



**Coordenação Geral de Acreditação**

**ORIENTAÇÃO PARA ACREDITAÇÃO DE  
LABORATÓRIOS PARA O GRUPO DE  
SERVIÇOS DE CALIBRAÇÃO EM  
TEMPERATURA E UMIDADE**

**Documento de caráter orientativo**

**DOQ-CGCRE-009**

**Revisão 07 – ABR/2020**



## SUMÁRIO

- 1 Objetivo
- 2 Campo de Aplicação
- 3 Responsabilidade
- 4 Histórico das Revisões
- 5 Documentos de Referência
- 6 Documentos Complementares
- 7 Siglas
- 8 Considerações Gerais
- 9 Condições Ambientais e Instalações
- 10 Capacidade de Medição e Calibração (CMC)
- 11 Materiais, Equipamentos e Instrumentos
- 12 Padrões
- 13 Intervalo de Calibração
- 14 Métodos de Calibração
- 15 Exemplo de Avaliação da Incerteza Padrão na Área de Temperatura
- 16 Referências Bibliográficas

## 1 OBJETIVO

Este documento estabelece orientações para a acreditação de laboratórios que realizam calibração de sensores e/ou instrumentos usados para medição de temperatura e umidade.

Este documento foi desenvolvido de acordo com as diretrizes internacionais e contém aplicações sobre os requisitos da acreditação. Caso o laboratório siga estas orientações, atenderá aos respectivos requisitos; caso contrário, o laboratório deve demonstrar como é assegurado o seu atendimento. As não conformidades constatadas numa avaliação são registradas contra o requisito da acreditação e não contra este documento de orientação, porém as orientações deste documento serão consideradas pelos avaliadores e especialistas.

## 2 CAMPO DE APLICAÇÃO


Este documento aplica-se à Dicla, aos avaliadores e especialistas que atuam nos processos de acreditação de laboratórios e aos laboratórios de calibração acreditados e postulantes à acreditação na área de temperatura e umidade.

## 3 RESPONSABILIDADE

A responsabilidade pela revisão do conteúdo técnico deste documento é da Dicla.

## 4 HISTÓRICO DAS REVISÕES

Revisão	Data	Itens revisados
6	JUL/2017	- Correção, nas páginas 12 e 13, do símbolo delta ( $\delta$ ) que não foi impresso (abaixo da equação [2]).
7	ABR/2020	- Revisão do DOQ para atender ao Mod-Cgcre-004 - Inclusão da sigla EURAMET

	<b>DOQ-CGCRE-009</b>	<b>REV. 07</b>	<b>PÁGINA 3/19</b>
---	----------------------	--------------------	------------------------

## 5 DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Para referências, devem ser utilizadas as últimas edições dos documentos (incluindo emendas).


ABNT NBR ISO/IEC 17025	Requisitos Gerais para Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração
ASTM E-2623	Standard Practice for Reporting Thermometer Calibration
JCGM-100:2008	Avaliação de dados de medição – Guia para a expressão de incerteza de medição – GUM 2008. Inmetro 2012.
JCGM-104:2009	Avaliação de dados de medição - Introdução ao GUM e documentos correlatos, Inmetro 2014
VIM 2012	Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados. Inmetro

## 6 DOCUMENTOS COMPLEMENTARES

DOQ-Cgcre-028	Orientação para a Calibração de Câmaras térmicas sem carga
DOQ-Cgcre-032	Versão Brasileira do documento euramet cg-13 versão 3.0 (02/2015) Calibração de Calibradores de Temperatura com bloco
ISO 554	Standard Atmospheres for conditioning and/or testing - Specifications.
ISO 7243	Ergonomics of the thermal environment -- Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index
ISO GUM	
NIT-Dicla-021	Expressão da incerteza de medição por laboratórios de calibração
NR 15	

## 7 SIGLAS

Cgcre	Coordenação Geral de Acreditação
CMC	Capacidade de Medição e Calibração
CT	Comissão Técnica
Dicla	Divisão de Acreditação de Laboratórios
EURAMET	<i>European Association of National Metrology Institutes (Associação Europeia de Institutos Nacionais de Metrologia)</i>
DOQ	Documento Orientativo da Qualidade
EIT	Escala Internacional de Temperatura
IBUTG	Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo
MD	Multímetro Digital
NIT	Norma Inmetro Técnica
PG	Ponto Gelo
PTA	Ponto Triplo da Água
TLV	Termômetro de Líquido em Vidro
TPRP	Termômetro Padrão de Resistência de Platina
TRP	Termômetro de Resistência de Platina
UR	Umidade Relativa

	<b>DOQ-CGCRE-009</b>	<b>REV. 07</b>	<b>PÁGINA 4/19</b>
---	----------------------	--------------------	------------------------

## **8 CONSIDERAÇÕES GERAIS**

Este documento é resultado do trabalho da Comissão Técnica de Temperatura e Umidade (CT-11).

Todas as medições de temperatura, incluindo as realizadas para determinação da umidade, devem ser rastreáveis à Escala Internacional de Temperatura de 1990 (EIT-90).

## **9 CONDIÇÕES AMBIENTAIS E INSTALAÇÕES**

**9.1** As condições ambientais devem ser consideradas quanto à sua influência na incerteza de medição e na capacidade de medição e calibração do laboratório e enquadradas dentro dos seguintes parâmetros:

### **a) Temperatura**

Recomenda-se que a temperatura ambiente não exceda os limites entre 18 °C e 28 °C (limites estabelecidos de acordo com a ISO 554:1976). Em qualquer situação, a temperatura ambiente não deve exceder os limites especificados pelos fabricantes dos instrumentos de medição.

### **b) Umidade relativa**

Recomenda-se que a umidade do laboratório permaneça entre os limites 45 %UR e 70 %UR (limites estabelecidos de acordo com a ISO 554:1976). Em qualquer situação, a umidade relativa não deve exceder os limites especificados pelos fabricantes dos instrumentos de medição.

### **c) Alimentação elétrica**

O suprimento elétrico deve atender às especificações dos instrumentos de medição. Recomenda-se que o laboratório possua malha de aterramento para os equipamentos.

**9.2** Recomenda-se que banhos de líquido agitado, diferente de água, estejam instalados sob coifas para eliminação de vapores de óleo, fumaça etc., que podem ser prejudiciais a saúde do pessoal do laboratório.

**9.3** Recomenda-se que não sejam realizadas dentro do laboratório atividades como fabricação, montagem, manutenção, reparo, embalagem e desempacotamento de sensores ou instrumentos, mas em área separada.

**9.4** Recomenda-se manter um espaçamento mínimo entre os equipamentos do laboratório de modo a garantir que não haja mútua interferência térmica ou eletromagnética.

## **10 CAPACIDADE DE MEDIÇÃO E CALIBRAÇÃO (CMC)**

**10.1** A capacidade de medição e calibração do laboratório deve ser determinada a partir dos padrões de referência do laboratório.

**10.2** De acordo com a NIT-Dicla-021, a capacidade de medição e calibração é definida como a “menor incerteza de medição que um laboratório de calibração pode obter quando realiza calibrações ou medições dentro do escopo da sua acreditação (5.1)”. Além disso, no requisito 8.5 do Anexo da Nit-Dicla-021, a norma diz:



“Para determinação de sua CMC, os laboratórios de calibração devem dispor de evidências de que são capazes de fornecer a seus clientes calibrações para as quais a incerteza de medição seja igual à sua CMC. Na determinação da CMC, os laboratórios devem levar em conta o desempenho do “melhor dispositivo existente” para o tipo de calibração em questão.”

**10.3** Na área de temperatura e umidade, entende-se que as contribuições do melhor dispositivo existente são acessíveis aos laboratórios e recomenda-se que sejam consideradas no cálculo da CMC quando envolver um termômetro digital composto de sensor e indicador, por exemplo, a resolução do instrumento indicador, a repetibilidade da indicação e a estabilidade de curto prazo.

**10.4** Os exemplos de avaliação de incerteza mencionados neste documento (seções 15 e 16) ilustram quais as contribuições para incerteza que são consideradas na calibração de diversos tipos de artefatos.

## **11 MATERIAIS, EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTOS**

**11.1** Recomenda-se que materiais como, por exemplo, líquidos usados em banhos que ofereçam risco ao meio ambiente, quando não estiverem em uso, sejam protegidos e guardados em local apropriado e descartados de modo adequado.

**11.2** Recomenda-se que o laboratório tenha equipamentos que permitam a verificação intermediária da calibração dos padrões de temperatura e de umidade. Por exemplo: a determinação do ponto do gelo de termorresistências, a comparação entre um termopar de trabalho e o termopar de referência, entre outros.

**11.2.1.** Convém que as verificações da situação da calibração feitas pelo próprio laboratório sejam realizadas de acordo com um procedimento documentado e com incerteza estimada.

**11.2.2** Recomenda-se que os registros dessas verificações intermediárias evidenciem que o padrão continua apto a ser utilizado. Essa evidência pode ser obtida, por exemplo, a partir do cálculo do erro normalizado entre o valor obtido na verificação e a última calibração do padrão.


**11.3** Recomenda-se a utilização de banhos termostáticos e fornos com dimensões adequadas às dos sensores que serão calibrados. Quando esta condição não puder ser atendida, recomenda-se que o laboratório aplique as ações necessárias, certificando-se da validade delas. Por exemplo:

**11.3.1** A calibração de termômetros de vidro de imersão total em banhos que não permitam a imersão correta deve prever a aplicação da correção do erro de coluna emergente.

**11.3.2** A calibração de termorresistência ou termopar em banhos ou fornos, quando estes não permitirem a inserção mínima prevista em norma, ou quando não houver este dado em norma, deve ser precedida de um teste de imersão de modo a respaldar a calibração na imersão usada.

**11.3.3** A calibração de um número muito grande de sensores juntos, ou de sensores de grande massa, em relação às dimensões do banho ou forno deve ser feita após o laboratório realizar testes no meio térmico, para garantir que a transferência de calor pelos sensores não afeta a qualidade dos resultados da calibração.

**11.4** Recomenda-se que os sais utilizados na verificação de instrumentos de medição de umidade relativa sejam guardados em local apropriado de acordo com as recomendações dos fabricantes.

	<b>DOQ-CGCRE-009</b>	<b>REV. 07</b>	<b>PÁGINA 6/19</b>
--	----------------------	--------------------	------------------------

**11.5** Recomenda-se que os instrumentos de medição de umidade (higrômetros) e de umidade e temperatura (termohigrômetros) sejam calibrados empregando câmara climática ou gerador de umidade.

## **12 PADRÕES**

**12.1** Considera-se uma boa prática utilizar dois padrões nas calibrações rotineiras do laboratório. Esta prática possibilita a verificação do resultado de um padrão em relação ao outro e, conseqüentemente, considerando a diferença de suas calibrações, determinar um eventual problema na calibração no momento da realização.

- a)** Os padrões de temperatura e umidade podem ser classificados como de referência ou de trabalho.
- b)** Tanto para temperatura quanto para umidade, os padrões de referência devem ser instrumentos da maior confiabilidade do laboratório, de uso pouco frequentes e calibrados usualmente por um laboratório externo, com capacidade de medição e calibração superior a do laboratório.
- c)** Os padrões de trabalho, mesmo tendo a mesma qualidade dos padrões de referência, podem ser calibrados pelo próprio laboratório a partir dos padrões de referência. Os padrões de trabalho são usados com frequência maior do que os de referência em calibrações rotineiras, geralmente com incertezas maiores que a capacidade de medição e calibração do laboratório.
- d)** Convém que o laboratório documente se mantém padrões de referência com os quais calibra seus próprios padrões de trabalho ou se realiza as calibrações com padrões de referência calibrados por outro laboratório.
- e)** A distinção entre as classes dos padrões é admitida para favorecer aos laboratórios que, em função da demanda de serviços, com incertezas diferentes e maiores que a capacidade de medição e calibração do laboratório e do investimento na aquisição de padrões de qualidade esmerada e em maior número, podem estabelecer para os padrões de temperatura e umidade de referência um maior intervalo entre as calibrações.
- f)** O laboratório deve declarar o tipo dos padrões usados nas calibrações, a periodicidade de calibração dos padrões e se realiza verificações intermediárias da calibração dos seus padrões.
- g)** Apenas alguns tipos especiais de instrumentos poderão ser classificados como padrões de referência (12.2 a 12.6) e poderão ter um intervalo de calibração como estipulado para os padrões de referência na seção 13. Outros tipos de instrumentos terão seu intervalo de calibração como estipulado para os padrões de trabalho na seção 13 e, na medida em que sua estabilidade for comprovada por calibrações sucessivas, este intervalo poderá ser dilatado. Por outro lado, se as calibrações sucessivas revelarem uma estabilidade ruim, o intervalo deverá ser diminuído.
- h)** Recomenda-se que, sempre que possível, os instrumentos de medição usados em conjunto com os padrões de temperatura e de umidade, tais como potenciômetros, multímetros, pontes ou instrumentos similares sejam periodicamente verificados no próprio laboratório, através de métodos comparativos ou com instrumentos previamente calibrados. A verificação não substitui a calibração.
- i)** Quando o laboratório utilizar instrumentos que façam a leitura de termopares diretamente em temperatura, recomenda-se que inclua nas verificações intermediárias, a monitoração (e eventualmente ajuste) da compensação automática da junção referência, evidenciando que essa compensação não é um fator dominante na incerteza da sua calibração.
- j)** Quando o laboratório for acreditado para calibrações em campo (seja nas instalações do cliente ou em laboratórios móveis), recomenda-se que tenha pelo menos dois instrumentos de leitura: um que vai a campo e outro dedicado às calibrações nas instalações do laboratório e que tenha procedimentos para garantir que o instrumento levado a campo continua em condições de uso antes de ser reutilizado em outro serviço.



## 12.2 Termopar de referência

Um termopar de referência deve ser fabricado com fios de metal de alta pureza e pertencer a um dos tipos seguintes:

- a) termopar de ouro versus platina (Au x Pt) até 1000 °C;
- b) termopar de platina versus paládio (Pt x Pd) até 1500 °C;
- c) termopar de platina+10 % ródio versus platina (Pt+10 %Rh x Pt, tipo S), para temperaturas até 1200 °C);
- d) termopar de platina+13 % ródio versus platina (Pt+13 %Rh x Pt, tipo R), para temperaturas até 1200 °C);
- e) termopar de platina+30 % ródio versus platina+6 % ródio (Pt+30 %Rh x Pt+6 %Rh, tipo B, para temperaturas de 600 °C a 1700 °C).

## 12.3 Termômetro de resistência de platina de referência (TRP)

Os termômetros de resistência de platina que podem ser usados como de referência por ordem de preferência e faixa de temperatura são:

- 1) TRP de 25,5 ohms na faixa entre -200 °C e 660 °C;
- 2) TRP de 100 ohms na faixa entre -200 °C e 850 °C;
- 3) TRP de 2,5 ohms ou de 0,25 ohms na faixa entre 0 °C e 960 °C.

Um termômetro de resistência de referência deve ser de quatro fios, deve possuir características de construção que possibilitem uma estabilidade do valor de  $R(t)$  medido no ponto do gelo ou no ponto triplo da água menor ou igual a 0,01 °C para TRP com  $R(0)$  diferente de 100  $\Omega$  e menor que 0,025 °C para TRP de 100  $\Omega$ . A resistência de isolamento deve ser maior do que 100 M $\Omega$  à temperatura ambiente, quando excitado com uma tensão entre 10 V e 100 V.

Nota 1 - Convém que o laboratório considere a estabilidade do TRP que emprega como padrão na determinação da sua capacidade de medição e calibração.

Nota 2 - Convém que o laboratório mantenha o registro das medições de  $R(0)$  evidenciando a estabilidade do termômetro e a ação prevista, caso o limite permitido seja ultrapassado.

## 12.4 Higrômetros de referência do tipo condensação (espelho resfriado)


Este é o tipo de higrômetro mais recomendado para ser utilizado como referência nas medições de umidade. O higrômetro deve possuir espelho para condensação do vapor d'água, sistema automático de detecção da condensação e resolução de 0,1 %ur e/ou 0,1 °C de ponto de orvalho ou melhor.

## 12.5 Higrômetro de referência do tipo capacitivo ou indutivo

Higrômetro de referência do tipo capacitivo ou indutivo deve possuir resolução de 0,1 %ur ou melhor.

## 12.6 Psicrômetro de referência

Um psicrômetro de referência deve ser aspirado, a mecha deve ser umedecida por meio de água destilada ou deionizada e os termômetros devem ser termorresistências. A indicação de umidade pode ser direta ou por meio de tabela ou cálculo.

	<b>DOQ-CGCRE-009</b>	<b>REV. 07</b>	<b>PÁGINA 8/19</b>
---	----------------------	--------------------	------------------------

### **12.7 Pirômetro de referência**

Um pirômetro de referência deve possuir ajuste de emissividade (até 1,00), foco ajustável, menor diâmetro de alvo igual a, no mínimo, 1/3 do diâmetro da cavidade que o laboratório utiliza e operar na mesma faixa espectral do item que será calibrado.

### **12.8 Lâmpada padrão de referência**

Apenas lâmpadas de tungstênio de alta estabilidade e filamento em forma de fita e com picote lateral no filamento para identificar a área de emissão de radiação. Estas lâmpadas devem ser montadas em bases refrigeradas para manter as extremidades dos filamentos em temperatura constante uma vez que a temperatura do filamento aumenta com a corrente de aquecimento do filamento.

### **12.9 Calibradores de temperatura com bloco, fornos de corpo negro, banhos termostáticos, câmaras térmicas e câmaras climáticas**

Para este tipo de equipamento poder ser usado como padrão de trabalho, recomenda-se que o meio térmico tenha sido calibrado de acordo com procedimento documentado.

Para câmaras térmicas, recomenda-se que atenda aos requisitos do DOQ-Cgcre-028 - Orientação para a calibração de câmaras térmicas sem carga.

Para fornos, em particular calibradores de temperatura com bloco, recomenda-se que atenda aos requisitos do DOQ-Cgcre-032 - Versão brasileira do documento EURAMET cg-13 versão 3.0 (02/2015) Calibração de calibradores de temperatura com bloco.

## **13 INTERVALO DE CALIBRAÇÃO**

**13.1** Recomenda-se que os intervalos entre as calibrações levem em conta a intensidade do uso e a exatidão desejada. Em geral, os intervalos entre as calibrações dependem das condições de uso e de armazenagem.

Uma vez que os padrões de temperatura e de umidade podem ser usados para medir diferentes temperaturas ou umidades em condições variadas, intervalos precisos de calibração não podem ser estabelecidos. Nestes casos, cabe ao laboratório evidenciar através de verificações intermediárias que não há desvio significativo na exatidão dos padrões por ele utilizados. A seção 10.2 sugere limite inicial máximo do intervalo entre calibrações.


Quando o laboratório não dispuser de uma hierarquia de padrões, isto é que tenha padrão de referência e padrão de trabalho, convém que o laboratório utilize o intervalo de calibração estabelecido para padrão de trabalho.

### **13.2 Intervalos de calibração e verificação entre calibrações**

#### **13.2.1 Termômetro de resistência de platina de trabalho**

O intervalo dependerá da faixa de medição de temperatura com o TRP e da frequência do uso. Porém, o intervalo inicial máximo recomendado é de um ano ou quando o desvio, em relação ao valor do certificado, no valor de  $R(t)$  medido no ponto do gelo ou no ponto triplo da água for superior a  $0,025\text{ }^{\circ}\text{C}$  com TRP de  $100\ \Omega$  ou superior a  $0,01\text{ }^{\circ}\text{C}$  com TRP de  $0,25\ \Omega$ ,  $2,5\ \Omega$  ou  $25\ \Omega$ .



	<b>DOQ-CGCRE-009</b>	<b>REV. 07</b>	<b>PÁGINA 9/19</b>
---	----------------------	--------------------	------------------------

O desvio deve ser verificado no ponto triplo da água ou o ponto do gelo.

### **13.2.2 Termômetro de resistência de platina de referência**

Recomenda-se a recalibração no máximo a cada cinco anos ou sempre que a verificação no ponto triplo da água (ou no ponto do gelo) apresentar desvio superior a 0,025 °C para TRP de 100 Ω e superior 0,01 °C para TRP de 0,25 Ω, 2,5 Ω ou 25 Ω em relação ao valor do certificado. Estes limites são o valor máximo tolerado.

### **13.2.3 Termopar de trabalho**

O intervalo inicial máximo recomendado é de um ano. A recalibração também é necessária quando a comparação com um padrão de referência em 1000 °C, ou a maior temperatura de uso, apresentar uma diferença maior que a incerteza da última calibração do termopar de trabalho.

### **13.2.4 Termopar de referência**

**13.2.4.1** Recomenda-se para os termopares dos tipos S, R ou B que o intervalo inicial máximo seja de quatro anos, ou de quarenta utilizações, ou de 300 horas de uso em 1000 °C se o sensor não for usado acima desta temperatura, ou de 100 horas de uso em 1200 °C (tipos S e R) e 1700 °C (tipo B), sempre que a temperatura máxima de utilização do termopar corresponder aos valores acima.

**13.2.4.2** Para os termopares de Au-Pt, recomenda-se um intervalo inicial de 1000 horas de uso em 1000 °C.

**13.2.4.3** Para termopares de Pd-Pt, recomenda-se um intervalo inicial de 300 horas de uso em 1500 °C.

**13.2.4.4** Quando o laboratório utilizar o termopar de referência numa temperatura máxima abaixo dos limites acima, o intervalo inicial deverá ser determinado com base na literatura ou determinado através de evidência experimental pelo laboratório devidamente registrada.

Nota 1 - convém que o laboratório mantenha registros do controle da utilização de seus termopares de referência, correlacionando com os registros das verificações intermediárias.

### **13.2.5 Psicrômetro aspirado (referência ou trabalho)**


O intervalo inicial máximo de calibração recomendado é de 6 meses.

### **13.2.6 Higrômetro do tipo condensação (espelho resfriado) (referência ou trabalho)**

Recomenda-se que seja calibrado a cada 12 meses.

### **13.2.7 Higrômetro do tipo capacitivo ou indutivo (referência ou trabalho)**

Recomenda-se que seja calibrado a cada 12 meses.

	<b>DOQ-CGCRE-009</b>	<b>REV. 07</b>	<b>PÁGINA 10/19</b>
---	----------------------	--------------------	-------------------------

### **13.2.8 Pirômetro de radiação de trabalho**

a) O intervalo depende do tempo de uso na temperatura mais alta, mas recomenda-se a calibração a cada seis meses.

b) Deve ser calibrado contra uma fonte padrão de radiação (forno de corpo negro) ou por comparação com um pirômetro de radiação de referência, desde que ambos, referência e trabalho, operem no mesmo comprimento de onda e a área efetiva de medição seja a mesma.

### **13.2.9 Pirômetro de radiação de referência**

Recomenda-se que seja calibrado a cada dois anos.

### **13.2.10 Lâmpada padrão (de referência ou trabalho)**

Recomenda-se que seja calibrada a cada duzentas horas de uso efetivo.

### **13.2.11 Potenciômetros, pontes e instrumentos de medição**

Recomenda-se que sejam calibrados a cada doze meses. A calibração destes instrumentos pode ser verificada, por exemplo, no caso de uma ponte de resistência através de comparações periódicas com resistências padrões calibradas.

A calibração destes instrumentos deve ser feita sempre em um número suficiente de pontos de calibração que permita avaliar a linearidade do instrumento e garantir a interpolação de valores de correções em um ponto intermediário entre dois pontos de calibração consecutivos com segurança. Por exemplo, um multímetro usado na calibração de termopares deve ser calibrado pelo menos na faixa de 0,1 mV a 75 mV.

### **13.2.12 Fornos, fornos de corpo negro, banhos e câmaras climáticas usados como padrão de trabalho**


Recomenda-se que sejam calibrados a cada doze meses. Recomenda-se a verificação trimestral com padrões calibrados: termopares, termorresistências, pirômetros de radiação ou higrômetros, conforme o tipo de equipamento.

Nota 1 - O DOQ-Cgcre-032 orienta sobre como realizar a calibração de fornos de bloco metálico. Procedimento análogo pode ser utilizado para banhos.

Nota 2 - O DOQ-Cgcre-028 orienta sobre como realizar a calibração de câmaras térmicas.

### **13.2.13 Fornos, banhos e câmaras climáticas usados como meios térmicos**

Convém que o funcionamento dos equipamentos auxiliares usados nas calibrações como fornos, banhos e câmaras sempre seja avaliado antes do primeiro uso e, a partir desta avaliação inicial, em intervalos não superiores a 3 (três) anos. Esta avaliação visa determinar a distribuição e estabilidade da temperatura de fornos e banhos e da temperatura e umidade de câmaras climáticas. Estes parâmetros influenciam o resultado da calibração e podem variar em função, por exemplo, da deterioração do bloco de equalização, da resistência de aquecimento, do líquido de refrigeração ou aquecimento etc.

	<b>DOQ-CGCRE-009</b>	<b>REV. 07</b>	<b>PÁGINA 11/19</b>
---	----------------------	--------------------	-------------------------

Convém que a avaliação seja repetida após uma operação de manutenção com troca de elementos sensíveis como o bloco de equalização ou a resistência de aquecimento etc. Por esta razão, do mesmo modo que para a determinação do intervalo de calibração dos padrões, recomenda-se que o intervalo inicial para a realização da avaliação seja moderado, por exemplo, de 6 a 12 meses e, conforme o histórico do equipamento, seja aumentado até um máximo de 3 anos.

## **14 MÉTODOS DE CALIBRAÇÃO**

Considerando que na área de temperatura e umidade existem diversas normas nacionais, internacionais e documentos de orientação nacionais e internacionais, não se considera necessária a validação dos métodos de calibração, ainda que o método do laboratório seja fruto da combinação de diversos documentos.

Espera-se, igualmente, que o laboratório comprove sua capacidade de operar tais métodos normalizados, evidenciada através da implementação de todas as orientações acima mencionadas.

### **14.1 Medidores de IBUTG**

IBUTG é o acrônimo de Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo. Este índice é usado para determinar o estresse térmico e, de acordo com a norma ISO 7243 e o Anexo 3 da NR 15, é um índice calculado a partir das medições de temperatura com: termômetro de globo, termômetro de bulbo úmido natural e termômetro do ar ambiente.

Os medidores de Índice de Bulbo Úmido e Temperatura de Globo (IBUTG) estão bem descritos na norma internacional ISO 7243:2017 “Ergonomics of the thermal environment -- Assessment of heat stress using the WBGT (wet bulb globe temperature) index”, em seu capítulo 3.

Apesar de especificar detalhadamente a instrumentação IBUTG, a ISO 7243 não recomenda e nem indica como calibrá-los. Após várias discussões na antiga Divisão de Metrologia Térmica e na CT-11, em seminário, foi obtido o consenso quanto à calibração desse tipo de instrumentação.

Caso a montagem dos sensores de temperatura permita, a calibração realizar-se-á primeiramente com a retirada dos sensores de seus respectivos dispositivos (bulbo úmido, globo e ar) e serão calibrados como simples sensores de temperatura em banhos de calibração normalmente utilizados em termometria. Cada sensor deverá ser univocamente identificado e remontado em seu dispositivo original.

Se a instrumentação vier acoplada a um indicador eletrônico, a calibração deverá ser realizada tendo como valor final a indicação do instrumento e tendo como cadeia de medição o sensor, os cabos e a saída em temperatura do indicador.

No caso de o medidor não emitir sinal algum, a leitura direta em seu corpo fornecerá o valor da temperatura como nos casos de um termômetro de líquido em vidro ou um termômetro bimetálico, por exemplo.

Se a instrumentação IBUTG vier acoplada a um indicador, este deverá possuir uma resolução de, no mínimo, 0,1 °C. Para “zerar” o instrumento, cada um dos três sensores deverá ser inserido em um banho de gelo a 0 °C e sua leitura corrigida utilizando-se o sistema de ajuste do indicador até que cada canal dos termômetros indique 0 °C.



Os pontos de calibração devem contemplar as temperaturas inferiores e superiores fixadas pela ISO 7243 para cada dispositivo (bulbo úmido natural, globo e ar) e, no mínimo, um ponto intermediário.

Recomenda-se aos laboratórios incluírem nos certificados uma declaração de que a calibração se refere apenas aos termômetros e não ao instrumento utilizado para a determinação do IBUTG.

## 15 EXEMPLO DE AVALIAÇÃO DA INCERTEZA PADRÃO NA ÁREA DE TEMPERATURA

Recomenda-se que a avaliação da incerteza padrão seja feita de acordo com as orientações do Guia para a Expressão da Incerteza de Medição (ISO GUM) e NIT-Dicla-021.

Recomenda-se aos laboratórios que estabeleçam um modelo matemático da medição a partir do qual preparem a planilha de determinação da incerteza da medição. A seguir, apresentamos um exemplo. Modelos análogos ao exemplificado podem ser adaptados pelo laboratório.

### 15.1 Calibração de um termômetro de líquido em vidro (TLV) em 300 °C

Um TLV de escala interna com escala de 0 °C a 300 °C e menor divisão de escala de 0,1 °C é calibrado num banho de sal fundido usando como padrão um termômetro de resistência de platina padrão (TRPP) de 25 ohms.

O certificado de calibração do TRPP define as incertezas de calibração em 0,01  $u_{pta} = 0,0002$  °C e em 300 °C  $u_{300} = 0,0033$  °C, ambas com  $k = 2$ .

A calibração do TLV consiste em se determinar a correção da escala,  $C$ , do TLV em 300 °C.

As leituras no TLV são realizadas com auxílio de uma lupa com aumento de 8x e interpoladas na casa centesimal. As indicações do TRPP são lidas através de um multímetro digital (MD) com resolução de 0,00001  $\Omega$ , permitindo uma leitura dentro de  $\pm 0,000005$   $\Omega$ .

A estabilidade do TLV é verificada através da diferença entre as indicações do TLV no ponto gelo (PG) realizadas no início da calibração e após a calibração em 300 °C.

O TRPP é medido no ponto triplo da água (PTA) após a calibração para o cálculo da razão  $W(t) = R(t)/R(PTA)$ . O cálculo da temperatura do banho é feito a partir do valor de  $W(t)$  com as equações usadas da Escala Internacional de temperatura de 1990 (EIT-90) e as constantes de calibração do TRPP.

Os dados da calibração são apresentados na tabela 1 abaixo.

**Tabela 1 - Dados da calibração de TLV em 300 °C**

Instrumento	Ponto	Leitura 1	Leitura 2	Leitura 3	Leitura 4	Unidade
TLV PG inicial	0 °C	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	°C
TLV	300 °C	300,00	300,00	300,00	300,00	°C
TRPP	300 °C	54,70447	54,70443	54,70446	54,70441	$\Omega$
TLV PG final	0 °C	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	°C
TRPP PTA	0,01 °C	25,53448	25,53450	25,53454	25,53452	$\Omega$



Como o TRP é lido em ohms, é preciso corrigir os valores de resistência com as correções do certificado de calibração do multímetro antes de se calcular o valor de temperatura.

Neste exemplo, do certificado de calibração do multímetro digital, as correções são respectivamente 0,00005  $\Omega$  em 54 ohms e 0,00002 ohms em 25 ohms. Nos dois valores de resistência, a incerteza de calibração é 8 ppm com  $k = 2$ .

A tabela 2 seguinte apresenta os valores médios e os desvios-padrão das leituras dos instrumentos.

**Tabela 2 - Valores das médias e desvios-padrão das leituras do TLV e TRP**

Instrumento	Ponto	Média	Desvio padrão	Grau de liberdade	Unidade
TLV PG inicial	0 °C	-0,01	-0,00	3	°C
TLV	300 °C	300,00	0,00	3	°C
TPRP	300 °C	54,704443	0,000028	3	$\Omega$
TLV PG final	0 °C	-0,03	-0,00	3	°C
TRPP PTA	0,01 °C	25,534510	0,000026	3	$\Omega$

O valor de  $R(t)$  e sua respectiva incerteza  $u_{R(t)}$  serão calculados a partir da equação abaixo.

$$R(t) = R + \delta R + \delta R_{\text{der}} + \delta R_{\text{res}} \quad (1)$$

Onde:

$R(t)$  é o valor corrigido do valor médio das leituras

$R$  é o valor médio das 4 leituras no MD com o TPRP 54,704443  $\Omega$ . A incerteza-padrão em  $R$  corresponde ao desvio-padrão das leituras 0,000028  $\Omega$ .

$\delta R$  é a correção do certificado de calibração do MD vale 0,00005  $\Omega$  com uma incerteza de 8 ppm com  $k = 2$ . Assim, em 54,7 ohms a incerteza será aproximadamente 0,000438  $\Omega$ .

$\delta R_{\text{res}}$  é correção devido à resolução finita do MD

$\delta R_{\text{der}}$  é a correção devido à deriva do MD, ou seja, é a correção devido à variação da calibração do instrumento de medição de resistência. Este valor é determinado a partir da diferença entre as correções das indicações obtidas no certificado atual e no anterior. Neste exemplo, consideramos a correção ser nula, mas a incerteza ( $u_d$ ) é determinada pela diferença das indicações. Esta diferença vale 0,00001  $\Omega$ .

Algumas destas correções podem ser nulas, porém a incerteza delas não. Também é possível que algumas destas contribuições para a incerteza sejam pouco significativas e outras desprezadas.

A tabela 3 apresenta os valores destas contribuições.

**Tabela 3 - Valor de  $R(t)$  e incerteza-padrão em  $u_{R(t)}$**

Grandeza	Estimativa	Incerteza-padrão	Unidade	Tipo de distribuição	Divisor	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição à incerteza-padrão	Unidade	Graus de liberdade
$R$	54,704443	0,000028	$\Omega$	Normal	1	1	0,000028	$\Omega$	3
$\delta R$	0,000050	0,000438	$\Omega$	Normal	2	1	0,000219	$\Omega$	$\infty$
$\delta R_{\text{res}}$	0	0,00001	$\Omega$	Retangular	2 x 1,73	1	0,0000029	$\Omega$	$\infty$
$\delta R_{\text{der}}$	0	0,00001	$\Omega$	Retangular	1,73	1	0,0000058	$\Omega$	$\infty$
<b><math>R(t)</math></b>	<b>54,704493</b>	$\Omega$				<b><math>u_{R(t)}</math></b>	<b>0,000221</b>	$\Omega$	$\infty$



O valor de  $R(\text{PTA})$  e sua respectiva incerteza  $u_{R(\text{PTA})}$  serão calculados a partir da equação abaixo.

$$R(\text{PTA}) = R_{\text{pta}} + \delta R_{\text{pta}} + \delta R_{\text{pta}_r} + \delta R_{\text{pta}_d} + \delta R_{\text{pta}_e} + \delta t_{\text{pta}} \quad (2)$$

Onde:

$R(\text{PTA})$  é o valor médio das leituras com o TRP corrigido.

$R_{\text{pta}}$  é o valor médio das 4 leituras no MD para o TPRP no ponto triplo da água 25,534510  $\Omega$ . A incerteza-padrão em  $R_{\text{pta}}$  corresponde ao desvio-padrão das leituras 0,000026  $\Omega$ . O grau de liberdade é o número de leituras  $N-1$ .

$\delta R_{\text{pta}}$  é a correção do valor da resistência do TRP medido na temperatura do ponto triplo da água. A correção 0,00002  $\Omega$  e a incerteza de 8 ppm com  $k = 2$  são obtidas no certificado de calibração do MD. Assim, em 25,5 ohms a incerteza será aproximadamente 0,00020  $\Omega$ .

$\delta R_{\text{pta}_r}$  é a correção devido à resolução 0,00001  $\Omega$  finita do indicador do termômetro padrão. A correção é nula e a incerteza,  $u_{R_{\text{pta}_r}}$ , é metade da resolução e a distribuição retangular.

$\delta R_{\text{pta}_d}$  é a correção devido à variação da calibração ou deriva do MD. Este valor é determinado a partir da diferença entre as correções da indicação obtidas no certificado atual e no anterior. Neste exemplo, a correção é considerada ser nula, mas a incerteza é determinada pela diferença das indicações. Esta diferença vale 0,00001  $\Omega$ .

$\delta R_{\text{pta}_e}$  é a correção devido à estabilidade do TPRP. A correção devido à estabilidade do TRP é nula, mas a contribuição para a incerteza não. Ela ( $u_{R_{\text{pta}_e}} = 0,0002$   $\Omega$ ) é determinada pela variação entre o valor da resistência do TRP medido no ponto triplo da água após a medida de  $R_t$  ( $R_{\text{pta}}$  atual) e o último valor da resistência do TRP medido no ponto triplo da água antes da medida de  $R_t$  ( $R_{\text{pta}}$  anterior).

$\delta t_{\text{pta}}$  é o valor da correção da temperatura do ponto triplo da água. Esta correção é nula mas o valor da incerteza  $u_{\delta t_{\text{pta}}} = 0,0001$   $^{\circ}\text{C}$  não é nulo. Este valor provém da própria realização do ponto triplo da água dentro da célula, mas não é tratado aqui como este valor é apurado. Para converter  $u_{\delta t_{\text{pta}}}$  de graus Celsius para ohms, multiplicamos pelo coeficiente de sensibilidade  $dR/dt = 0,1$   $\Omega/^{\circ}\text{C}$  de um TRP de 25 ohms em 0  $^{\circ}\text{C}$ .

A tabela 4 apresenta os valores destas contribuições.

**Tabela 4 - Valor de  $R(\text{PTA})$  e incerteza-padrão em  $u_{R_{\text{pta}}}$**

Grandeza	Estimativa	Incerteza-padrão	Unidade	Tipo de distribuição	Divisor	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição à incerteza-padrão	Unidade	Graus de liberdade
$R_{\text{pta}}$	25,534510	0,000026	$\Omega$	Normal	1	1	0,000026	$\Omega$	3
$\delta R_{\text{pta}}$	0,000020	0,00020	$\Omega$	Normal	2	1	0,000102	$\Omega$	$\infty$
$\delta R_{\text{pta}_r}$	0	0,00001	$\Omega$	Retangular	2 x 1,73	1	0,0000029	$\Omega$	$\infty$
$\delta R_{\text{pta}_d}$	0	0,00001	$\Omega$	Retangular	1,73	1	0,0000058	$\Omega$	$\infty$
$\delta R_{\text{pta}_e}$	0	0,0002	$\Omega$	Retangular	1,73	1	0,0001155	$\Omega$	$\infty$
$\delta t_{\text{pta}}$	0	0,0001	$^{\circ}\text{C}$	Normal	1	0,1 $\Omega/^{\circ}\text{C}$	0,0000010	$\Omega$	$\infty$
<b><math>R(\text{PTA})</math></b>	<b>25,534530</b>	$\Omega$					<b><math>u_{R_{\text{pta}}}</math></b>	<b><math>\Omega</math></b>	<b><math>\infty</math></b>

Assim, podemos calcular o valor de  $W(t)$  pela expressão 3 abaixo:

$$W(t) = \frac{R(t)}{R(\text{PTA})} \dots\dots\dots (3)$$

O valor de  $W(t)$  também será usado com as equações da EIT-90 e as constantes de calibração do TPRP para se calcular o valor da temperatura do banho  $t$ .



$$W(t) = \frac{R(t)}{R(PTA)} = \frac{R(300^{\circ}\text{C})}{R(0,01^{\circ}\text{C})} = \frac{54,704493\Omega}{25,534530\Omega} = 2,142373.$$

A incerteza em W(t) será calculada a partir da equação 3 acima como:

$$u_{Wt}^2 = \left[ \left( \frac{1}{R_{pta}} \right)^2 \cdot u_{Rt}^2 + \left( \frac{Wt}{R_{pta}} \right)^2 \cdot u_{R_{pta}}^2 \right] \dots\dots\dots(4)$$

Então, pela equação 4, a incerteza no valor de W(t), será  $u_{W(t)} = 0,0000157$ .

Para converter o valor da incerteza de W(t), que é adimensional, para a unidade de temperatura, precisaremos usar as equações da EIT-90.

A equação da EIT-90 que define a temperatura t para um TRP na faixa de temperatura entre 0 °C e 420 °C é

$$T_{90} - 273,15 = D_0 + \sum_1^9 D_i \left\{ \frac{W_r(T_{90}) - 2,64}{1,64} \right\}^i \quad (5)$$

Onde a função de referência  $\Delta W(T_{90})$  é definida para esta faixa de temperatura por

$$\Delta W(T_{90}) = W(T_{90}) - W_r(T_{90}) = a[W(T_{90}) - 1] + b[W(T_{90}) - 1]^2 \quad (6)$$

O certificado do TRPP fornece os seguintes valores das constantes **a** e **b** de calibração **a** = -8,126855E-05 e **b** = -2,405063E-06. A incerteza dos valores de temperatura em 300 °C é 0,0042 °C com k = 2.

Assim, com a equação 6 podemos calcular o valor de  $W_r(T_{90})$  por

$$W_r(T_{90}) = W(t) - a[W(t)-1] - b[W(t)-1]^2 = 2,142373$$

Com a equação 5, calculamos então o valor de T em kelvins, ou t em grau Celsius e não usarmos o fator de conversão da fórmula 273,15.

Os coeficientes da equação 5 são:

i	D <sub>i</sub>
0	439,9328540
1	472,4180200
2	37,6844940
3	7,4720180
4	2,9208280
5	0,0051840
6	-0,9638640
7	-0,1887320
8	0,1912030
9	0,0490250

Assim, a temperatura de calibração é  $t = 299,8979^{\circ}\text{C}$ .



O fator de conversão de  $u_{W(t)}$  é o coeficiente diferencial  $dt/dW(t)$ , que pode ser obtido a partir da equação 5 por:

$$\frac{dt}{dW} \approx \frac{dt}{dW_r} = \frac{d}{dW_r} \left[ D_0 + \sum_1^9 D_i \left\{ \frac{W_r(T_{90}) - 2,64}{1,64} \right\}^i \right] = \sum_1^9 \frac{i \cdot D_i}{1,64} \left\{ \frac{W_r(T_{90}) - 2,64}{1,64} \right\}^{i-1} \quad (7)$$

Assim, com a equação 7, o valor de  $dt/dW = 275,19 \text{ }^\circ\text{C}$ , ou se preferirmos  $dW/dt = 0,003633 \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ .

Desse modo, voltando ao valor calculado com a equação 4 para a incerteza no valor de  $W(t)$ , teremos  $u_{W(t)} = 0,0000157 = 0,0000157 \times 275,19 \text{ }^\circ\text{C}$  ou  $u_{W(t)} = 0,0043 \text{ }^\circ\text{C}$

Sabemos agora que a temperatura do banho onde o TLV é calibrado é:

$$t = 299,8979 \text{ }^\circ\text{C} \text{ com uma incerteza-padrão } u_t = u_{W(t)} = 0,0043 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Portanto, a correção da escala  $C$  do TLV em  $300 \text{ }^\circ\text{C}$  dada pela equação:

$$C = t_{bt} - t_{ind} \quad (8)$$

Onde:

$C = 299,8979 - 300,00 = -0,1021 \text{ }^\circ\text{C}$  é a correção da temperatura indicada, isto é, a correção que aplicada à temperatura indicada pelo TLV resulta na temperatura correta do meio. Em função da resolução do TLV, é mais correto aproximar o valor da correção para 2 casas decimais, ou seja,  $C = 0,10 \text{ }^\circ\text{C}$ .

$t_{bt} = t = 299,8979 \text{ }^\circ\text{C}$ , é a temperatura do banho termostático. Como a temperatura do banho termostático é estabelecida pelo termômetro padrão (TRP), seu valor é igual a  $t$ .

$t_{ind} = 300,00 \text{ }^\circ\text{C}$  é a temperatura indicada pelo TLV.

Para expressar a incerteza da correção de acordo com a NIT-Dicla-021, é preciso escrever a equação relacionando a dependência do mensurando (grandeza de saída)  $C$  com as grandezas de entrada da equação (3):  $t_{bt}$  e  $t_{ind}$ .

A equação proposta para considerar as grandezas de influência pode ser bastante extensa e depende do sistema de calibração usado e do conhecimento do termometrista. De todo modo, as principais e mais significativas devem ser todas identificadas.

Para a temperatura  $t_{bt}$  do banho, já temos a incerteza proveniente das medições e interpolações com as equações da EIT-90, mas falta a da própria calibração do TRP e que consta no seu certificado de calibração. Também falta considerarmos a estabilidade e a não uniformidade do banho.

Assim, a equação mais simples para  $t_{bt}$  é:

$$t_{bt} = t + \delta t + \delta t_p + \delta t_{est} + \delta t_{bt} \quad (9)$$

Onde:

$t = 299,8979 \text{ }^\circ\text{C}$ , é a temperatura determinada pelo TRP para o banho termostático.

$\delta t$  é a correção de temperatura devido às medições de resistência para determinação de  $W(t)$  e  $t$ . A correção é nula e a incerteza  $u_t$  do valor de temperatura foi obtida anteriormente e vale  $0,0043 \text{ }^\circ\text{C}$ ; o grau de liberdade é  $\infty$ .





$\delta t_p$  é a correção de temperatura devido à calibração do termômetro padrão. A correção é nula e a incerteza  $u_p$  do valor de temperatura é fornecida no certificado de calibração do TRP. Essa contribuição é herdada e, geralmente, com um nível de confiança  $k = 2$ .

$\delta t_{est}$  é a correção de temperatura devido à estabilidade do banho. Seu valor é nulo, mas sua incerteza  $u_{est}$  não. Geralmente essa contribuição é determinada pelo próprio laboratório e é considerada retangular. A incerteza devido à estabilidade do banho termostático em 300 °C foi determinada como sendo 0,002 °C.

$\delta t_{ba}$  é a correção de temperatura devido à não uniformidade do banho termostático. Seu valor é nulo, mas sua incerteza  $u_{ba}$  não. Também é retangular.

A incerteza de temperatura indicada pelo TLV é dada por:

$$t_{ind} = t_m + \delta t_{lx} + \delta t_{ce} + \delta t_{vb} \quad (10)$$

Onde:

$t_m$  300,00 °C é a indicação média do TLV. A contribuição para a incerteza é o desvio padrão dos valores lidos. O grau de liberdade é o número de leituras  $N-1$ .

$\delta t_{lx}$  é a correção devido ao erro de paralaxe na leitura da indicação do TLV. Este valor é estimado por uma fração da divisão de escala do TLV. Em geral 1/2, 1/4 ou 1/5 dependendo da distância entre os traços. Quando a leitura é realizada com auxílio de dispositivos ópticos de aumento, pode-se chegar, em alguns casos, a 1/10 da divisão da escala do termômetro. A correção devido ao erro de paralaxe é nula, mas a contribuição  $u_{lx}$  não;  $u_{lx} = 0,1 \text{ °C}/5 = 0,02 \text{ °C}$ .

$\delta t_{ce}$  é a correção devido ao erro de imersão do TLV. Esta correção pode não ser nula quando a temperatura da coluna emergente do TLV é diferente da recomendada. Quando isto ocorrer, deve ser calculada a incerteza  $u_{ce}$  desta correção.

$\delta t_{vb}$  é a correção devido à variação do volume do bulbo do termômetro durante a calibração, obtida pela diferença entre as correções do ponto mais baixo da escala, realizadas no início (-0,01 °C) e no final (-0,03 °C) da calibração (depreciação temporária do zero). A contribuição para a incerteza  $u_{vb}$  é igual a esta diferença.

Assim, a equação da incerteza na correção  $C$  no TLV pode ser escrita como:


$$C = t + \delta t + \delta t_p + \delta t_{est} + \delta t_{bt} - t_m - \delta t_{lx} - \delta t_{ce} - \delta t_{vb} \quad (11)$$

A tabela 5 apresenta os valores da correção e da incerteza de  $C$ .

**Tabela 5 - Incerteza-padrão da correção  $C$  do TLV**

Grandeza	Estimativa	Incerteza-padrão	Unidade	Tipo de distribuição	Divisor	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição à incerteza-padrão	Unidade	Graus de liberdade	
$t$	299,8979	0,0043	°C	Normal	1	1	0,0043	°C	3	
$\delta t_p$	0	0,0033	°C	Normal	2	1	0,0017	°C	$\infty$	
$\delta t_{est}$	0	0,002	°C	Retangular	1,73	1	0,0012	°C	$\infty$	
$\delta t_{bt}$	0	0,005	°C	Retangular	1,73	1	0,0029	°C	$\infty$	
$t_{ind}$	300,00	0,00	°C	Normal	1	1	0,0000	°C	3	
$\delta t_{lx}$	0	0,02	°C	Retangular	1,73	1	0,0115	°C	$\infty$	
$\delta t_{vb}$	0	-0,02	°C	Retangular	1,73	1	-0,0115	°C	$\infty$	
$C$	-0,1021	°C	k = 1			u	0,0173	°C	758	
$C$	<b>-0,10</b>	<b>°C</b>	<b>Incerteza expandida, k =</b>			<b>2</b>	<b>U</b>	<b>0,03</b>	<b>°C</b>	<b><math>\infty</math></b>

A incerteza expandida de  $C$  com  $k = 2$  é  $U = 0,03 \text{ °C}$ .

	<b>DOQ-CGCRE-009</b>	<b>REV. 07</b>	<b>PÁGINA 18/19</b>
--	----------------------	--------------------	-------------------------

## 15.2 Calibração termopar

Um exemplo da determinação da incerteza de calibração por comparação de termopar, quando o padrão de temperatura também é um termopar, pode ser encontrado no documento Euramet cg 8 Versão 2.1.

## 15.3 Calibração de Indicadores de temperatura por simulação de sinal

Um exemplo da determinação da incerteza de calibração de indicadores de temperatura por simulação de sinal pode ser encontrado no documento Euramet cg 11 Versão 2.0.

## 15.4 Calibração de calibradores de temperatura com bloco

Um exemplo da determinação da incerteza de calibração de calibradores de temperatura com bloco pode ser encontrado no documento Euramet cg 13 Versão 2.0.

## 16 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Para referências, devem ser utilizadas as últimas edições dos documentos (incluindo emendas)

As referências seguintes não foram necessariamente usadas para a elaboração deste documento. Elas constam deste documento pela pertinência do assunto e por sugestão dos membros da CT-11. Alguns dos documentos citados podem ser obtidos nos sítios seguintes:

EURAMET - European Association of National Metrology Institutes:

<http://www.euramet.org/index.php?id=calibration-guides> (link verificado em 30/01/2013)

EA - European co-operation for Accreditation: <http://www.european-accreditation.org> (link verificado em 30/01/2013)

Organização Internacional de Metrologia Legal: <http://www.oiml.org/publications/> (link verificado em 30/01/2013)

Deutsche Akkreditierungsstelle : <http://www.dakks.de/en/content/downloading-documents> (link verificado em 30/01/2013)

Constam nestas referências Normas ISO e normas da ABNT elaboradas pela Comissão de Estudos de Sensores Termoelétricos CE 04.005.11 do CB-04 - Comitê Brasileiro de Máquinas e Equipamentos Mecânicos. Estas normas podem ser adquiridas através do site <http://www.abntcatalogo.com.br/> (link verificado em 30/01/2013).

1. DKD-R 5-7 Kalibrierung von Klimaschränken, Ausgabe 07/2004.
2. EA-4/02 Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, 1999.
3. Escala Internacional de Temperatura de 1990, Metrologia, vol 27, 1990.
4. EURAMET CG-08 Version 2.1 Calibration of Thermocouples, 10/2011.
5. EURAMET CG-11 Version 2.0 Guidelines on the Calibration of Temperature Indicators and Simulators by Electrical Simulation and Measurement, 03/2011.
6. EURAMET CG-13 Version 2.0 Calibration of Temperature Block Calibrators 03/2011.
7. EURAMET CG-15 Version 2.0 Guidelines on the Calibration of Digital Multimeters, 03/2011.



8. ISO 4677-1:1985 Atmospheres for conditioning and testing -- Determination of relative humidity - Part 1: Aspirated psychrometer method.
  9. ISO 4677-2:1985 Atmospheres for conditioning and testing -- Determination of relative humidity - Part 2: Whirling psychrometer method.
  10. ISO 554:1976 Standard atmospheres for conditioning and/or testing – Specifications.
  11. ISO 7243:1989 “Hot environments – Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT – index (Wet Bulb Globe Temperature)”.
  12. NBR 12550:1998 - Termometria - Terminologia aplicada.
  13. NBR 12771:1999 Termopares - Tabelas de referência.
  14. NBR 12812:1993 Fio nu para termopar
  15. NBR 13535: 1995 Matéria-prima para confecção do termopar isolamento mineral.
  16. NBR 13770:2013 Termopar - Calibração por comparação com instrumento-padrão.
  17. NBR 13771:2008 Cabo e fio de compensação ou extensão para termopar - Calibração por comparação com instrumento padrão.
  18. NBR 13772:2008 Termorresistência - Calibração por comparação com termorresistência de referência.
  19. NBR 13773:2008 Termorresistência industrial de platina - Requisitos e ensaio.
  20. NBR 13774:2008 Cabos e fios de compensação e/ou extensão para termopar - Tolerâncias e identificação.
  21. NBR 13863:2008 Preparação e uso de junção de referência para calibração de termopar.
  22. NBR 13881:1997 Termômetros bimetálicos - Recomendações de fabricação e uso - Terminologia, segurança e calibração.
  23. NBR 14097:2002 Termopar isolamento mineral.
  24. NBR 14610:2000 - Indicador de temperatura com sensor - Calibração por comparação com instrumento padrão.
  25. NBR 14670:2001 Indicador de temperatura para termopar - Calibração por comparação utilizando gerador de sinal.
  26. NBR 14782:2001 Indicador de temperatura para termorresistência - Calibração por comparação, utilizando gerador de sinal.
  27. NR 15 - Atividades e Operações Insalubres. ANEXO III - Limites de Tolerância para Exposição ao Calor.
  28. OIML R 18 Visual disappearing filament pyrometers, 1989.
  29. OIML R 34 Accuracy classes of measuring instruments, 1979.
  30. OIML R 48 Tungsten ribbon lamps for the calibration of radiation thermometers 2004.
  31. OIML R 84 Platinum, copper, and nickel resistance thermometers (for industrial and commercial use), 2003.
  32. UKAS LAB 11 Traceability of Temperature Measurement, Edition 3, January 2010.
-