diminuição do gradiente de temperatura (D%) com o uso do bloco equalizador foi de:

$$D\% = \frac{0,10 - 0,02}{0,10} \times 100 = 80\%$$

##### 5.2 Estimativa da incerteza do banho líquido com o uso do bloco equalizador.

As incertezas a seguir estão padronizadas. Utilizando a distribuição uniforme, temos:

⇒ **No eixo radial**

$$u_{radial} = \frac{\Delta T_{radial}}{\sqrt{12}} \quad (1)$$

Onde  $\Delta T_{radial}$  é a maior variação de temperatura no eixo radial.

$$u_{radial} = \frac{0,02}{\sqrt{12}} = 0,006^\circ\text{C}$$

⇒ **No eixo axial**

$$u_{axial} = \frac{\Delta T_{axial}}{\sqrt{12}} \quad (2)$$

Onde  $\Delta T_{axial}$  é a maior variação de temperatura no eixo axial.

$$u_{radial} = \frac{0,02}{\sqrt{12}} = 0,006^{\circ}C$$

### 5.3 Incerteza final devido ao gradiente térmico com bloco equalizador.

$$u_{\text{gradiente térmico}} = \sqrt{u_{axial}^2 + u_{radial}^2} \quad (3)$$

$$u_{\text{gradiente térmico}} = \sqrt{0,006^2 + 0,006^2} = 0,01^{\circ}C$$

Todas as incertezas declaradas acima estão padronizadas. Para apresenta-las com uma probabilidade de 95,45%, basta multiplicá-la pelo fator de abrangência  $k$ , que devido ao grau de liberdade das medições ser infinito, adotaremos  $k = 2$ . Desta forma, a incerteza expandida será dada por:

$$U = k \cdot u \quad (4)$$

No nosso caso:

$$U = 0,02^{\circ}C$$

## 6. CONCLUSÃO

Este artigo procura realizar um estudo da uniformidade térmica de banhos líquidos, medindo seu gradiente de temperatura axial e radial, definindo quantitativamente o quão homogêneo esse meio se encontra, fazendo uma comparação percentual com os valores obtidos com e sem o bloco equalizador.

Tendo em mãos a variação da temperatura (desvios) tanto no eixo axial quanto no eixo radial, foi possível estimar a incerteza de medição do seu gradiente térmico.

Fazendo uma comparação dos resultados da uniformidade, obtidos neste trabalho observou-se que a utilização do bloco equalizador propiciou

uma melhoria percentual de 80% na homogeneidade do meio térmico e com isso podemos concluir que dado um banho líquido para calibração em um laboratório podemos melhorar seu desempenho com a utilização de blocos equalizadores, tornando-o mais homogêneo, reduzindo assim, os efeitos produzidos por gradiente térmicos.

## 7. REFERÊNCIAS

- [1] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 13773: **Termorresistência Industrial de platina – Requisitos e métodos de ensaio.**
- [2] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15970: **Termômetro de líquido em vidro – Calibração.**
- [3] CENTRO NACIONAL DE METROLOGIA. **Guia Técnica sobre trazabilidade e incertidumbre de lâs mediciones em La caracterización térmica de baños y hornos de temperatura controlada.** México: CENAM, 2008.
- [4] HEWWITT, P. G. **Física Conceitual.** Porto Alegre: Bookman, 2011.
- [5] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA. **Avaliação de dados de medição: Guia para expressão de incerteza de medição.** Rio de Janeiro: 2012.
- [6] INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA. **Vocabulário Internacional de Metrologia.** Rio de Janeiro: 2012.
- [7] NASCIMENTO, D. C. M. ; SOUZA, K.C. ARAÚJO, E. A. S. **Levantamento da distribuição de temperatura em meios térmicos.** Recife: SBM, 2003
- [8] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO/IEC 17025: Requisitos gerais de competência de laboratórios de ensaio e calibração.**
- [9] Mendes, Alexandre; Novelino, R. Pedro Paulo. **Metrologia & Incerteza de Medição.** S.P. Editora EPSE, 2005.