



**Coordenação Geral de Acreditação**

**VERSÃO BRASILEIRA DO DOCUMENTO  
EURAMET cg-8 Versão 2.1 (10/2011)  
CALIBRAÇÃO DE TERMOPARES**

**Documento de caráter orientativo**

**DOQ-CGCRE-046**

**Revisão 01 - OUT/2022**

---

## SUMÁRIO

- 1 Objetivo
- 2 Campo de Aplicação
- 3 Responsabilidade
- 4 Histórico da Revisão
- 5 Documentos Complementares
- 6 Siglas

**Anexo A - Versão Brasileira do Documento EURAMET cg-8 Versão 2.1 (10/2011) - Calibração de Termopares**

**Anexo B - Exemplo de uma avaliação dos resultados de calibração e estimativa da incerteza**

## 1 OBJETIVO

Este documento foi elaborado para melhorar a equivalência e o reconhecimento mútuo dos resultados de calibração obtidos por laboratórios que calibram termopares.

## 2 CAMPO DE APLICAÇÃO

Este documento é a tradução do documento internacional e contém aplicações sobre os requisitos da acreditação. Seguindo estas orientações, o laboratório atenderá aos respectivos requisitos; em caso contrário, o laboratório deve demonstrar como será assegurado o seu atendimento. As não conformidades constatadas numa avaliação serão registradas contra o requisito da acreditação e não contra este documento orientativo, porém as orientações deste documento serão consideradas pelos avaliadores e especialistas.

## 3 RESPONSABILIDADE

A responsabilidade pela revisão deste documento é da Dicla.

## 4 HISTÓRICO DA REVISÃO

Revisão	Data	Itens revisados
01	Out/2022	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Atualização do cabeçalho para atender ao modelo atual.</li> <li>▪ Atualização da marca da Cgcre no cabeçalho.</li> <li>▪ Inclusão de Sumário e dos capítulos 1 a 4 para atender ao modelo atual de elaboração de normas.</li> <li>▪ A tradução do documento foi incluída como Anexos A e B.</li> </ul>

## 5 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

EURAMET cg-8 Versão 2.1 (10/2011)	Calibração de Termopares
-----------------------------------	--------------------------

	<b>DOQ-CGCRE-046</b>	<b>REV. 01</b>	<b>PÁGINA 3/18</b>
---	----------------------	--------------------	------------------------

## 6 SIGLAS

<i>Cgcre</i>	<i>Coordenação Geral de Acreditação</i>
<i>Dicla</i>	<i>Divisão de Acreditação de Laboratórios</i>
<i>Euramet</i>	<i>European Association of National Metrology Institutes (Associação Europeia de Institutos Nacionais de Metrologia)</i>
<i>IEC</i>	<i>International Electrotechnical Commission (Comissão Eletrotécnica Internacional)</i>
<i>Nist</i>	<i>National Institute of Standards and Technology (Instituto Nacional de Normas e Tecnologia)</i>

---

	DOQ-CGCRE-046	REV. 01	PÁGINA 4/18
---	---------------	------------	----------------

**ANEXO A - VERSÃO BRASILEIRA DO DOCUMENTO  
EURAMET cg-8 Versão 2.1 (10/2011)  
CALIBRAÇÃO DE TERMOPARES**

**Guia de Calibração**

EURAMET cg-8  
Versão 2.1 (10/2011)

**Autoria e Impressão**

Este documento foi desenvolvido pelo EURAMET e.V., Comitê Técnico de Termometria.  
Versão 2.1 Outubro de 2011  
Versão 2.0 Março de 2011  
Versão 1.0 Julho de 2007

EURAMET e.V.  
Bundesallee 100  
D-38116 Braunschweig  
Germany  
e-mail: [secretariat@euramet.org](mailto:secretariat@euramet.org)  
Fone: +49 531 592 1960

**Idioma oficial**

A versão definitiva desta publicação é a versão em inglês. A secretaria da EURAMET pode conceder autorização para a tradução deste texto em outros idiomas, sujeita a determinadas condições disponíveis mediante solicitação. Em caso de inconsistência entre os termos da tradução e os termos deste documento, este documento prevalecerá.

**Direitos autorais**

Os direitos autorais deste documento (EURAMET cg-13, versão 2.0 – Versão inglesa) pertencem a © EURAMET e.V. 2010. O texto não pode ser copiado para venda e somente pode ser reproduzido completo. Os extratos somente podem ser retirados com a permissão da Secretaria da EURAMET.  
ISBN 978-3-942992-25-1

**Publicação de orientação**

Este documento fornece orientação em práticas de medição nos campos específicos das medições. Aplicando as recomendações apresentadas neste documento, os laboratórios podem produzir resultados de calibração que poderão ser reconhecidos e aceitos em toda Europa. As abordagens usadas não são obrigatórias e têm a finalidade de orientar os laboratórios de calibração. O documento foi produzido como um meio de promover uma abordagem consistente às boas práticas de medição, conduzindo e apoiando a acreditação de laboratórios.

Este guia pode ser usado por terceiras partes, por exemplo: Organismos Nacionais de Acreditação, testemunhas de medições em avaliações de pares etc., somente como referência. Se o guia for adotado como parte de um requisito para tais partes, deve ser somente para aplicação e a secretaria da EURAMET deve ser informada dessa adoção.



Mediante solicitação, a EURAMET pode envolver terceiras partes em consulta das partes interessadas quando houver planos de revisão deste guia. Registre-se para essa finalidade na secretaria da EURAMET.

Não é feita nenhuma representação nem é dada garantia de que este documento, ou as informações nele contidas, seja adequado a fins particulares. Em nenhum evento poderão a Euramet, os autores ou qualquer pessoa envolvida na criação deste documento ser responsabilizados por qualquer dano, seja qual for, advindo do uso das informações aqui contidas. As partes que usarem o guia deverão indenizar adequadamente a EURAMET.

### Informação adicional

Para informação adicional sobre esta publicação, contate a pessoa de contato do seu país no Comitê Técnico EURAMET para Termometria. (veja [www.euramet.org](http://www.euramet.org)).

### Conteúdo

Seção	Página
0 Escopo.....	5
1 Introdução .....	5
2 Influências a serem consideradas .....	5
3 Cabos de extensão e compensação .....	6
4 Junção de referência (junta fria) .....	6
5 Inspeção inicial .....	7
6 Tratamento térmico.....	7
7 Fontes térmicas .....	8
8 Profundidade de imersão .....	8
9 Não homogeneidade dos fios termopar .....	9
10 Procedimento de medição .....	9
11 Medições elétricas .....	9
12 Características .....	10
13 Recalibração .....	10
14 Relato dos resultados .....	11
15 Incerteza de calibração .....	11
16 Bibliografia .....	12
Apêndice A Exemplo de avaliação dos resultados da calibração e estimativa da incerteza.....	13

	<b>DOQ-CGCRE-046</b>	<b>REV. 01</b>	<b>PÁGINA 6/18</b>
--	----------------------	--------------------	------------------------

## **A.0 Escopo**

**A.0.1** Este documento orientativo foi escrito para suprir a necessidade de um documento de consulta básico para os laboratórios que executam calibração de termopares. É válido, principalmente, para os tipos de termopares padronizados de acordo com as tabelas de referência fem-temperatura elaboradas pelo NIST [5], adotadas pela IEC e, posteriormente, pelo CEN, como EN 60584-1: 1996 [6]. Abrange a faixa de temperatura de -200 °C a 1600 °C, sendo as calibrações realizadas com base na Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90) [2,4]. Embora a maioria dos temas abordados possam ser aplicados igualmente a termopares não padronizados, nestes casos, pode ser importante fazer outras considerações, fora do âmbito destas orientações [1,3,4].

## **A.1 Introdução**

**A.1.1** Um termopar consiste de dois condutores diferentes conectados à junção de medição, enquanto que a outra extremidade (junção de referência) é conectada, quer diretamente ou por outro meio adequado, a um dispositivo para medição da força eletromotriz térmica(fem) gerada no circuito.

**A.1.2** A força eletromotriz (fem) gerada por um termopar é uma função das temperaturas das junções de medição e referência, ou, mais especificamente, a fem é gerada como resultado dos gradientes de temperatura existentes ao longo do comprimento dos condutores. Medições eficazes e calibrações somente são possíveis se as junções forem mantidas em regiões isotérmicas e a uma profundidade suficiente para superar as perdas (ou ganhos) de calor, garantindo assim que cada junção atinja realmente a temperatura do seu ambiente.

**A.1.3** A magnitude das fems depende dos materiais dos condutores utilizados para o termopar e sua condição metalúrgica. Mudanças subsequentes na composição do material e a condição causada por contaminação, tensão mecânica ou choque térmico também influenciam e modificam a fem, bem como a calibração associada. No entanto, qualquer mudança influenciará apenas se estiver localizada na região de um gradiente de temperatura, a qual não é necessariamente detectável pela recalibração se, por exemplo, um comprimento de condutor degradado estiver localizado na região isotérmica de um banho de calibração.

**A.1.4** Com o tempo e o uso, a degradação do termopar e de sua calibração são inevitáveis e, portanto, no longo prazo, deve ser estabelecido e mantido um programa de verificação regular e eventual substituição. Para os termopares de metal básico utilizados em altas temperaturas é recomendada a substituição, ao invés da recalibração.

## **A.2 Influências a serem consideradas**

**A.2.1** Quando a calibração é realizada, deve-se assegurar que os efeitos devidos às influências listadas abaixo sejam minimizados. Estas influências devem ser consideradas no cálculo da incerteza de medição, declarada no certificado de calibração.

**A.2.2** Entre as influências potenciais estão:

- a)** mau contato ou condução de calor ao longo do termopar (falta de imersão);
- b)** variação da temperatura com o tempo e distribuição espacial da temperatura no meio térmico;
- c)** variação de temperatura na junção fria (junção de referência);
- d)** tensões parasitas, como por exemplo as provenientes de conectores ou da utilização de um scanner ou chave seletora;
- e)** efeitos devido à utilização de cabos de extensão ou de compensação;

	<b>DOQ-CGCRE-046</b>	<b>REV. 01</b>	<b>PÁGINA 7/18</b>
---	----------------------	--------------------	------------------------

- f) interferência eletromagnética;
- g) tensões mecânicas ou deformações;
- h) não homogeneidades;
- i) oxidação ou outra contaminação química;
- j) mudanças na composição da liga, condição física ou estrutura cristalina;
- k) queda da resistência de isolamento.

Estas influências serão discutidas nas próximas seções.

### **A.3 Cabos de extensão e compensação**

**A.3.1** Se, por razões práticas, o comprimento de um termopar tiver que ser aumentado, isso deve ser feito usando-se cabos de extensão ou compensação apropriados. O cabo de extensão consiste em condutores feitos dos mesmos materiais que os condutores do termopar, enquanto que o cabo de compensação é feito a partir de um par de ligas diferentes. Os cabos são fabricados para que sua característica fem-temperatura seja igual a do termopar em si, mas ao longo de uma faixa de temperatura limitada, não maior que de -40 °C a 200 °C. Os limites de erro de fabricação estão especificados na norma EN IEC 60584-3 [8].

**A.3.2** De preferência, estes cabos devem estar conectados permanentemente ao termopar. Como alternativa, as conexões aos fios do termopar são muitas vezes feitas usando-se plugues e conectores especiais (também feitos das ligas de compensação). É importante assegurar que estas junções secundárias não estejam localizadas em regiões de gradiente de temperatura e que estejam protegidas ou isoladas contra correntes de ar, radiação e mudanças rápidas na temperatura ambiente.

**A.3.3** As incertezas de medição associadas à utilização de cabos de extensão e de compensação não são geralmente tão pequenas como as de termopares de fios contínuos. Isto é atribuído à menor compatibilidade dos materiais e, na prática, às dificuldades na medição da temperatura das conexões entre os condutores. A incerteza de medição pode tornar-se semelhante à de um termopar de fios contínuos se o a cabo de extensão ou compensação estiver incluído na calibração. Neste caso, o cabo de extensão ou compensação é parte do termopar e nunca deve ser substituído por outros fios, ainda que do mesmo tipo ou lote. Para estimar estas contribuições à incerteza, é necessário testar o efeito das alterações na temperatura das conexões.

### **A.4 Junção de referência (junta fria)**

**A.4.1** As tabelas de fem x temperatura dos termopares têm o ponto de gelo, 0 °C, como a temperatura de referência, e esse tradicional ponto fixo de temperatura é o preferido para se obterem medições precisas e confiáveis. Ele é facilmente preparado utilizando-se gelo raspado ou em flocos, misturado com água. A água deionizada é melhor, mas em muitos países a água de torneira pode ser suficientemente boa (com um ponto de gelo entre -0,01 °C e 0 °C).

**A.4.2** Na junção de referência, geralmente chamada de "junta fria", cada condutor do termopar é geralmente soldado ou torcido com um fio de cobre. Uma falha elétrica intermitente ou permanente nessa conexão pode ser causada por uma película de óxido formada sobre o condutor do termopar (metal básico) ou o fio de cobre. Na preparação da conexão, o fio deve ser levemente limpo com um papel abrasivo fino. Cada junção de fios deve ser isolada e os fios colocados em uma bainha justa, antes da inserção nos banhos de gelo e água. Os fios de cobre devem ser do mesmo lote de fabricação.

	<b>DOQ-CGCRE-046</b>	<b>REV. 01</b>	<b>PÁGINA 8/18</b>
---	----------------------	--------------------	------------------------

**A.4.3** Dispositivos automáticos de junção de referência são usados principalmente quando medições com muitos termopares ou de longa duração forem necessárias. Sua utilização deve ser acompanhada por verificações cuidadosas sobre a adequação da profundidade de imersão e constatação de que a capacidade do dispositivo não é excedida pela carga térmica total. Isto pode ser conseguido através da monitoração do desempenho de um ou dois termopares utilizados no dispositivo, com e sem a carga completa de termopares e comparando-se com o seu desempenho num banho de gelo. A temperatura da junta fria também deve ser verificada periodicamente.

**A.4.4** As mesmas observações são aplicáveis a caixas de junções de referência, as quais podem ter a forma de uma caixa isolada contendo junções de referência, cuja temperatura é monitorada por um termómetro, tanto à temperatura ambiente como a uma temperatura gerada por um aquecedor termostaticamente controlado. A eficácia do termómetro da caixa e do controlador deve ser periodicamente verificada.

**A.4.5** A compensação da junção fria é amplamente utilizada em controladores e indicadores eletrônicos de temperatura. Existem módulos de compensação eletrônica com alimentação elétrica ou por baterias. É importante que os instrumentos sejam calibrados e usados em ambientes onde a temperatura não varie rapidamente, devendo ser verificado o efeito de diferentes temperaturas do ambiente.

**A.4.6** Se uma temperatura de referência diferente de 0 °C for usada com um termopar calibrado com a referência em 0 °C, a fem correspondente à temperatura de referência escolhida deve ser adicionada à fem medida no termopar. Não é possível utilizar a temperatura da junção de referência como uma correção.

## **A.5 Inspeção inicial**

**A.5.1** Os termopares estão disponíveis em várias formas de isolamento e bainha de proteção, bem como na forma de fio nu. Portanto, a inspeção inicial dependerá da sua construção e utilização. Sinais óbvios de defeitos mecânicos, contaminação etc. devem ser registrados e o cliente informado, caso o laboratório entenda que a validade ou a incerteza da calibração possa ser prejudicada. Qualquer presença de umidade, especialmente próxima às conexões de extensão/compensação deve ser investigada, pois pode reduzir a resistência de isolamento e/ou levar à geração de fems por ação eletrolítica. A medição da resistência de isolamento é um método conveniente para identificar qualquer umidade dentro do termopar.

## **A.6 Tratamento térmico**

**A.6.1** Todo termopar que se pretenda calibrar deve ser homogêneo. Termopares não homogêneos utilizados em condições diferentes das que foram calibrados, especialmente gradientes de temperatura diferentes, fornecerão resultados errados que poderão aumentar o erro sistemático em vários graus Celsius.

**A.6.2** O tratamento térmico ou recozimento de um termopar destina-se a produzir uma condição física uniforme ao longo do comprimento aquecido do termopar. O tratamento deve ser visto como uma espécie de ajuste e, no caso de recalibrações, tal tratamento térmico só deve ser realizado com a concordância formal do cliente.

	<b>DOQ-CGCRE-046</b>	<b>REV. 01</b>	<b>PÁGINA 9/18</b>
---	----------------------	--------------------	------------------------

**A.6.3** Para se obterem os melhores resultados, um termopar que se pretenda calibrar deve primeiro ser recozido à imersão máxima, durante várias horas, à máxima temperatura de utilização pretendida. Termopares tipo K, que estão sujeitos a alterações na calibração em ciclagens de temperatura até 500 °C ou acima, devem ser calibrados em temperaturas crescentes e o primeiro ponto de calibração repetido ao final, como verificação. As mesmas considerações se aplicam, em menor escala, a outros termopares de metal básicos.

## **A.7 Fontes térmicas**

**A.7.1** Os termopares são calibrados através da medição em uma série de pontos fixos de temperatura, por exemplo, pontos de fusão/solidificação ou, por comparação com termômetros de referência ou padrão, em banhos termicamente estabilizados ou fornos adequados para a calibração, ou por uma combinação das duas técnicas, por exemplo, comparação e pontos fixos de temperatura. Os pontos fixos e termômetros padrão devem ser rastreáveis a padrões nacionais. Geralmente, as calibrações em pontos fixos só são necessárias para termopares de platina-ródio na máxima exatidão.

**A.7.2** Um banho ou forno termicamente estabilizado adequado para calibração é aquele em que o perfil de temperatura espacial, usando-se dois ou mais termômetros padrão, em geral no ponto médio e em ambas as extremidades da faixa de temperatura de trabalho e no volume de trabalho, mostre estar dentro dos limites requeridos. A inclusão deste perfil no certificado de calibração pode ajudar a resolver os problemas de imersão, embora o perfil em fornos possa depender muito da dimensão do termopar.

**A.7.3** Os gradientes de temperatura no interior dos banhos ou fornos termicamente estabilizados podem ser reduzidos ou minimizados através da inserção de um bloco equalizador metálico, perfurado com orifícios adequados para receber os instrumentos padrão e em calibração. Tal bloco nem sempre é necessário, por exemplo, em fornos com controle multizona e em temperaturas elevadas, nas quais a transferência de calor por radiação em um espaço fechado é muito eficiente. Sem um bloco, a estabilização pode ser alcançada mais rapidamente.

**A.7.4** Em banhos de líquido, os termopares devem ser carregados com uma separação de cerca de 1 cm e não devem entrar em contato com as paredes do fundo ou laterais, as quais podem estar numa temperatura ligeiramente diferente da do líquido.

**A.7.5** Os termopares padrão e em calibração podem ser protegidos de contaminação no forno sendo inseridos em tubos de alumina recristalizada, de tamanho justo, paredes finas e extremidades fechadas. No entanto, pode ser necessária imersão maior para compensar o acoplamento térmico pior.

## **A.8 Profundidade de imersão**

**A.8.1** Quando possível, os termopares devem ser calibrados com a mesma imersão requerida em uso normal. No entanto, os termopares devem ser imersos a uma profundidade suficiente para superar as perdas ou ganhos de calor, em temperaturas altas e baixas, respectivamente. Tais efeitos são maiores para fios de grande diâmetro, isoladores e bainhas de paredes espessas. Sempre que possível, um termopar deve ser progressivamente imerso em um banho/forno de calibração até que uma imersão adicional não cause nenhuma alteração na fem medida, indicando ter sido atingida uma profundidade de imersão apropriada. Em algumas circunstâncias, bainhas e revestimentos podem precisar ser removidas e substituídas por isoladores mais leves e mais adequados.

	<b>DOQ-CGCRE-046</b>	<b>REV. 01</b>	<b>PÁGINA 10/18</b>
--	----------------------	--------------------	-------------------------

**A.8.2** Essas considerações aplicam-se tanto às calibrações por comparação quanto por pontos fixos. Mesmo quando se obtém uma fem estável, isso não significa necessariamente que a temperatura correta tenha sido atingida. A imersão adequada só é demonstrada se, ao se extrair o termopar um ou dois centímetros do meio térmico, a mudança na fem for pequena quando comparada à incerteza de medição requerida na calibração.

## **A.9 Não homogeneidade dos fios termopar**

**A.9.1** Em muitos casos, a falta de homogeneidade dos fios termopares limitará a incerteza da medição. Portanto, para uma calibração de alta precisão, é necessário testar a não homogeneidade fazendo uso de um método que envolva mudar localmente o perfil de temperatura ao longo do comprimento do termopar, seja por aquecimento ou por resfriamento, enquanto as junções de medição e de referência são mantidas numa temperatura constante, tal como 0 °C. A região de aquecimento ou resfriamento é lentamente movida ao longo do comprimento do termopar, após o que as não homogeneidades locais poderão ser detectadas, a partir de alterações na tensão lida.

**A.9.2** Outra possibilidade é mover a junção de medição em um ambiente com distribuição de temperatura homogênea (por exemplo, um banho de líquido agitado ou uma célula de ponto fixo). Neste procedimento, a região com o maior gradiente de temperatura (superfície do banho ou forno) estará em posições diferentes das dos fios termopar, resultando em alterações da fem se o termopar não for homogêneo na posição do gradiente térmico.

**A.9.3** Recomenda-se estimar a contribuição para a incerteza da não homogeneidade como uma contribuição retangular, com largura total equivalente à maior diferença encontrada por quaisquer duas medições durante o teste. Se o teste for realizado apenas ao longo de um comprimento pequeno do termopar, a maior diferença na fem encontrada deve ser considerada como a metade da largura da distribuição retangular. Nos casos em que não for possível efetuar a medição individual da não homogeneidade, recomenda-se considerar como contribuição ( $k = 1$ ) para a incerteza pelo menos 20% do valor de tolerância da Classe 2 para o tipo correspondente de termopar de acordo com a EN IEC 60584-2 [7].

**A.9.4** Para a estimativa da não homogeneidade em temperaturas não testadas, pode-se assumir que a não homogeneidade seja expressa como uma porcentagem da fem total. [9].

## **A.10 Procedimento de medição**

**A.10.1** Nas medições em pontos fixos, é prudente medir o ponto de fusão ou solidificação de cada realização da temperatura com um termopar padrão de referência, que deve ser dedicado a esta finalidade. Um patamar errôneo ou falso pode surgir com o uso de controladores de temperatura de três variáveis, que pode manter o forno muito próximo, porém não exatamente à temperatura do ponto fixo. É importante, por conseguinte, atentar à curva de fusão/solidificação e a recalcência (resfriamento) que precede o aumento de temperatura para alcançar do ponto de solidificação.

**A.10.2** Nas calibrações por comparação, é aconselhável a utilização de dois padrões, que proporcionem uma verificação cruzada deles próprios e do sistema de calibração. Para reduzir os efeitos da variação no meio térmico, a seguinte sequência de medição deve ser seguida:

$$S_1, X_1, X_2 \dots X_n, S_2, X_n, S_2 \dots X_2, X_1, S_1$$

onde  $S_1$  e  $S_2$  são os dois padrões de referência e  $X_1, X_2 \dots X_n$  são os termopares a serem calibrados.

	<b>DOQ-CGCRE-046</b>	<b>REV. 01</b>	<b>PÁGINA 11/18</b>
---	----------------------	--------------------	-------------------------

**A.10.3** Esta sequência pode ser repetida para totalizar quatro ou mais medições em cada instrumento. Os valores médios são calculados e quaisquer correções (por exemplo, devidas à calibração do voltímetro) são aplicadas. A temperatura é considerada como sendo o valor médio calculado a partir dos resultados de  $S_1$  e  $S_2$ .

### **A.11 Medições elétricas**

**A.11.1** As medições elétricas são normalmente feitas com voltímetros digitais ou indicadores de leitura direta em temperatura. Potenciômetros manuais são raramente usados nos dias de hoje, mas devido à sua estabilidade de longo prazo podem ser úteis com o fim de referência cruzada e verificação. Todos os sistemas de medições elétricos devem ser calibrados e rastreáveis na totalidade da faixa de temperatura desejada.

**A.11.2** Chaves inversoras, seletoras, comutadoras e potenciômetros manuais devem ser acionados diariamente por cerca de vinte movimentos para limpar filmes de óxido e possíveis resistências de contato.

**A.11.3** Quando forem requeridas as melhores exatidões, as medições devem ser feitas com ambas as polaridades de avanço e inversa, por meio de uma chave inversora. O valor médio das medições (ignorando a mudança no sinal) elimina ou minimiza o efeito das fems térmicas espúrias no sistema de medição. As fems espúrias podem surgir em qualquer ponto do circuito de medição em que haja mudança de temperatura e na junção de metais diferentes, por exemplo, entre os fios de cobre e terminais de latão. Deve existir blindagem e/ou revestimento adequado e controle da temperatura ambiente. Os voltímetros digitais podem se comportar de maneira diferente nos modos positivo e negativo, portanto, devem ser calibrados nas duas polaridades, se forem feitas reversões. Alternativamente, o circuito de medição pode ser verificado (e corrigido) quanto a quaisquer fems residuais através da medição do circuito quando o termopar é substituído por um curto-circuito nos terminais de conexão de entrada.

### **A.12 Características**

**A.12.1** Os termopares são usados para medir temperaturas em uma certa faixa e não somente uma temperatura. O laboratório de calibração, por conseguinte, em muitos casos irá fornecer ao cliente a característica do termopar, isto é, uma fórmula de interpolação com uma relação  $V = f(t)$ .

**A.12.2** Os termopares são padronizados e as funções de referência para os tipos mais comuns de termopares são definidas na norma EN IEC 60584-1 [5,6]. A característica de termopares individuais é geralmente próxima da função de referência. Portanto, recomenda-se determinar a função desvio  $g(t)$  da função de referência para o termopar em calibração, expressa como  $g(t) = (V - V_{ref})$ .

**A.12.3** A função desvio  $g(t)$  é usualmente descrita como um polinômio de pequena ordem. Em muitos casos, uma função desvio de segunda ordem (quadrática) é uma boa escolha, mas dependendo da faixa de temperatura, tipo de termopar e incerteza de medição o desvio linear pode ser adequado ou pode ser preferível uma função desvio terceira ordem (cúbica).

**A.12.4** Os coeficientes da função desvio devem ser determinados utilizando-se um procedimento de ajuste por mínimos quadrados. O número de pontos de medição para o ajuste deve ser pelo menos 2 vezes maior que o número de coeficientes a serem determinados.

	<b>DOQ-CGCRE-046</b>	<b>REV. 01</b>	<b>PÁGINA 12/18</b>
--	----------------------	--------------------	-------------------------

**A.12.5** Pode-se obter a característica do termopar em calibração adicionando-se a função desvio à função de referência. Neste caso, os primeiros coeficientes da função de referência são modificados, enquanto os coeficientes dos termos de ordem superior permanecem inalterados.

**A.12.6** Se o ponto 0 °C estiver dentro da faixa de calibração, ele deve incluído como um ponto de calibração, da mesma maneira que todas as outras temperaturas.

### **A.13 Recalibração**

**A.13.1** Não existem frequências formalmente especificadas para a recalibração de termopares, porque seus tipos, faixas de temperatura, construção, aplicação e intensidade de uso são numerosos e variados. Deve-se esperar que o sistema de gestão da qualidade inclua um programa de verificação e recalibração que satisfaça suas necessidades e experiência.

**A.13.2** Quando existirem instalações de termopares de longo prazo, o melhor modo de realizar as verificações da calibração é fazê-las *in situ*, inserindo-se um padrão ao lado do(s) termopar(es) de trabalho como e quando necessário. Como alternativa, um termopar pode ser temporariamente substituído por um termopar padrão e as suas fems comparadas. Na prática, é preferível um programa de substituição periódica.

**A.13.3** A mudança nas fems e na calibração de um termopar, como resultado do uso ou mesmo como o resultado imediato da calibração, pode ser quantificada pela imersão do termopar em um banho ou forno termicamente estabilizado, mantido a uma temperatura adequada e medindo-se a saída em uma série de profundidades de imersão que incluam a profundidade normal de trabalho. Se, finalmente, o termopar estiver substancialmente imerso, isto é, para além de qualquer profundidade de trabalho anterior, as fems medidas devem aproximar-se do valor indicado no certificado da primeira calibração nessa temperatura e corroborar a validade dos dois (possivelmente diferente) sistemas de calibração. Não obstante, este efeito da não homogeneidade dos fios termopar deve ser considerado na estimativa da incerteza da medição.

**A.13.4** Para termopares de metal básico, a substituição por um novo termopar calibrado ao invés da recalibração frequentemente é a melhor solução. Caso contrário, são aconselhadas calibrações ou verificações *in situ*. O tratamento térmico cuidadoso, às vezes, pode melhorar não homogeneidade.

### **A.14 Relato de resultados**

**A.14.1** O certificado de calibração contendo os resultados das medições deve ser redigido levando em conta a facilidade de assimilação por parte do usuário, de modo a evitar a possibilidade de uso indevido ou de mal-entendido.

**A.14.2** O certificado deve atender aos requisitos da publicação EA-4/01 [10]. O conteúdo técnico deve incluir o seguinte:

- a)** uma identificação inequívoca dos itens sujeitos à medição, incluindo o termopar, qualquer cabo de extensão ou compensação, especialmente quando estes são itens separados e quaisquer outros instrumentos (por exemplo, os indicadores digitais) que fazem parte do sistema completo medido;
- b)** a faixa de temperatura coberta pela calibração;
- c)** a indicação do tratamento térmico realizado antes da calibração;
- d)** a profundidade de imersão do sensor, junto com uma declaração sobre a não homogeneidade do termopar;

	<b>DOQ-CGCRE-046</b>	<b>REV. 01</b>	<b>PÁGINA 13/18</b>
--	----------------------	--------------------	-------------------------

- e) o procedimento de medição utilizado (por exemplo, pontos fixos, comparação com sensor padrão), temperaturas de calibração crescentes ou decrescentes;
- f) condições ambientais relevantes;
- g) qualquer norma ou outra especificação relevante para o procedimento utilizado (por exemplo, tabelas de referência IEC [6]);
- h) uma avaliação da incerteza da medição associada aos resultados.

## **A.15 Incerteza de calibração**

**A.15.1** As incertezas de medição devem ser calculadas de acordo com a publicação EA-4/02 "Expressão da Incerteza de Medição na Calibração" [11]. O Anexo B dá um exemplo de calibração mostrando as fontes de incerteza prováveis.

## **A.16 Bibliografia**

- 1 American Society for Testing And Materials: Manual on the use of thermocouples in temperature measurement. ASTM Special Technical Publication 470A.
- 2 Quinn, T. J. : Temperature. Academic Press: London, 1990
- 3 Nicholas, J. V. and White, D. R.: Traceable Temperatures. John Wiley & Sons Ltd: Chichester, England, 2001.
- 4 BIPM: Techniques for Approximating the International Temperature Scale of 1990. 1990.
- 5 Burns, G. W., Scroger M.G., Strouse G. F., Croarkin M. C. and Guthrie W. F.: Temperature-Electromotive Force Reference Functions and Tables for the Letter-designated Thermocouple Types Based on the ITS-90, NIST Monograph 175, US Dept of Commerce, 1993
- 6 EN IEC 60584-1: 1995. Thermocouples, Part 1, Reference tables
- 7 EN IEC 60584-2: 1995. Thermocouples, Part 2, Tolerances
- 8 EN IEC 60584-3: 1989. Thermocouples, Part 3, Extension and Compensating Cables — Tolerances and Identification System.
- 9 Jahan, F. and Ballico, M.: A Study of the Temperature Dependence of Inhomogeneity in Platinum-Based Thermocouples, in: Temperature: 1st Measurement and Control in Science and Industry, Vol. 7 (2003) p. 469 – 473
- 10 EA-4/01: 1995. Requirements Concerning Certificates Issued by Accredited Laboratories.
- 11 EA-4/02: 1999. Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration.

**ANEXO B****Exemplo de uma avaliação dos resultados de calibração e estimativa da incerteza****B.1 Calibração de um termopar tipo N em 1000 °C**

**B.1.1** Neste exemplo, um termopar Tipo N é calibrado por comparação com dois termopares de referência Tipo R num forno horizontal, à temperatura de 1000 °C. As fems geradas pelos termopares são medidas com um voltímetro digital através de uma chave de seleção/inversão. Todos os termopares têm suas junções de referência em 0 °C. O termopar em calibração é conectado ao ponto de referência usando-se cabos de compensação.

**B.1.2** A temperatura da junção quente do termopar em calibração é

$$\begin{aligned}t_x &= t_s(V) + \delta t_D + \delta t_F \\ &= t_s(V_{is} + \delta V_{is1} + \delta V_{is2} + \delta V_R - \frac{\delta t_{0S}}{C_{S0}}) + \delta t_D + \delta t_F \\ &\cong t_s(V_{is}) + C_s \cdot \delta V_{is1} + C_s \cdot \delta V_{is2} + C_s \cdot \delta V_R - \frac{C_s}{C_{S0}} \delta t_{0S} + \delta t_D + \delta t_F\end{aligned}\tag{A1.1}$$

A fem do termopar em calibração, com a junção de referência a 0 °C é:

$$V_x(t) \cong V_x(t_x) + \frac{\delta t}{C_x} - \frac{\delta t_{0X}}{C_{X0}} = V_{ix} + \delta V_{ix1} + \delta V_{ix2} + \delta V_{HX} + \delta V_R + \delta V_{LX} + \frac{\delta t}{C_x} - \frac{\delta t_{0X}}{C_{X0}}\tag{A1.2}$$

onde

$t_s(V)$	temperatura do termopar de referência em função da fem, com a junta fria a 0 °C. A função é fornecida no certificado de calibração.
$V_{is}, V_{ix}$	indicações do voltímetro (média das leituras direta e inversa);
$\delta V_{is1}, \delta V_{ix1}$	correções devidas à calibração do voltímetro (média das leituras direta e inversa);
$\delta V_{is2}, \delta V_{ix2}$	correções devidas à resolução do voltímetro (média das leituras direta e inversa);
$\delta V_R$	correção devida às fems parasitas na chave de seleção e qualquer outra parte do circuito de medição não cancelada pela inversão de polaridade;
$\delta t_{0S}, \delta t_{0X}$	correções da temperatura devido à temperatura de referência;
$C_s, C_x$	coeficiente de sensibilidade dos termopares, em °C/μV, à temperatura de medição de 1000 °C;
$C_{S0}, C_{X0}$	coeficiente de sensibilidade dos termopares, em °C/μV, à temperatura de referência de 0 °C;
$\delta t_D$	deriva dos termopares de referência desde a última calibração;
$\delta t_F$	correção da temperatura devido à não uniformidade do forno;
$t$	temperatura na qual o termopar em calibração deve ser calibrado (ponto de calibração);
$\delta t = t - t_x$	desvio da temperatura do ponto de calibração a partir da temperatura do forno;
$\delta V_{LX}$	correção devida aos fios de compensação;
$\delta V_{HX}$	correção devida à não homogeneidade dos fios termopar.



**B.1.3** O resultado relatado é a fem de saída do termopar em calibração, à temperatura desejada  $t$ . Como a análise consiste em duas etapas – determinação da temperatura do forno e determinação da fem do termopar em teste – a avaliação da incerteza de medição é dividida em duas partes. A incerteza padrão (fator de abrangência  $k = 1$ ) de cada componente é dada em B.1.14 e B.1.15, avaliada como abaixo descrito. As distribuições de probabilidade para as componentes do Tipo B são assumidas como sendo retangular e os limites superior e inferior estimados da incerteza são, por conseguinte, divididos por  $\sqrt{3}$ .

**B.1.4 Padrões de referência:** Os termopares de referência Tipo R são fornecidos com certificados de calibração que relacionam a temperatura de suas junções de medição com a fem produzida com suas junções de referência em  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . A incerteza expandida de medição a  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$  é  $U = 0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$  (fator de abrangência  $k = 2$ ).

A partir de calibrações anteriores, estima-se que a deriva dos valores dos padrões de referência é zero, dentro dos limites de  $\pm 0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**B.1.5 Coeficientes de sensibilidade:** Os coeficientes de sensibilidade dos termopares de referência e em calibração foram obtidos a partir das tabelas de referência.

	1000 °C	0 °C
Termopar de referência	$C_S = 0,077\text{ }^{\circ}\text{C}/\mu\text{V}$	$C_{S0} = 0,189\text{ }^{\circ}\text{C}/\mu\text{V}$
Termopar em calibração	$C_X = 0,026\text{ }^{\circ}\text{C}/\mu\text{V}$	$C_{S0} = 0,039\text{ }^{\circ}\text{C}/\mu\text{V}$

Em B.1.14, o coeficiente de sensibilidade para a incerteza da temperatura de referência dos termopares padrão é  $C_S/C_{S0} = 0,077/0,189 = 0,407$ , ver Equação A1.1

**B.1.6 Resolução e calibração do voltímetro:** foi utilizado um voltímetro de  $4\frac{1}{2}$  dígitos, na faixa de  $10\text{ mV}$ , resultando num limite de resolução de  $0,5\text{ }\mu\text{V}$  em cada indicação. O voltímetro foi calibrado e as correções para as fems medidas foram realizadas, para todos os resultados. O certificado de calibração dá uma incerteza de medição expandida constante  $U = 2,0\text{ }\mu\text{V}$  para tensões abaixo de  $50\text{ mV}$  (fator de abrangência  $k = 2$ ).

**B.1.7 Tensões parasitas:** fems parasitas residuais devido aos contatos da chave de seleção são estimadas em zero dentro de  $\pm 2\text{ }\mu\text{V}$ .

**B.1.8 Temperaturas de referência:** A temperatura do ponto de referência de cada termopar é conhecida como sendo  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  dentro de  $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**B.1.9 Não uniformidade do forno:** os gradientes de temperatura dentro do forno foram medidos colocando-se um termopar em diferentes posições. A  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , os desvios da não-uniformidade da temperatura na região de medição são estimados como sendo zero, dentro de  $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

**B.1.10 Fios de compensação:** Os condutores de compensação foram calibrados no intervalo de  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Estima-se que as diferenças de fem entre os fios de compensação e os fios termopar sejam inferiores a  $5\text{ }\mu\text{V}$ .

**B.1.11 Não homogeneidade:** os termopares foram testados com uma fonte de aquecimento móvel. Estima-se que as diferenças de fem devido a não homogeneidade dos fios termopar estejam em  $\pm 15\text{ }\mu\text{V}$ .



**B.1.12 Observações:** As indicações do voltímetro foram lidas no procedimento operacional a seguir, o qual fornece dez leituras para cada termopar e reduz os efeitos de desvio de temperatura na fonte térmica e de fems parasitas no circuito de medição:

1º ciclo:

1º referência, termopar em calibração, 2º referência, 2º referência, termopar em calibração, 1º referência e assim por diante. [Notação sugerida em 9.2. Observe particularmente que a tabela a seguir usa “1º referência” etc.]

Reversão de polaridade.

2º ciclo:

1º referência, termopar em calibração, 2º referência, 2º referência, termopar em calibração, 1º referência e assim por diante.

O procedimento requer que a diferença entre os dois padrões de referência não exceda 0,3 °C. Se a diferença não estiver dentro destes limites, as observações deverão ser repetidas e/ou as razões para tal diferença investigada.

Termopar	1º referência	Em calibração	2º referência
Tensão indicada, após correção	+10500 $\mu$ V	+ 36245 $\mu$ V	+10503 $\mu$ V
	+10503 $\mu$ V	+36248 $\mu$ V	+10503 $\mu$ V
	+10505 $\mu$ V	+36244 $\mu$ V	+10506 $\mu$ V
	+10505 $\mu$ V	+36249 $\mu$ V	+10507 $\mu$ V
	+10502 $\mu$ V	+36253 $\mu$ V	+10502 $\mu$ V
Veja Equação A1.1	-10503 $\mu$ V	-36248 $\mu$ V	-10505 $\mu$ V
	-10504 $\mu$ V	-36251 $\mu$ V	-10505 $\mu$ V
	-10501 $\mu$ V	-36254 $\mu$ V	-10504 $\mu$ V
	-10503 $\mu$ V	-36244 $\mu$ V	-10503 $\mu$ V
	-10499 $\mu$ V	-36244 $\mu$ V	-10502 $\mu$ V
Tensão média	10502,5 $\mu$ V	36248 $\mu$ V	10504 $\mu$ V
Desvio padrão da tensão média s(V)	0,67 $\mu$ V	1,26 $\mu$ V	0,57 $\mu$ V
Temperatura da junção de medição	1000,473 °C $\pm$ 0,052 °C		1000,529 °C $\pm$ 0,044 °C
Temperatura do forno	(1000,505 $\pm$ 0,034) °C		

**B.1.13** As dez leituras de cada termopar foram corrigidas e extraída uma fem média, juntamente com o seu desvio padrão. As fems médias dos termopares de referência foram convertidas em valores de temperatura, utilizando-se as relações temperatura-fem fornecidas em seus certificados de calibração. Extraindo a média ponderada, elas foram combinadas no valor da temperatura do forno, no local do termopar em calibração, assumindo-se que  $\delta t_F = 0$ . Os fatores de ponderação para o cálculo da média ponderada são proporcionais a  $1/[s(V)]^2$ , sendo  $s(V)$  o desvio padrão da fem média dos termopares. A incerteza padrão da temperatura do forno foi calculada como a incerteza padrão da média ponderada das temperaturas medidas pelos dois termopares.

Note-se que esta é apenas uma contribuição (pequena) para a incerteza da temperatura do forno.

De modo semelhante, é extraída uma observação da fem do termopar em calibração.

**B.1.14 Balanço da incerteza (temperatura do forno):**

Grandeza	Símbolo $X_i$	Estimativa $x_i$	Incerteza padrão $u(x_i)$	Distribuição de probabilidade	Coefficiente de sensibilidade $c_i$	Contribuição para a incerteza $u(y)$
Temperatura do forno	$t_s$	1000,5 °C	0,01 °C	Normal	1,0	0,034 °C
Calibração do voltímetro	$\delta V_{IS1}$	0,0 $\mu$ V	1,00 $\mu$ V	Normal	0,77 °C/ $\mu$ V	0,077 °C
Resolução do voltímetro	$\delta V_{IS2}$	0,0 $\mu$ V	0,29 $\mu$ V	Retangular	0,77 °C/ $\mu$ V	0,022 °C
Tensões parasitas	$\delta V_R$	0,0 $\mu$ V	1,15 $\mu$ V	Retangular	0,77 °C/ $\mu$ V	0,089 °C
Temperatura de referência	$\delta t_{oS}$	0 °C	0,058 °C	Retangular	-0,407	-0,024 °C
Calibração do termopar de referência	$\delta t_s$	0,0 °C	0,3 °C	Normal	1,0	0,3 °C
Deriva dos termopares de referência	$\delta t_D$	0,0 °C	0,173 °C	Retangular	1,0	0,173 °C
Não uniformidade do forno	$\delta t_F$	0,0 °C	0,577 °C	Retangular	1,0	0,577 °C
	$t_x$	1000,5 °C				0,685 °C

**B.1.15 Balanço da Incerteza (fem do termopar em calibração):**

Grandeza	Símbolo $X_i$	Estimativa $x_i$	Incerteza padrão $u(x_i)$	Distribuição de probabilidade	Coefficiente de sensibilidade $c_i$	Contribuição para a incerteza $u(y)$
Fem do termopar em calibração	$V_x$	36 248 $\mu$ V	1,26 $\mu$ V	Normal	1,0	1,26 $\mu$ V
Calibração do voltímetro	$\delta V_{IX1}$	0 $\mu$ V	1,00 $\mu$ V	Normal	1,0	1,00 $\mu$ V
Resolução do voltímetro	$\delta V_{IX2}$	0 $\mu$ V	0,29 $\mu$ V	Retangular	1,0	0,29 $\mu$ V
Tensões parasitas	$\delta V_R$	0 $\mu$ V	1,15 $\mu$ V	Retangular	1,0	1,15 $\mu$ V
Fios de compensação	$\delta V_{LX}$	0 $\mu$ V	2,9 $\mu$ V	Retangular	1,0	2,9 $\mu$ V
Desvio da temperatura do ponto de calibração (ver A1.14)	$\delta t_x$	0,5 °C	0,685 °C	Normal	38,5 $\mu$ V/°C	26,37 $\mu$ V
Temperatura de referência	$\Delta t_{ox}$	0 °C	0,058 °C	Retangular	-25,6 $\mu$ V/°C	-1,48 $\mu$ V
Não homogeneidade do termopar em calibração	$\delta V_{HX}$	0 $\mu$ V	8,67 $\mu$ V	Retangular	1,0	8,67 $\mu$ V
fem na temperatura do forno	$V_x$	36 229 $\mu$ V				28,02 $\mu$ V

**B.1.16 Incertezas expandidas**

A incerteza expandida associada com a medição da temperatura do forno é

$$U = k \cdot u(t_x) = 2 \cdot 0,685 \text{ °C} = 1,4 \text{ °C}$$

A incerteza expandida associada com o valor da fem do termopar em calibração a 1000 °C é

$$U = k \cdot u(V_x) = 2 \cdot 28,02 \text{ } \mu\text{V} = 56 \text{ } \mu\text{V}$$

	DOQ-CGCRE-046	REV. 01	PÁGINA 18/18
---	---------------	------------	-----------------

#### B.1.17 Relato do resultado

a) O termopar Tipo N indicou, à temperatura de 1000,0 °C, com a sua junção de referência à temperatura de 0 °C, uma fem de  $36\,230\ \mu\text{V} \pm 56\ \mu\text{V}$ .

b) A incerteza expandida da medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada por um fator de abrangência  $k = 2$ , que, para uma distribuição de normal, corresponde a uma probabilidade de abrangência aproximada de 95%.

---