

## TERMÔMETRO DIGITAL PROGRAMÁVEL PARA TERMOPARES DE PLATINA NA FAIXA DE 0°C A 1100°C

Slavoljub G. Petkovic<sup>1</sup>, Klaus N. Quelhas<sup>1</sup>, Paulo Roberto F. Santos<sup>1</sup>, Antônio Rafael S. Antunes<sup>2</sup>,  
Paulo Pércio M. Magro<sup>2</sup>, Vinícius Nunes<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Inmetro, Duque de Caxias, Brasil, later@inmetro.gov.br

<sup>2</sup> Presys Instrumentos e Sistemas Ltda, São Paulo, Brasil, eng@presys.com.br

**Resumo:** - Termômetros digitais programáveis para termoresistências existem no mercado há vários anos. Entretanto, quando os sensores são termopares, as memórias eletrônicas normalmente são gravadas com valores de referência, não permitindo a inserção de novos coeficientes.

Uma vez calibrado, o termômetro programável possibilita ao usuário realizar medições em unidade de temperatura, sem a necessidade de se aplicar correções nos valores lidos.

Para programar um termômetro digital simultaneamente com seu respectivo termopar, em uma ampla faixa de temperatura, é necessário que o indicador apresente uma boa linearidade nas medições de tensão elétrica, que o sensor seja estável e suas forças eletromotrizes estejam próximas da função de referência. Tais características garantem que as contribuições das incertezas da equação ajustada e da estabilidade do sensor sejam baixas, justificando a calibração do indicador em conjunto com o termopar.

Como os termopares de metais básicos normalmente apresentam desvios elevados e irregulares para suas tabelas de referência, na faixa de 0°C a 1100°C, inicialmente, a empresa Presys desenvolveu o termômetro digital programável apenas para termopares de platina.

O Inmetro calibrou um desses termômetros em conjunto com um termopar tipo S, pelo método dos pontos fixos, e encontrou incertezas da ordem de  $\pm 0,3^\circ\text{C}$  ( $k=2$ ) — incerteza típica para um termopar de platina, calibrado por pontos fixos no Inmetro, na faixa de 0°C a 1100°C.

A metodologia de calibração, os padrões e instrumentos empregados, os resultados e as características de desempenho são discutidos neste trabalho.

**Palavras chave:** termopar, programável, termômetro digital.

### 1. INTRODUÇÃO

A maioria dos termômetros digitais operam com uma memória eletrônica previamente programada em função da equação de referência do sensor utilizado.

Os sensores de temperatura mais empregados são: termopares e termômetros de resistência de platina.

Quando o termômetro digital é calibrado, os erros ou desvios para a tabela de referência são provenientes tanto do

indicador quanto do sensor. Como a memória eletrônica desse modelo de termômetro não pode ser reprogramada, resta ao usuário aplicar correções às leituras do instrumento.

Com o advento de memórias reprogramáveis, os primeiros termômetros digitais a se utilizarem deste recurso foram aqueles que empregavam como sensor apenas termoresistências [1]. Isto porque era mais simples calcular os novos coeficientes das equações e inseri-los na memória, a fim de obter um instrumento calibrado com incertezas reduzidas.

Uma outra vantagem desses instrumentos sobre os não-programáveis, deve-se ao fato de que as equações utilizadas para termômetros de resistência relacionam uma razão de resistência versus temperatura, permitindo assim uma atualização da calibração ao se reinserir na memória do indicador um valor de resistência medido em uma temperatura de referência. Essa temperatura pode ser a da fusão do gelo (0°C), para termômetros industriais de resistência de platina, ou o ponto triplo da água (0,01°C), para termômetros padrão de resistência de platina.

Já para os termômetros digitais com sensor termopar, essa possibilidade de atualizar a calibração, através da medição de um único ponto fixo não existe. Contudo, é possível monitorar a calibração do termômetro através de comparações com outros padrões, permitindo estabelecer um controle da rastreabilidade das medições ao longo do tempo.

### 2. METODOLOGIA DA CALIBRAÇÃO

#### 2.1. Preparação dos instrumentos

Inicialmente, um termopar de metal nobre tem de ser recozido em alta temperatura, antes de ser calibrado. Um dos métodos é recozer no ar a 1450°C os fios de platina e platina-ródio, por pelo menos uma hora (fig. 1).

A Presys adquiriu um termopar tipo S de uma empresa americana credenciada pela NVLap (rede metrológica local), calibrado na faixa de 0°C a 1100°C. Através do certificado, foi possível comprovar que o termopar era da classe especial — suas forças eletromotrizes estavam próximas aos valores de referência. Sendo assim, não foi necessário realizar o recozimento.



Fig. 1. Pirômetro óptico monitorando a temperatura de recozimento de um termopar

Com relação à calibração do indicador, é importante que as medidas de tensão elétrica possuam pequenas correções na faixa de trabalho e que ele seja linear. Por isso, foram realizadas comparações das medidas em fem entre o termômetro digital e um multímetro de  $7_{1/2}$  dígitos, encontrando diferenças da ordem de décimos de micro Volt.

Na construção termopar, foi empregada uma junção de referência convencional, com imersão de aproximadamente 25 cm, em banho de gelo fundente ( $0^{\circ}\text{C}$ ), acondicionado em vaso dewar (fig.2), evitando o uso de compensação eletrônica.

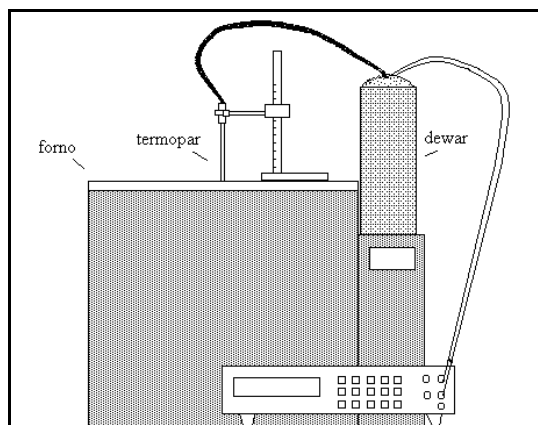


Fig. 2: Esquema de medição de um termopar em uma célula de ponto fixo.

## 2.2. Procedimento de calibração

A calibração de um termômetro digital programável com sensor termopar pelo método dos pontos fixos, na faixa de  $0^{\circ}\text{C}$  a  $1100^{\circ}\text{C}$ , segue, basicamente, o mesmo procedimento de uma calibração de termopar [2,3]. As medições são realizadas da maior para a menor temperatura nos pontos fixos do cobre ( $1084,62^{\circ}\text{C}$ ), prata ( $961,78^{\circ}\text{C}$ ), alumínio ( $660,323^{\circ}\text{C}$ ), zinco ( $419,527^{\circ}\text{C}$ ) e estanho ( $231,928^{\circ}\text{C}$ ), sendo que as leituras das forças eletromotrizes (fems) do termopar são lidas em unidade de tensão elétrica (V) no próprio termômetro digital — os valores de temperatura

estão baseados na Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90) [4,5].

As células de pontos fixos possuem materiais de referência com pelo menos cinco noventa de pureza. Para realização dos mesmos utilizam-se fornos de três zonas de aquecimento e fornos com tubo de calor de sódio (heat-pipe de sódio).

O próximo passo da calibração é obter uma nova curva para o termopar, relacionando fem (E) versus temperatura (t). Um ajuste é feito a partir dos desvios encontrados para a função de referência do termopar ( $\Delta E$ ) versus temperatura.

Sabendo que a expressão de desvio é:  $\Delta E = \text{fem medida} - \text{fem de referência}$ , a nova equação para as fems medidas nos pontos fixos é calculada como:  $\text{fem medida} = \Delta E + \text{fem de referência}$ . Isto pode ser feito porque a função desvio ( $\Delta E(t)$ ) é do terceiro grau (pode ser do segundo), e a soma entre as duas equações ocorre entre os valores dos coeficientes de mesma ordem. Ou seja: se  $E(\text{ref}) = a_0 + a_1.t + a_2.t^2 + a_3.t^3 + a_4.t^4 + \dots + a_8.t^8$ , e  $\Delta E(t) = c_0 + c_1.t + c_2.t^2 + c_3.t^3$ , então:  $E(\text{med}) = a_0 + c_0 + (a_1 + c_1).t + (a_2 + c_2).t^2 + (a_3 + c_3).t^3 + a_4.t^4 + \dots + a_8.t^8$ . Devido à força eletromotriz da temperatura do ponto do gelo ( $0^{\circ}\text{C}$ ) ser igual a 0 V, os coeficientes  $a_0$  e  $c_0$  têm valor nulo.

Uma vez inseridos na memória do termômetro digital, os coeficientes  $c_0$ ,  $c_1$ ,  $c_2$  e  $c_3$  somam-se aos coeficientes da função de referência selecionada, no caso a do termopar tipo S. O termômetro digital, então, já pode ler as forças eletromotrizes do termopar e convertê-las em unidade de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), empregando a nova função ajustada.

A seguir, os pontos fixos são realizados novamente do maior para o menor valor de temperatura e as medições com o termômetro digital são efetuadas em graus Celsius, visando comprovar se os desvios encontrados em temperatura correspondem aos desvios obtidos no programa de ajuste. As diferenças encontradas nos desvios entre as medições com o termômetro já calibrado e o cálculo teórico são atribuídas à não-linearidade do instrumento, à deriva das fems do termopar e também ao processamento eletrônico da equação em seus circuitos internos.

## 3. RESULTADOS

Os resultados das medições nos pontos fixos (em tensão elétrica) com o termopar conectado ao termômetro digital estão detalhados na Tabela 1:

Tabela 1. Resultados das medições com o termômetro digital.

Ponto fixo	Temperatura/ $^{\circ}\text{C}$	Fem/ $\mu\text{V}$
Cobre	1084,62	10578,00
Prata	961,78	9151,08
Alumínio	660,323	5860,33
Zinco	419,527	3445,83
Estanho	231,928	1713,78

Depois de calculados os desvios em fem(V) para a função de referência, foram obtidos os seguintes coeficientes da função desvio ( $\Delta E(t)$ ):  $c_1 = -9,295373\text{E-}03$ ,  $c_2 = 1,882224\text{E-}05$  e  $c_3 = -6,494809\text{E-}09$ . Eles foram inseridos na memória do termômetro digital e posteriormente novas medidas foram

realizadas nos pontos fixos e os desvios encontrados em temperatura são mostrados na Tabela 2:

Tabela 2. Resultados das medições com o termômetro digital, depois de calibrado (desvios em unidade de temperatura)

Ponto fixo	Temperatura/°C	desvio/°C
Cobre	1084,62	-0,15
Prata	961,78	-0,06
Alumínio	660,323	-0,16
Zinco	419,527	-0,15
Estanho	231,928	-0,06

NOTA: O valor calculado para a incerteza do ajuste da função foi de 0,0003°C — o maior desvio calculado foi de 0,0003°C, no ponto do alumínio.

#### 4. INCERTEZAS

Na Tabela 3 é apresentada uma planilha de cálculo de incerteza para o termômetro digital Presys, modelo ST-501, com sensor termopar tipo S, no ponto fixo do cobre. Como o valor da contribuição da estabilidade do termopar e da linearidade do instrumento foram os dominantes, este valor incerteza foi o mesmo para os outros pontos fixos.

Tabela 3 : Incerteza de calibração no ponto do cobre

Contribuição da Incerteza	Incerteza padrão / °C
Célula do ponto fixo	0,004
Linearidade	0,137
Junção de referência	0,003
Estabilidade do termopar	0,075
Resolução do instrumento	0,0003
Desvio padrão das leituras	0,003
Incerteza combinada	0,15
Incerteza expandida ( $k=2$ )	0,31

#### 5. CONCLUSÕES

Com relação ao desempenho do termômetro digital já calibrado nos pontos fixos, pode-se concluir, comparando a incerteza do ajuste pelo método dos mínimos quadrados (0,0003°C), que ela foi bem menor do que a obtida após as medições nos pontos fixos em valores de temperatura (linearidade = 0,137°C). Pode-se atribuir, os desvios encontrados muito mais à linearidade do instrumento do que à estabilidade do termopar, pois os desvios nos pontos extremos como prata e estanho foram da ordem de centésimos de grau (-0,06°C) e em ponto intermediários como o alumínio e o zinco, os desvios alcançaram valores em torno de 0,15°C.

A longo prazo (cerca de mais de 500 horas de uso a 1000°C) as forças eletromotrizes do termopar podem derivar, o que levaria o usuário a recalibrar o conjunto. Se a incerteza do sensor evoluísse para 0,3°C (valor típico, com  $k=2$ ), a incerteza da calibração subiria para 0,45°C ( $k=2$ ).

Comparando o uso deste modelo de termômetro digital com um convencional não-programável fica evidente a vantagem de se utilizar um instrumento calibrado que não necessita de aplicar correções aos valores lidos, restando ao usuário, realizar verificações intermediárias, caso ele disponha de meios térmicos com pequenos gradientes e padrões com nível de incerteza compatível com as incertezas do instrumento calibrado.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos à coordenação do evento pela cooperação e atenção dispensada aos autores do artigo.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Slavoljub Garcia Petkovic, Aline Gonçalves da Silva, Rodrigo da Silva e Marcelo Ricardo Magalhães, "Termômetro Digital Programável – Um Novo Paradigma de Padrão de Temperatura", *Metrosul III*.
- [2] S. G. Petkovic, F.A.L. Goulart e M. S. Monteiro, CALIBRAÇÃO DE TERMOPARES POR PONTOS FIXOS NO INMETRO - A RASTREABILIDADE DESSES PADRÕES NA RBC, anais do evento Metrologia 2000, São Paulo, S.P., Brasil, volume ENLAB 2000, pp 227-238.
- [3] S. G. Petkovic, F.A.L. Goulart and M. S. Monteiro, FIXED POINT CALIBRATION OF THERMOCOUPLES IN BRAZIL, anais do evento National Conference for Standard Laboratories International (NCSLI 2001) Washington D.C., EUA, 2001.
- [4] Preston-Thomas, H., *Metrologia* **27**, 3-10 (1990).
- [5] Preston-Thomas, H. , Bloembergen, B. , and Quinn, T. J., *Supplementary Information for the International Temperature Scale of 1990*, 1990, Monograph CCT/WG1, BIPM, Sèvres, France, 1990, pp. 29-78.