



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA  
Núcleo de Qualidade Metrológica

Proc. 1104/11/16133

## **REVISÃO DAS MELHORES INCERTEZAS DE MEDIÇÃO DO LABORATÓRIO CENTRAL DE APOIO METROLÓGICO DO LNEC EM 2009**

Estudo realizado no âmbito do Projecto de Investigação  
"Reforço das Capacidades Metrológicas nos Domínios das  
Grandezas Comprimento, Massa, Pressão e Temperatura".

Lisboa • Junho de 2009

**I&D** INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

**RELATÓRIO 165/2009 – NQM**



## **Revisão das Melhores Incertezas de Medição do Laboratório Central de Apoio Metrológico do LNEC em 2009**

### **Resumo**

O relatório apresenta uma descrição genérica do procedimento de avaliação de incertezas de medição elaborado de acordo com o GUM, a estrutura das tabelas de balanço de incertezas e o quadro de melhores incertezas de medição do LCAM/LNEC em 2009, relativas às calibrações e ensaios metrológicos desenvolvidos pelo laboratório no âmbito da sua acreditação no Sistema Português da Qualidade.

## **Review of the Best Measurement Uncertainties of LNEC's Laboratório Central de Apoio Metrológico in 2009**

### **Abstract**

This report presents a general description of the measurement uncertainties evaluation procedure developed according with the GUM, the structure of the uncertainties tables and the expression of the best measurement uncertainties of LCAM/LNEC in 2009, regarding the testing and calibration performed by laboratory under the Portuguese Quality System Accreditation.

## **Révision des Meilleures Incertitudes de Mésure réalisées par le Laboratório Central de Apoio Metrológico du LNEC dans l'année de 2009**

### **Résumé**

Ce rapport présente une description générique de la procédure pour l'évaluation des incertitudes de mesure élaborée selon le GUM, la structure des tableaux du bilan des incertitudes et le tableau des meilleures incertitudes du LCAM/LNEC dans l'année de 2009, en ce qui concerne les étalonnages et les essais métrologiques développés par ce laboratoire dans le contexte du Système de Qualité Portugais.





## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>CONTEÚDO DO RELATÓRIO .....</b>	<b>3</b>
<b>3</b>	<b>MÉTODO GUM PARA AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS DE MEDIÇÃO .....</b>	<b>5</b>
<b>3.1</b>	<b>Fase de formulação .....</b>	<b>6</b>
<b>3.2</b>	<b>Fase de cálculo .....</b>	<b>8</b>
<b>3.3</b>	<b>Tabelas de Balanço de Incertezas .....</b>	<b>15</b>
<b>4</b>	<b>MELHORES INCERTEZAS DE MEDIÇÃO DO LCAM/LNEC EM 2009 .....</b>	<b>17</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>20</b>
<b>ANEXO 1</b>	<b><i>Tabelas de Balanço das Melhores Incertezas do LCAM/LNEC em 2009 .....</i></b>	<b>21</b>



# REVISÃO DAS MELHORES INCERTEZAS DE MEDIÇÃO DO LABORATÓRIO CENTRAL DE APOIO METROLÓGICO DO LNEC EM 2009

## 1. INTRODUÇÃO

A acreditação de Laboratórios Metrológicos no âmbito do Sistema Português da Qualidade envolve o cumprimento de vários requisitos, um dos principais consiste na evidenciação das melhores incertezas de medição relativas aos seus processos de calibração e de ensaio metrológico.

A concretização deste objectivo assume uma importância particular, que decorre da utilização da declaração das melhores incertezas de medição como valores de referência para as entidades associadas à actividade de um laboratório acreditado: a entidade acreditadora; o laboratório acreditado; e os clientes.

A entidade acreditadora (IPAC - Instituto Português da Acreditação) necessita de tomar conhecimento destas melhores incertezas (ou capacidades metrológicas) de medição, constituindo um dos elementos de suporte da acreditação e constitui, por isso, um dos requisitos normativos que é avaliado nos processos anuais de auditoria externa. A sua validação implica que essa informação seja posteriormente publicada nos anexos técnicos dos certificados de acreditação do laboratório e esteja acessível ao mercado de potenciais clientes interessados nos serviços de natureza metrológica.

O laboratório acreditado, que declara um conjunto de melhores incertezas de medição, encontra nessa declaração o modo de explicitar as suas melhores capacidades e, por outro lado, aplica essa informação para estabelecer os critérios de confirmação metrológica dos seus padrões.

Os clientes, potenciais utilizadores dos serviços do laboratório, têm acesso prévio a essa informação (melhores incertezas de medição) aplicável a um determinado tipo de equipamento, assegurando-se que o laboratório em causa dispõe de capacidade para concretizar adequadamente os serviços de calibração ou ensaio pretendidos de acordo com as suas expectativas.

Este enquadramento justifica, portanto, o cumprimento do requisito normativo mediante a declaração no que se refere às suas melhores incertezas de medição.

Quanto ao facto de esta declaração necessitar de uma renovação periódica, tal decorre de dois factores: a realização de auditorias externas com periodicidade anual, constituindo a ocasião propícia para se reavaliarem as contribuições de incerteza associadas a componentes que se alteram ao longo do tempo (nomeadamente, a incerteza de calibração dos padrões e a deriva de longo prazo) visando a actualização dos registos da entidade acreditadora no que se refere às condições de acreditação; e a aplicação, no Laboratório Central de Apoio Metrológico do LNEC (LCAM/LNEC), de um plano de calibração periódica de padrões e equipamentos de referência que corresponde também, numa parte significativa dos casos, a uma periodicidade de calibração anual, determinando que seja necessário proceder, com idêntica periodicidade, à reavaliação das condições em que se estabeleceram as melhores incertezas de medição.

Refira-se, porém, que esta actualização das melhores incertezas não impede que, cada vez que um padrão é sujeito a uma operação de calibração, sejam actualizados os ficheiros que suportam o cálculo específico das incertezas de medição em cada calibração ou ensaio efectuado. O requisito normativo, nestes casos, impede apenas que o laboratório acreditado possa declarar uma incerteza de medição inferior à melhor incerteza de medição em vigor (no certificado de acreditação do IPAC), validada na auditoria mais recente. Assim, este estudo periódico das melhores incertezas serve, também, para promover naturais reajustamentos aos valores das melhores incertezas face à dinâmica de algumas das fontes de incerteza de medição cujas contribuições são consideradas nos cálculos.

## 2. CONTEÚDO DO RELATÓRIO

No presente relatório são descritos os elementos que determinam a quantificação das melhores incertezas de medição do LCAM/LNEC relativas ao ano de 2009.

No capítulo 3 é apresentada uma breve descrição do método proposto pelo *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (GUM) [1] aplicável na avaliação de incertezas de medição e a descrição da estrutura das tabelas de balanço de incertezas de medição, as quais sintetizam o procedimento recomendado no GUM.

No capítulo 4 encontra-se o Quadro contendo o resumo das melhores incertezas de medição de 2009 declaradas pelo LCAM/LNEC no âmbito da sua acreditação.

No Anexo 1 são apresentadas as tabelas de balanço de incertezas organizadas de acordo com três níveis diferenciadores. No primeiro, a subdivisão resulta da distinção entre grupos de grandezas físicas (comprimento, massa, pressão, temperatura e humidade). Dentro de cada um destes grupos, um segundo nível de diferenciação resulta de se distinguirem os diferentes tipos de equipamentos sujeitos a calibração ou ensaio metrológico. Finalmente, no terceiro nível de diferenciação, é efectuada uma subdivisão, para cada tipo de equipamento, por gamas de medição, pela resolução, por valores nominais ou por outros aspectos de caracterização metrológica, quando estes determinam diferentes contribuições para a incerteza de medição e, simultaneamente, afectam significativamente os resultados finais.



### 3. MÉTODO GUM PARA AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS DE MEDIÇÃO

A evolução recente da Metrologia tem como uma das suas principais consequências a introdução do conceito de incerteza de medição como parâmetro inerente ao resultado da medição (associado ao valor da estimativa de uma grandeza mensurável), constituindo este o elemento indicativo do grau de exactidão da medição.

O método que suporta a sua determinação está descrito no GUM<sup>1</sup>[1] e foi adoptado internacionalmente pela comunidade metrológica contendo, entre outros aspectos: o enquadramento da medição no contexto probabilístico actualmente adoptado; os conceitos e definições aplicáveis; as fontes genéricas que contribuem para a avaliação da incerteza; e o procedimento de avaliação de incertezas de medição incorporando a conhecida Lei de Propagação de Incertezas (cuja designação abreviada adoptada neste documento é “LPI”).

A informação que se encontra no GUM deve ser complementada com a consulta do conjunto de definições que se encontra no Vocabulário Internacional de Metrologia [2], publicado pelo Instituto Português da Qualidade correspondendo à tradução da 3ª Revisão do mesmo documento editado pelo JCGM em 2008.

Com o intuito de facilitar a compreensão das tabelas de balanço de incertezas de medição, elementos fundamentais na apresentação das melhores incertezas do laboratório, é promovida, então, a descrição que se segue.

Qualquer procedimento de avaliação das incertezas de medição e, em particular, aquele que é preconizado pelo GUM tem na sua base duas fases distintas: a fase de formulação e a fase de cálculo.

É na concretização destas fases que se estabelece o modelo matemático essencial para traduzir o problema físico envolvido e que se constitui a Lei de Propagação de Incertezas necessária à avaliação pretendida.

---

<sup>1</sup> De acordo com a revisão do GUM em curso, envolvendo a introdução de alguns documentos anexos, a nova sigla adoptada é “GUF” apontando o âmbito do Guia para um contexto mais alargado (Framework) englobando diversos métodos de avaliação de incertezas de medição.

### 3.1 Fase de formulação

Esta fase contém como elemento fundamental o modelo matemático descritivo do problema metrológico, no qual se baseia a estimativa de uma grandeza mensurável e a incerteza associada a essa estimativa.

Assim, o modelo matemático relaciona a grandeza de saída – a mensuranda –  $Y$ , com um conjunto de grandezas de entrada,  $X_i$ , através do que se designa por relação funcional:

$$Y = f(X_1, \dots, X_N). \quad (1)$$

Este modelo matemático traduz a realidade experimental de uma forma, necessariamente, imperfeita devido às limitações naturais da instrumentação, dos métodos e de outros factores condicionantes, determinando a existência, num plano conceptual, de um erro de medição. A concretização da medição é reflectido em observações e estimativas de grandezas,  $\hat{x}_i$ , associadas a variáveis aleatórias do modelo matemático, conduzindo a uma estimativa da grandeza mensurável de saída,  $\hat{y}$ , cuja expressão é dada por:

$$\hat{y} = f(\hat{x}_1, \dots, \hat{x}_N). \quad (2)$$

A definição de *erro (absoluto) da medição*,  $\varepsilon$ , diz-nos que este representa a *diferença entre o valor da estimativa ou observação ( $\hat{A}$ ) e o valor verdadeiro da grandeza ( $\tilde{A}$ )*. Sendo este último, no enquadramento actual da medição, considerado inatingível, de onde resulta a impossibilidade prática da sua quantificação,

$$\varepsilon = \hat{A} - \tilde{A}. \quad (3)$$

Este facto, no entanto, não impede que seja possível identificar as fontes que contribuem para esse erro e distinguir, nestas, as componentes cuja contribuição é de natureza sistemática ou aleatória.

Em relação a estas contribuições, de acordo com o disposto no GUM, considera-se que o conhecimento das componentes sistemáticas do erro – de natureza determinística – impõe a sua correcção, enquanto que as contribuições aleatórias – de natureza estocástica –



devem ser incorporadas num intervalo de dispersão associado à estimativa da grandeza mensurável de saída. Essa dispersão é designada por: incerteza de medição.

No que se refere à sua origem, as *componentes aleatórias do erro* resultam de variações imprevisíveis de natureza espacial ou temporal, sendo provocadas por *grandezas de influência*, manifestando-se na variação das observações da grandeza no que se designa por *efeitos aleatórios*. O GUM aponta algumas das origens de incerteza:

- *definição incompleta da mensuranda;*
- *realização imperfeita da definição da mensuranda;*
- *não-representatividade da amostra;*
- *conhecimento inadequado ou a medição imperfeita dos efeitos das condições ambientais na determinação da mensuranda;*
- *derivas na leitura efectuada por operadores de instrumentos com indicadores analógicos;*
- *resolução ou a discriminação finita dos instrumentos de medição;*
- *valores inexactos de padrões e de materiais de referência;*
- *valores inexactos de constantes e outros parâmetros obtidos mediante o recurso a fontes externas e usados em algoritmos computacionais;*
- *aproximações e os valores assumidos, os quais são incorporados no método e no procedimento de medição;*
- *variações obtidas em observações repetidas da mensuranda em condições aparentemente idênticas (próximas das condições ideais de repetibilidade).*

É do cômputo das contribuições de natureza aleatória provenientes destas fontes que resulta, então, a quantificação da incerteza de medição, sendo esta definida como [1]: “o parâmetro, associado ao resultado da medição, caracterizando a dispersão de valores que podem, razoavelmente, ser atribuídos à mensuranda”.

De acordo com esta definição é admitido, implicitamente, que em resultado da medição não é possível atribuir um valor único – verdadeiro – da mensuranda mas, antes, um intervalo de valores prováveis (de acordo com a concepção contemporânea da medição, de enquadramento probabilístico).

### 3.2 Fase de cálculo

A fase de cálculo sucede à fase de formulação e tem como finalidade obter a incerteza de medição expandida associada à grandeza mensurável de saída, sendo este objectivo atingido mediante a aplicação do método GUM (e dos seus pressupostos) envolvendo um conjunto de etapas, reflectindo conceitos e expressões, de cuja compreensão depende a sua aplicação.

Desde logo, é conveniente ter presente que as observações associadas às grandezas de entrada têm uma natureza aleatória e, como tal, possuem uma dispersão de valores que é determinada pelos parâmetros: variância e desvio-padrão experimental. Logo, a primeira etapa do procedimento GUM estabelece a necessidade de distinguir as componentes de incerteza consoante a origem da informação que lhes permite estabelecer uma parametrização adequada. Esta parte constitui um elemento fundamental para a análise a desenvolver, uma vez que a validade da origem de informação e a parametrização são determinantes para o resultado final.

No GUM são admitidas duas vias para a obtenção dos parâmetros estatísticos: a amostra experimental; ou o conhecimento prévio do tipo de distribuição de probabilidade. No primeiro caso, diz-se que essa avaliação é feita de acordo com o “*método tipo A*” e no segundo caso, de acordo com o “*método tipo B*”.

Tendo em vista o objectivo de obter o parâmetro estimador dessa dispersão, o desvio-padrão experimental e sabendo que este se determina a partir da variância,  $s^2(x_i)$ , torna-se necessário, portanto, concretizar a quantificação deste último parâmetro.

No caso em que se adopta o *método do tipo A*, subentende-se que se determina a contribuição para a incerteza de medição a partir da estatística da variância de uma amostra experimental de observações (de acordo com uma perspectiva frequencista do problema). No caso de adopção do método do tipo B, considerando apropriada a utilização de determinada função densidade de probabilidade, cujos limites se estabelecem com base em

conhecimento previamente adquirido<sup>2</sup>, é utilizada a expressão analítica da variância dessa distribuição para quantificar a pretendida contribuição para a incerteza de medição (neste caso, a abordagem segue a perspectiva bayesiana do problema).

Do ponto de vista prático, quando se recorre ao *método do tipo A*, recorre-se a uma amostra experimental de uma grandeza de entrada  $Q$ , contendo observações  $q_i$ , sendo obtido o seu valor médio – utilizado na determinação da estimativa da grandeza de acordo com o modelo matemático (1) – cuja expressão é:

$$\hat{q} = \bar{q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n q_i. \quad (4)$$

A variância experimental da média é determinada por:

$$s^2(\bar{q}) = \frac{1}{n \cdot (n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (q_i - \bar{q})^2, \quad (5)$$

de onde se obtém o pretendido valor do desvio-padrão experimental da média:

$$s(\bar{q}) = \sqrt{s^2(\bar{q})}. \quad (6)$$

Em alternativa, a utilização do *método do tipo B*, admite que se possui informação suficiente para se estipular qual a função densidade de probabilidade, os seus parâmetros e o grau de confiança inerente a esse conhecimento (considera-se que esta abordagem para a quantificação de componentes de incerteza possui um elevado grau de subjectividade e, como tal, deve ser aplicado com particular cuidado). Com base nesta informação, recorrendo às expressões analíticas, é possível determinar a variância e o respectivo desvio-padrão. Em Metrologia, as distribuições de probabilidade que mais frequentemente são adoptadas estão descritas no Quadro 1 que apresenta, igualmente, as expressões das variâncias. Estas distribuições traduzem, de certa forma, as três situações mais comuns, i.e., idêntica probabilidade de ocorrência em todo o intervalo, ou maior probabilidade de

<sup>2</sup> Por exemplo: dados relativos a medições anteriores; experiência ou conhecimento comum relativo ao comportamento e propriedades de materiais e instrumentos de medição; especificações de fabricantes e documentação de carácter técnico e científico; dados obtidos em calibrações e certificados.

ocorrência no centro da distribuição ou nas suas extremidades. Faz-se notar que, de acordo com um requisito de aplicação do método, todas as distribuições adoptadas são simétricas.

Conhecendo-se a forma de determinar a dispersão das grandezas de entrada,  $x_i$ , independentemente de estas resultarem de abordagens de acordo com o *método do tipo A* ou *do tipo B*, a etapa seguinte consiste em estabelecer a forma como estas se combinam, conduzindo à determinação da incerteza de medição da grandeza de saída,  $y$ .

*Quadro 1: Distribuições de probabilidade, limites de variação e expressões da variância*

Função distribuição de probabilidade		Limites de variação	Expressão da variância
Denominação do tipo	Configuração característica		
Uniforme (centrada)		$\pm a$	$\frac{a^2}{3}$
Triangular (centrada)		$\pm a$	$\frac{a^2}{6}$
Configuração arco-seno (centrada)		$\pm a$	$\frac{a^2}{2}$
Normal (centrada)		$\pm s$	$s^2$

O método proposto no GUM tem como suporte teórico uma abordagem que recorre ao desenvolvimento em série de Taylor de 1ª ordem (no GUM é fornecida, também, a contribuição dos termos de 2ª ordem, caso seja necessária a sua incorporação no cálculo) para obter a Lei de Propagação de Incertezas (LPI).

Considerando que o modelo matemático admite as estimativas  $x_i$  de  $N$  grandezas de entrada  $X_i$ , para as quais existem valores esperados  $(\mu_1, \dots, \mu_N)$ , o desenvolvimento em série de Taylor de 1ª ordem em torno de  $\mu_i$  conduz a,

$$y = f(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N) + \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \cdot (x_i - \mu_i) + r_2(x_i), \quad (7)$$

admitindo soluções exactas apenas quando se utilizam modelos matemáticos lineares<sup>3</sup>.

Na expressão anterior,  $f(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N)$  representa o valor esperado  $\mu_y$ , da mensuranda  $y$  e  $r_2$  representa o resto de 2ª ordem do desenvolvimento em série de Taylor.

Sabendo que,  $\mu_y = f(\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_N)$ , a expressão anterior adquire a forma,

$$y - \mu_y = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \cdot (x_i - \mu_i) + r_2(x_i), \quad (8)$$

cujo primeiro termo é uma componente da definição de variância aplicado à grandeza mensurável de saída,  $y$ , permitindo estabelecer a relação seguinte:

$$s_y^2 = \hat{\sigma}_y^2 = E \left[ (y - \mu_y)^2 \right] = E \left[ \left( \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \cdot (x_i - \mu_i) \right)^2 \right]. \quad (9)$$

Utilizando as propriedades do “valor esperado”,  $E$ , obtém-se a expressão genérica da Lei de Propagação de Incertezas:

$$s^2(y) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot E[(x_i - \mu_i)^2] + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \cdot \left( \frac{\partial f}{\partial x_j} \right) \cdot E[(x_i - \mu_i) \cdot (x_j - \mu_j)] \quad (10)$$

que, na sua formulação exposta no GUM, substitui os termos  $s^2(y)$  por  $u^2(y)$ , reportando-se à incerteza de medição (“ $u$ ” de “*uncertainty*”) e apresenta a simbologia convencional para representar as variâncias e covariâncias,

<sup>3</sup> Modelos matemáticos que sejam moderadamente não-lineares podem admitir a aplicação desta expressão enquanto aproximação ou, em alternativa, poder-se-ão incorporar termos do desenvolvimento de ordem superior, notando-se que estes introduzem um aumento significativo do grau de complexidade, nomeadamente, pela introdução de diversos termos que combinam derivadas parciais.

$$u^2(y) = s^2(y) = \sum_{i=1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot s_i^2 + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \left( \frac{\partial f}{\partial x_i} \right) \cdot \left( \frac{\partial f}{\partial x_j} \right) \cdot s_{ij}. \quad (11)$$

No GUM, as derivadas parciais designam-se por “coeficientes de sensibilidade”, e são representadas por  $c_i$ . Esta modificação simbólica reflecte-se numa expressão alternativa para a LPI, que é a mais difundida,

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N c_i^2 \cdot u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N c_i \cdot c_j \cdot u(x_i) \cdot u(x_j) \cdot r(x_i, x_j), \quad (12)$$

onde  $r_{ij}$  representa o coeficiente de correlação para o par de variáveis  $x_i$  e  $x_j$ .

A expressão anterior é simplificável quando não existe ou quando não é significativa a correlação entre os pares de grandezas de entrada, resultando, nesse caso:

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N c_i^2 \cdot u^2(x_i) = \sum_{i=1}^N u_i^2(y). \quad (13)$$

As expressões (12) e (13) determinam o valor da incerteza de medição padrão nas condições apresentadas.

O conhecimento do resultado da aplicação da LPI permite partir para a etapa seguinte da fase de cálculo: a avaliação da incerteza de medição expandida.

Esta avaliação parte do pressuposto (inerente ao GUM) de aplicabilidade do Teorema do Limite Central, determinando que a distribuição de probabilidade da grandeza mensurável de saída,  $y$ , possui uma configuração do tipo gaussiano. Sendo assim, a incerteza de medição expandida,  $U_p(y)$ , resulta do produto da *incerteza de medição padrão*,  $u_c(y)$ , por um *factor de expansão*,  $k_p$ , que é função do intervalo de confiança pretendido.

$$U_p(y) = k_p \cdot u_c(y). \quad (14)$$

Nos casos em que a dimensão da amostra permita, de facto, confirmar este pressuposto, então, a incerteza de medição padrão obtida usando a LPI equivale a um desvio-padrão experimental que, de acordo com esta distribuição, representa um intervalo de confiança da ordem de 68%. A sua expansão para um intervalo de confiança de 95% implica que se multiplique este valor por um *factor de expansão* conhecido, igual a 2,00.

$$U_{95}(y) = k_{95} \cdot u_c(y) = 2,00 \cdot u_c(y). \quad (15)$$

Contudo, grande parte das medições não dispõe de amostras com dimensão suficientemente grande para que se possa aceitar a convergência subjacente ao Teorema do Limite Central. É, portanto, necessário recorrer a uma abordagem alternativa aplicável nestes casos (e igualmente recomendada num dos anexos do GUM<sup>4</sup>), baseada na distribuição de probabilidade *t*-Student. Uma consequência imediata consiste na substituição da expressão (15) por outra, que traduz a necessidade de ter em consideração a limitação associada à dimensão da amostra,

$$U_p(y) = t_p(\nu) \cdot u_c(y), \quad (16)$$

em que o novo *factor de expansão* é,  $t_p(\nu)$ , o qual depende funcionalmente do número de graus de liberdade efectivos,  $\nu_{ef}$ , da grandeza de saída.

A obtenção deste factor de expansão associada à distribuição de probabilidade *t*-Student, resulta da aplicação da fórmula de Welch-Satterthwaite, fornecida no GUM,

$$\nu_{ef} = \frac{u_c^4(y)}{\sum_{i=1}^N \frac{u_i^4(y)}{\nu_i}}, \quad (17)$$

---

4 O GUM refere que “reconhecendo a dificuldade de confirmar experimentalmente a presunção de aplicabilidade da distribuição normal aos casos reais, apontam-se circunstâncias em que esta adequação se pode assumir, designadamente, quando os casos de aplicação possuem, pelo menos, 3 componentes distintas de incerteza, com distribuições de probabilidade bem comportadas e provenientes de grandezas independentes, por exemplo, distribuições normais e distribuições uniformes, contribuindo para a estimativa da incerteza de medição padrão com quantidades comparáveis. Nessas circunstâncias (e considerando que as amostras que as suportam também o permitem), admite-se que se está no âmbito de validade do Teorema do Limite Central e, consequentemente, que a distribuição de probabilidade da grandeza de saída (mensuranda) é, com elevado grau de aproximação, do tipo normal. Do mesmo modo, considera-se que este critério é atingido se nenhuma das componentes de incerteza obtidas por um método do tipo A for baseada numa amostra inferior a 10 observações”.

contendo, no numerador, uma potência de 4ª ordem da incerteza de medição padrão da grandeza mensurável de saída e, no denominador, os rácios das diversas potências de 4ª ordem das contribuições para a incerteza, cada qual, dividida pelo número de graus de liberdade respectivo.

Para completar a exposição acerca deste processo de avaliação da incerteza de medição expandida, é necessário indicar a forma como se obtêm os diferentes parâmetros que se encontram no denominador.

Relativamente às componentes contributivas da incerteza de medição, elas são determinadas, admitindo a inexistência de correlação, por:

$$u_i^2(y) = c_i^2 \cdot u^2(x_i). \quad (18)$$

Quanto ao número de graus de liberdade relativo a cada grandeza de entrada, este é determinado consoante a componente de incerteza em causa resulta da aplicação de um método do tipo A ou de um método do tipo B, conforme se expõe a seguir:

- *no caso de componentes de incerteza obtidas por um método do tipo A, essa avaliação é directa, uma vez que, sendo a dimensão da sua amostra constituída por n observações, o número de graus de liberdade,  $v_i$ , corresponde a (n-1) valores independentes (válido, necessariamente, considerando que  $n > 1$ );*
- *no caso de componentes de incerteza obtidos por um método do tipo B, utiliza-se a expressão apresentada no GUM, visando determinar o número de graus de liberdade com base no estabelecimento de um grau de fiabilidade da informação utilizada<sup>5</sup>:*

$$v_i = \frac{1}{2} \cdot \left[ \frac{\Delta u(x_i)}{u(x_i)} \right]^{-2}. \quad (19)$$

A relação estabelecida entre o número de graus de liberdade efectivos e o factor de expansão t-Student origina os valores que constam do Quadro seguinte.

<sup>5</sup> Considerando que se exprime o grau de fiabilidade por, R, então,  $R=1-[\Delta u(x_i)/u(x_i)]$ , onde  $\Delta u(x_i)$  representa a estimativa da percentagem de “incerteza” inerente ao valor limite atribuído à incerteza de medição,  $u(x_i)$ . Um exemplo: considerando que o rácio  $\Delta u(x_i)/u(x_i)$  é igual a 0,1 (i.e., 10%), o grau de fiabilidade da informação corresponde a 0,9 (ou seja, admite-se que se dispõe de um intervalo de confiança de 90% das possibilidades) e, conseqüentemente,  $v_i = \frac{1}{2} \cdot [0,1]^{-2} = 50$  graus de liberdade.



Quadro 2: Factor de expansão *t*-Student relacionado com o número de graus de liberdade efectivos da grandeza mensurável de saída (para um intervalo de confiança de 95%).

$\nu_{ef}$	$k_p$	$\nu_{ef}$	$k_p$	$\nu_{ef}$	$k_p$	$\nu_{ef}$	$k_p$
1	13,97	8	2,37	15	2,18	30	2,09
2	4,53	9	2,32	16	2,17	35	2,07
3	3,31	10	2,28	17	2,16	40	2,06
4	2,87	11	2,25	18	2,15	45	2,06
5	2,65	12	2,23	19	2,14	50	2,05
6	2,52	13	2,21	20	2,13	> 50	2,00
7	2,43	14	2,20	25	2,11		

### 3.3 Tabelas de Balanço de Incertezas

O procedimento de avaliação de incertezas de medição é sintetizado em Quadros designados por “*Tabelas de Balanço de Incertezas*”, de acordo com duas abordagens tipo: uma, aplicável quando se admite que é válida a aproximação normal; outra, aplicável quando se admite que é válida a distribuição *t*-Student.

Na primeira, associada à distribuição normal, a *Tabela de Balanço de Incertezas* tem a forma que se apresenta no Quadro 3. Neste caso, a incerteza de medição expandida é obtida usando a expressão (15).

Quadro 3: Tabela de balanço de incertezas de medição (distribuição normal).

Grandezas de entrada	Estimativas	Incertezas padrão	Coefficientes de sensibilidade	Contribuições para a incerteza de medição padrão
$X_i$	$x_i$	$u(x_i)$	$c_i$	$u_i(y)$
$X_1$	$x_1$	$u(x_1)$	$c_1$	$u_1(y)$
$X_2$	$x_2$	$u(x_2)$	$c_2$	$u_2(y)$
...	...	...	...	...
$X_N$	$x_N$	$u(x_N)$	$c_N$	$u_N(y)$
$Y$	$y$			$u_c(y)$

Na segunda, admitindo a representação suportada na distribuição de probabilidade *t*-Student, torna-se necessário introduzir, no Quadro anterior, um conjunto de informação adicional, designadamente, o número de graus de liberdade relacionados com cada componente de incerteza das grandezas de entrada, os graus de liberdade e o respectivo *factor de expansão*, originando a forma da Tabela de Balanço de Incertezas que se apresenta a seguir.

Quadro 4: Tabela de balanço de incertezas de medição (distribuição t-Student).

Grandezas de entrada	Estimativas	Incertezas padrão	Coefficientes de sensibilidade	Contribuições para a incerteza de medição padrão	Graus de liberdade
$X_i$	$x_i$	$u(x_i)$	$c_i$	$u_i(y)$	$\nu_i$
$X_1$	$x_1$	$u(x_1)$	$c_1$	$u_1(y)$	$\nu_1$
$X_2$	$x_2$	$u(x_2)$	$c_2$	$u_2(y)$	$\nu_2$
...	...	...	...	...	...
$X_N$	$x_N$	$u(x_N)$	$c_N$	$u_N(y)$	$\nu_N$
		<i>Incerteza de medição padrão</i>		$u_c(y)$	
		<i>Graus de liberdade efectivos</i>			$\nu_{ef}$
$Y$	$y$	<i>Factor de expansão</i>			$t_p(\nu_{ef})$
		<i>Incerteza de medição expandida</i>		$U_p(y)$	

Estes Quadros são adoptados internacionalmente como suporte à avaliação de incertezas de medição, cumprindo a função de simplificar a elaboração deste tipo de avaliação numérica mas, também, servindo um importante propósito de permitir, de forma simples, a compreensão, a partilha e a discussão deste tipo de informação no contexto internacional constituindo, por essa razão, uma das mais importantes contribuições do GUM para a normalização de um procedimento fundamental no contexto da Metrologia.

#### 4. MELHORES INCERTEZAS DE MEDIÇÃO DO LCAM/LNEC EM 2009

A elaboração do Quadro 5 tem como suporte o conjunto de Tabelas com os *Balanços das Melhores Incertezas de Medição Expandidas do LCAM/LNEC (2009)* que se encontra no Anexo 1. Estas Tabelas estão agrupadas de acordo com as grandezas (comprimento, massa, temperatura e humidade e pressão) que constam do âmbito de acreditação do laboratório, e usam os modelos matemáticos desenvolvidos para cada um dos instrumentos e padrões de medição sujeitos a calibração, que são descritos nos respectivos procedimentos de calibração desenvolvidos no LCAM. Os valores que constam destas Tabelas correspondem àqueles que minimizam o resultado obtido (incerteza de medição) de acordo com as orientações inerentes ao processo de acreditação do laboratório no âmbito do Sistema Português da Qualidade.

Acerca dos valores apresentados, refira-se que estes se modificam ao longo do tempo, devido a factores que afectam o desempenho da instrumentação, como: a calibração periódica dos padrões de referência; a evolução das suas características metrológicas provocadas por acções mecânicas, fadiga de componentes ou outras causas; a alteração de condições na realização dos ensaios (método, operador, etc.).

Desta evolução pode resultar que, durante o período de tempo entre auditorias sucessivas, as melhores incertezas possam aumentar ou diminuir em função das calibrações dos padrões. No primeiro caso, essa situação é reflectido directamente nas incertezas de medição declaradas nos certificados de calibração. No segundo caso, apesar dos valores de incerteza obtidos poderem ser menores que as melhores incertezas, o laboratório efectua a majoração desses valores para aqueles que constam das Tabelas de Melhores Incertezas respectivas, cumprindo os requisitos normativos aplicáveis. Na auditoria seguinte, os valores actualizados são apresentados à entidade acreditadora e, após a validação e a conclusão do processo, substituirão as melhores incertezas anteriormente declaradas.

As razões invocadas determinam a necessidade de se promover este tipo de avaliação periódica das melhores incertezas de medição do laboratório (expressão das suas melhores capacidades) e o facto de se fazer coincidir esta operação com a proximidade da realização anual da auditoria externa.

Quadro 5: Melhores incertezas de medição expandida do LCAM/LNEC.

Equipamento	Características	Melhores incertezas de medição expandida	Norma / procedimento	Calibração (C) ou ensaio metrol. (EM)
Micrómetros de exteriores	Alc. 25 mm / Resol. 0,001 mm	$\pm (1,4 \cdot 10^{-3} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	ISO 3611	C
Comparadores	Alc. 50 mm / Resol. 0,001 mm	$\pm (1,3 \cdot 10^{-3} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	NF E 11 050	C
Apalpa-folgas	Espessura até 5 mm	$\pm (1,3 \cdot 10^{-3} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	Proced. 3.01	C
Peneiros	Malha metálica	$\pm (1,7 \cdot 10^{-3})$ mm	ISO 3310-1	C
	Chapa perfurada	$\pm (1,7 \cdot 10^{-3})$ mm	ISO 3310-2	C
Paquímetros	Alc. 300 mm / Resol. 0,01 mm	$\pm (1,2 \cdot 10^{-2} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	DIN 862	C
Cabeças micrométricas	Alc. 50 mm / Resol. 0,001 mm	$\pm (1,3 \cdot 10^{-3} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	Proced. 18.01	C
Moldes metálicos: cilíndricos, cúbicos, Triplos e prismáticos	Alcance 1500 mm (OX)	$\pm (3,2 \cdot 10^{-3} + 8,6 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	NP EN 196-1	EM
	Alcance 1000 mm (OY)	$\pm (2,8 \cdot 10^{-3} + 8,6 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	NP EN 12390	
	Alcance 1000 mm (OZ)	$\pm (3,8 \cdot 10^{-3} + 8,6 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm		
Transdutores de deslocamento <i>in situ</i>	Alc. 300 mm / Resol. 0,001 mm	$\pm (5,8 \cdot 10^{-3} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	Proc. Interno E33.01	C
Calibrador de extensómetros	Alc. 25 mm / Resol. 0,001 mm	$\pm (2,0 \cdot 10^{-3} + 2,0 \cdot 10^{-5} \cdot L)$ mm	Proc. Interno E34.01	C
Extensómetros com indicador dedicado	Alc. 25 mm / Resol. 0,005 mm	$\pm (7,0 \cdot 10^{-3} + 4,1 \cdot 10^{-5} \cdot L)$ mm	Proc. Interno E35.01	C
Ensaio dimensionais <i>in situ</i>	Alc. 20 m	$\pm (5,6 \cdot 10^{-4} + 8,6 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	Proc. Interno E32.01	EM
Pratos de prensa	Alc. 1 m x 1 m	$\pm (6,1 \cdot 10^{-3} + 9,4 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	Proc. Interno E31.01	EM
Instrumentos de Pesagem	Resol.: 0,01 mg / peso: 1mg	$\pm 8,0 \cdot 10^{-3}$ mg	EN 45 501	C
	Resol.: 0,01 mg / peso: 10 mg	$\pm 8,0 \cdot 10^{-3}$ mg		
	Resol.: 0,01 mg / peso: 100 mg	$\pm 1,0 \cdot 10^{-2}$ mg		
	Resol.: 0,01 mg / peso: 1 g	$\pm 1,3 \cdot 10^{-2}$ mg		
	Resol.: 0,01 mg / peso: 10 g	$\pm 2,2 \cdot 10^{-2}$ mg		
	Resol.: 0,1 mg / peso: 100 g	$\pm 9,7 \cdot 10^{-2}$ mg		
	Resol.: 0,1 mg / peso: 200 g	$\pm 1,5 \cdot 10^{-1}$ mg		
	Resol.: 1 mg / peso: 500 g	$\pm 7,8 \cdot 10^{-1}$ mg		
	Resol.: 1 mg / peso: 1 kg	$\pm 1,8$ mg		
	Resol.: 1 mg / peso: 2 kg	$\pm 2,4$ mg		
	Resol.: 10 mg / peso: 5 kg	$\pm 9,8$ mg		
	Resol.: 10 mg / peso: 10 kg	$\pm 12$ mg		
	Resol.: 100 mg / peso: 30 kg	$\pm 82$ mg		
	Resol.: 100 mg / peso: 60 kg	$\pm 750$ mg		
Pesos não classificados	Alcance 700g / Resol.I.P. 0,001mg	$\pm 2,6 \cdot 10^{-3}$ g	Proced. 2.04	C
	Alcance 12 kg / Resol.I.P. 0,1g	$\pm 8,8 \cdot 10^{-2}$ g		
Manómetros e Transd de pressão	1 bar a 60 bar (Resol. 0,01 bar)	$\pm 0,008$ bar	NP EN 837-1	C
	10 bar a 600 bar (Resol. 0,1 bar)	$\pm 0,08$ bar		
Manómetros e Transd. <i>in situ</i>	Alcance 35 bar	$\pm 6$ kPa	Proced. 3.07	C
	Alcance 135 bar	$\pm 12$ kPa		
	Alcance 3,4 bar	$\pm 1,4$ mbar		
	Alcance 10,3 bar	$\pm 2,0$ mbar		
Termómetros de Dilatação de líquido-em-vidro	Resol. 0,1°C/ Gama -20°C a 80°C	$\pm 0,10$ °C	ISO 386	C
	Resol. 0,1°C/ Gama 80°C a 250°C	$\pm 0,11$ °C		
	Resol. 1°C/ Gama: -20°C a 80°C	$\pm 0,7$ °C		
	Resol. 1°C/ Gama: 80°C a 250°C	$\pm 0,7$ °C		
Estufas	Gama: 0 °C a 180 °C	$\pm 0,09$ °C	DIN 12 880	EM
Câmaras condicionadas	Gamas: 0 °C a 180 °C / 35% a 80% hr	$\pm 0,09$ °C $\pm 1,5$ %hr	DIN 12 880	EM
Banhos c/ reg. térmica	Gama: 0 °C a 180 °C	$\pm 0,09$ °C	Proced. 10.15	EM
Mufas e fornos	Gama: ambiente a 100 °C	$\pm 1,2$ °C	Proced. 9.15	EM
	Gama: 100 °C a 400 °C	$\pm 1,3$ °C		
	Gama: 400 °C a 500 °C	$\pm 2,0$ °C		
	Gama: 500 °C a 800 °C	$\pm 2,8$ °C		
	Gama: 800 °C a 1100 °C	$\pm 4$ °C		

<b>Termómetros digitais</b>	Resol. 0,1°C/ Gama -20°C a 80°C	$\pm 0,10$ °C	Proced. 13.15	C
	Resol. 0,1°C/ Gama 80°C a 250°C	$\pm 0,11$ °C		
	Resol. 1°C/ Gama -20°C a 80°C	$\pm 0,6$ °C		
	Resol. 1°C/ Gama 80°C a 250°C	$\pm 0,6$ °C		
<b>Termístores</b>	Gama: 0 °C a 80 °C	$\pm 0,12$ °C	Proced. 17.15	C
<b>Termómetros de resist. de platina</b>	Gama: - 10 °C a 80 °C	$\pm 0,015$ °C	Proced.s 8.15/18.15	C
	Gama: 80 °C a 231 °C	$\pm 0,015$ °C		
<b>Termohigrógrafos e termohigrómetros</b>	Gamas: 0 °C a 50 °C / Resolução 0,1 °C	$\pm 0,17$ °C	Proc. Interno E03.15	C
	20 %hr a 95 % hr / 0,1 % hr	$\pm 0,68$ %hr		
<b>Higrómetros de espelho</b>	Gamas: - 15 °C a 50 °C / Resol. 0,1 °C	$\pm 0,17$ °C	Proc. Interno E22.15	C
	20 %hr a 95 % hr / 0,1 % hr	$\pm 0,68$ %hr		
<b>Termohigrógrafos mecânicos</b>	Gamas: 0 °C a 50 °C / Resol. 0,5 °C	$\pm 0,33$ °C	Proc. Interno E21.15	C
	20 %hr a 95 % hr / 0,5 % hr	$\pm 2,0$ %hr		
<b>Termoanemómetros</b>	Gama: 0 °C a 50 °C / Resol. 0,1 °C	$\pm 0,12$ °C	Proc. Interno E23.15	C
<b>Termopares</b>	Gama: 250 °C a 450 °C	$\pm 2,4$ °C	Proc. Interno E12.15	C
	Gama: 450 °C a 1100 °C	$\pm 2,9$ °C		

\* L em mm

O conteúdo do quadro anterior inclui os valores de referência do laboratório no que respeita aos valores mínimos de incerteza de medição expandida que podem ser declarados nos certificados emitidos em 2009, após aceitação pela entidade acreditadora (IPAC – Instituto Português de Acreditação) como Melhores Incertezas de Medição, sendo válidos até à conclusão da auditoria externa seguinte. A informação nele contida é, também, disponibilizada aos clientes de serviços do laboratório, fornecendo um conjunto adicional de indicações relevantes acerca das capacidades vigentes para a realização de calibrações ou ensaios metrológicos, apoiando a sua decisão no que se refere à concordância entre estas capacidades declaradas pelo laboratório e os requisitos dos processos de confirmação metrológica associados ao padrões e equipamentos de referência do Laboratório Central de Apoio Metrológico do LNEC.

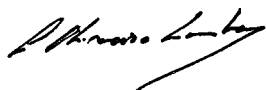
## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] *Guide for the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)*. Genève (Suiça). International Organization for Standardization (ISO). 1993, re-editado em 1995.
- [2] VIM – Vocabulário Internacional de Metrologia. Instituto Português da Qualidade (IPQ), Caparica (Portugal), 2008.

LNEC, Lisboa, Junho de 2009

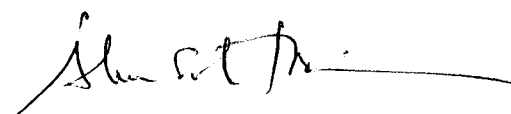
### VISTOS

O Director do CIC



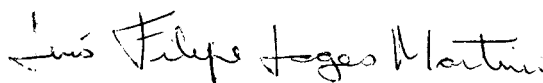
Carlos Oliveira Costa

### AUTORIA



Álvaro Silva Ribeiro

Lic.º Física Tecnológica, Doutor  
Investigador Auxiliar, Chefe do NQM



Luís Filipe Lages Martins

Eng.º Mecânico  
Bolseiro de Iniciação à Investigação Científica

## **ANEXO 1**

### ***Tabelas de Balanço das Melhores Incertezas de Medição do LCAM em 2009***





# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Micrómetros de exteriores

Características metrológicas: alcance 25 mm, resolução 0,001 mm.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$c_i$	$u_i(y)$	$v_i$
$L_s$	Valor convencional	N	<sup>(a)</sup> $4,775 \cdot 10^{-5}$ mm	1	$4,77 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$d$	Desvio de calibração	N			$2 \cdot 10^{-4}$ mm	9
$d_{i,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	9
$d_{i,prod,eq}$	Reprodutib. instrumental	N	0	1	0	
$d_{i,prod,met}$	Reprodutib. do método	N	0	1	0	
$d_{i,prod,op}$	Reprodutib. de operadores	N	0	1	0	
$D_{op}$	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_z)$	R	<sup>(b)</sup> $4,08 \cdot 10^{-2}$ K $1,15 \cdot 10^{-5}$ L mm/K		$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_z)/2$	T	<sup>(c)</sup> $2,04 \cdot 10^{-6}$ K <sup>-1</sup>	$1 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3,7 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[ \frac{\theta_x + \theta_z}{2} \right] - \theta_0$	R	<sup>(d)</sup> $7,348 \cdot 10^{-1}$ K $1,15 \cdot 10^{-5}$ L mm/K		$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_z]$	R	<sup>(e)</sup> $4,08 \cdot 10^{-6}$ K <sup>-1</sup>	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	$2,5 \cdot 10^{-4}/\sqrt{3}$ mm	1	$1,44 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp./ erro zero	R	$2 \cdot 10^{-4}/\sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	0	1	0	
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	0	1	0	
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	0	1	0	
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	0	1	0	
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$5 \cdot 10^{-4}/\sqrt{3}$ mm	-1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	<sup>(f)</sup> $(5,774 \cdot 10^{-4} + 1,7587 \cdot 10^{-6} L)$ mm	1	$(5,77 \cdot 10^{-4} + 1,76 \cdot 10^{-6} L)$ mm (L em mm)	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

<sup>(a)</sup> Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

<sup>(b)</sup> Variación de temperatura:  $u(\delta\theta) = \sqrt{2} \cdot u(\theta) = [\sqrt{2} \cdot 0,003/\sqrt{3}]^\circ\text{C}$

<sup>(c)</sup> Variación do coef. dilatação térmica:  $1$ ;  $(\delta\theta) = 0$ .

<sup>(d)</sup> Variación da temperatura durante o ensaio:  $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \circ\text{C} = [0,2 + 1^2/2]^{1/2} \circ\text{C}$

<sup>(e)</sup> Variación dos coeficientes lineares de dilatação térmica:  $u[\delta\alpha] = \sqrt{2} \cdot u(\alpha) = [\sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6}/\sqrt{3})]^\circ\text{C}^{-1}$  <sup>(f)</sup> Desvio assoc. à montagem:  $= (1 - (1 \cdot \cos(0,2 \cdot \pi/180)))/2$

$u(y)$  Incerteza de medição padrão (com L em mm):  $\pm (7,0 \cdot 10^{-4} + 4,6 \cdot 10^{-6} L)$  mm

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 96

$v_{ef}$  Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm (1,4 \cdot 10^{-3} + 9,2 \cdot 10^{-6} L)$  mm

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Comparadores

Características metrológicas: alcance 50 mm, resolução 0,001 mm.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
$L_s$	$X_i$ Valor convencional	N	$u(X_i)$ ( <sup>a</sup> ) $1,25 \cdot 10^{-4}$ mm	$c_i$ 1	$u(y)$ $1,25 \cdot 10^{-4}$ mm	$v_i$ 50
$d$	Desvio de calibração	N			$2 \cdot 10^{-4}$ mm	9
$d_{r,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	9
$d_{r,prod,eq}$	Reprodutib. instrumental	N	0	1	0	
$d_{r,prod,met}$	Reprodutib. do método	N	0	1	0	
$d_{r,prod,op}$	Reprodutib. de operadores	N	0	1	0	
$D_{op}$	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_s)$	R	( <sup>b</sup> ) $4,08 \cdot 10^{-2}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_s) / 2$	T	( <sup>c</sup> ) $2,04 \cdot 10^{-6}$ K <sup>-1</sup>	$1 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3,7 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[ \frac{\theta_x + \theta_s}{2} \right] - \theta_0$	R	( <sup>d</sup> ) $7,348 \cdot 10^{-1}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_s]$	R	( <sup>e</sup> ) $4,08 \cdot 10^{-6}$ K <sup>-1</sup>	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-8} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	T	$5,25 \cdot 10^{-4} / \sqrt{6}$ mm	1	$2,14 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	$5 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	$4,1 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$4,1 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	-1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	( <sup>f</sup> ) $(5,774 \cdot 10^{-4} + 1,7587 \cdot 10^{-6} L)$ mm	1	$(5,77 \cdot 10^{-4} + 1,76 \cdot 10^{-6} L)$ mm (L em mm)	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

(<sup>a</sup>) Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

(<sup>b</sup>) Variação de temperatura:  $u[\delta\theta] = \sqrt{2} \cdot u(\theta) = [\sqrt{2} \cdot 0,05] / \sqrt{3} \text{ } ^\circ\text{C}$ ; (<sup>c</sup>) Variação do coeficiente de dilatação térmica:  $1$ ;  $[\delta\theta] = 0$ .

(<sup>d</sup>) Variação da temperatura durante o ensaio:  $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C}$ .

(<sup>e</sup>) Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica:  $u[\delta\alpha] = \sqrt{2} \cdot u(\alpha) = \sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}) \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  (<sup>f</sup>) Desvio associado à montagem:  $= (1 - (1 \cdot \cos(0,2 \cdot \pi / 180))) / 2$ .

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm (6,3 \cdot 10^{-4} + 4,6 \cdot 10^{-6} L)$ mm
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 156
$v_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm (1,3 \cdot 10^{-4} + 9,2 \cdot 10^{-6} L)$ mm

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Apalpa-folgas

Características metrológicas: espessura até 5 mm.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>p</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X <sub>i</sub>		u(x <sub>i</sub> )	C <sub>i</sub>	u(y)	v <sub>i</sub>
L <sub>s</sub>	Valor convencional	N	<sup>(a)</sup> 2,885·10 <sup>-4</sup> mm	1	2,885·10 <sup>-4</sup> mm	50
d	Desvio de calibração	N			1·10 <sup>-4</sup> mm	5
d <sub>r,eq</sub>	Repetibilidade instrumental	N	1·10 <sup>-4</sup> mm	1	1·10 <sup>-4</sup> mm	5
d <sub>reprod,eq</sub>	Reprodutib. instrumental	N	0	1	0	
d <sub>reprod,met</sub>	Reprodutib. do método	N	0	1	0	
d <sub>reprod,op</sub>	Reprodutib. de operadores	N	0	1	0	
D <sub>op</sub>	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			2,1·10 <sup>-5</sup> ·L mm (L em mm)	50
L <sup>2</sup> · $\bar{\alpha}$ <sup>2</sup> ·var[ $\delta\theta$ ]	[ $\delta\theta$ ] = (θ <sub>s</sub> - θ <sub>i</sub> )	R	<sup>(b)</sup> 4,08·10 <sup>-2</sup> K	1,15·10 <sup>-5</sup> ·L mm/K	4,70·10 <sup>-7</sup> ·L mm	50
L <sup>2</sup> · $\delta\theta$ <sup>2</sup> ·var[ $\bar{\alpha}$ ]	[ $\bar{\alpha}$ ] = (α <sub>s</sub> - α <sub>i</sub> )/2	T	<sup>(c)</sup> 2,04·10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup>	1·L K·mm	2,04·10 <sup>-5</sup> ·L mm	50
L <sup>2</sup> ·var[ $\bar{\alpha}$ ]·var[ $\delta\theta$ ]					1,18·10 <sup>-7</sup> ·L mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					3·10 <sup>-6</sup> ·L mm (L em mm)	50
L <sup>2</sup> · $\delta\alpha$ <sup>2</sup> ·var[ $\Delta\bar{\theta}$ ]	[ $\Delta\bar{\theta}$ ] = $\left[\frac{\theta_s + \theta_i}{2}\right] - \theta_0$	R	<sup>(d)</sup> 7,348·10 <sup>-1</sup> K	1,15·10 <sup>-5</sup> ·L mm/K	7,348·10 <sup>-7</sup> ·L mm	50
L <sup>2</sup> · $\Delta\bar{\theta}$ <sup>2</sup> ·var[ $\delta\alpha$ ]	[ $\delta\alpha$ ] = [α <sub>s</sub> - α <sub>i</sub> ]	R	<sup>(e)</sup> 4,08·10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup>	0,5·L K·mm	2,04·10 <sup>-5</sup> ·L mm	50
L <sup>2</sup> ·var[ $\delta\alpha$ ]·var[ $\Delta\bar{\theta}$ ]					3·10 <sup>-6</sup> ·L mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	1·10 <sup>-4</sup> /√3 mm	1	5,77·10 <sup>-5</sup> mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	1·10 <sup>-4</sup> /√3 mm	1	5,77·10 <sup>-5</sup> mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	0	1	0	
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	0	1	0	
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	1·10 <sup>-4</sup> /√3 mm	1	5,77·10 <sup>-5</sup> mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	1·10 <sup>-4</sup> mm	1	1·10 <sup>-4</sup> mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	0	-1	0	
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	<sup>(f)</sup> (5,774·10 <sup>-4</sup> + 1,7587·10 <sup>-6</sup> L) mm	1	(5,77·10 <sup>-4</sup> + 1,76·10 <sup>-6</sup> L) mm (L em mm)	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

<sup>(a)</sup> Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

<sup>(b)</sup> Variação de temperatura: u[ $\delta\theta$ ] = √2 · u(θ) = [√2 · 0,05]/√3 °C; <sup>(c)</sup> Variação do coeficiente dilatação térmica: |; [ $\delta\theta$ ] = 0.

<sup>(d)</sup> Variação da temperatura durante o ensaio: [u<sup>2</sup>(θ) + u<sup>2</sup>( $\Delta\theta$ )]<sup>1/2</sup> °C = [0,2 + 1<sup>2</sup>/2]<sup>1/2</sup> °C.

<sup>(e)</sup> Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica: u[ $\delta\alpha$ ] = √2 · u(α) = [√2 · (5·10<sup>-6</sup>/√3)] °C<sup>-1</sup> <sup>(f)</sup> Desvio associado à montagem: = (1 - (1 · cos(0,2 · π/180)))/2.

u(y)	Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± (6,7·10 <sup>-4</sup> + 4,6·10 <sup>-6</sup> L) mm
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 90
v <sub>ef</sub>	Factor de expansão: 2,00
U <sub>95</sub> (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± (1,3·10 <sup>-3</sup> + 9,2·10 <sup>-6</sup> L) mm

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Peneiros

Malha metálica ou chapa perfurada

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$L_s$	Valor convencional	N	<sup>(a)</sup> $5 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$5 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$d$	Desvio de calibração	N			$3,28 \cdot 10^{-4}$ mm	16
$d_{e,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	9
$d_{reprod,eq}$	Reprodutib. instrumental	N	0	1	0	
$d_{reprod,met}$	Reprodutib. do método	N	0	1	0	
$d_{reprod,op}$	Reprodutib. de operadores	N	0	1	0	
$D_{op}$	Repetibilidade operador	N	$2,6 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2,6 \cdot 10^{-4}$ mm	9
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_y)$	R	<sup>(b)</sup> $4,08 \cdot 10^{-2}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_y) / 2$	T	<sup>(c)</sup> $2,04 \cdot 10^{-5}$ K <sup>-1</sup>	$1 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[ \frac{\theta_x + \theta_y}{2} \right] - \theta_0$	R	<sup>(d)</sup> $7,348 \cdot 10^{-1}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_y]$	R	<sup>(e)</sup> $4,08 \cdot 10^{-5}$ K <sup>-1</sup>	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	$5 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$5 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	0	-1	0	
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	0	1	0	

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

<sup>(a)</sup> Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

<sup>(b)</sup> Variação de temperatura:  $u[\delta\theta] = [\sqrt{2} \cdot u(\theta)] = [\sqrt{2} \cdot 0,05] / \sqrt{3}$  °C; <sup>(c)</sup> Variação do coeficiente de dilatação térmica:  $[\delta\theta] = 0$ .

<sup>(d)</sup> Variação da temperatura durante o ensaio:  $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \text{ °C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \text{ °C}$

<sup>(e)</sup> Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica:  $u[\delta\alpha] = [\sqrt{2} \cdot u(\alpha)] = [\sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3})] \text{ °C}^{-1}$

$u(y)$  Incerteza de medição padrão (com L em mm):  $\pm (8,6 \cdot 10^{-4} + 4,3 \cdot 10^{-6} L)$  mm

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 95

$\nu_{ef}$  Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm (1,7 \cdot 10^{-3})$  mm

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Paquímetros

Características metrológicas: alcance 300 mm, resolução 0,01 mm.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X <sub>i</sub>		u(x <sub>i</sub> )	C <sub>i</sub>	u(y)	v <sub>i</sub>
L <sub>s</sub>	Valor convencional	N	<sup>(a)</sup> 1,05·10 <sup>-3</sup> mm	1	1,05·10 <sup>-3</sup> mm	50
d	Desvio de calibração	N			2,86·10 <sup>-3</sup> mm	15
d <sub>recq</sub>	Repetibilidade instrumental	N	2·10 <sup>-3</sup> mm	1	2·10 <sup>-5</sup> mm	4
d <sub>reprod,eq</sub>	Reprodutibilidade Erro de Abbe	N	5·10 <sup>-3</sup> /√6 mm	1	2·10 <sup>-3</sup> mm	50
d <sub>reprod,met</sub>	Reprodutib. do método	N	0	1	0	
d <sub>reprod,op</sub>	Reprodutib. de operadores	N	0	1	0	
D <sub>op</sub>	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			2,1·10 <sup>-5</sup> ·L mm (L em mm)	50
L <sup>2</sup> · $\bar{\alpha}^2$ ·var[ $\delta\theta$ ]	[ $\delta\theta$ ] = (θ <sub>x</sub> - θ <sub>s</sub> )	R	<sup>(b)</sup> 4,08·10 <sup>-2</sup> K	1,15·10 <sup>-5</sup> ·L mm/K	4,70·10 <sup>-7</sup> ·L mm	50
L <sup>2</sup> · $\delta\theta^2$ ·var[ $\bar{\alpha}$ ]	[ $\bar{\alpha}$ ] = (α <sub>x</sub> - α <sub>s</sub> )/2	T	<sup>(c)</sup> 2,04·10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup>	1·L K·mm	2,04·10 <sup>-5</sup> ·L mm	50
L <sup>2</sup> ·var[ $\bar{\alpha}$ ]·var[ $\delta\theta$ ]					1,18·10 <sup>-7</sup> ·L mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					3·10 <sup>-6</sup> ·L mm (L em mm)	50
L <sup>2</sup> · $\delta\alpha^2$ ·var[ $\Delta\bar{\theta}$ ]	[ $\Delta\bar{\theta}$ ] = $\left[\frac{\theta_x + \theta_s}{2}\right] - \theta_0$	R	<sup>(d)</sup> 3,8·10 <sup>-1</sup> K	1,15·10 <sup>-5</sup> ·L mm/K	7,348·10 <sup>-7</sup> ·L mm	50
L <sup>2</sup> · $\Delta\bar{\theta}^2$ ·var[ $\delta\alpha$ ]	[ $\delta\alpha$ ] = [α <sub>x</sub> - α <sub>s</sub> ]	R	<sup>(e)</sup> 4,08·10 <sup>-5</sup> K <sup>-1</sup>	0,5·L K·mm	2,04·10 <sup>-5</sup> ·L mm	50
L <sup>2</sup> ·var[ $\delta\alpha$ ]·var[ $\Delta\bar{\theta}$ ]					3·10 <sup>-6</sup> ·L mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	3,8·10 <sup>-3</sup> /√3 mm	1	2,19·10 <sup>-3</sup> mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	0	1	0	
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	0	1	0	
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	0	1	0	
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	0	1	0	
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	0	1	0	
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	5·10 <sup>-3</sup> /√3 mm	-1	2,89·10 <sup>-3</sup> mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	<sup>(f)</sup> (2,89·10 <sup>-3</sup> + 1,7587·10 <sup>-6</sup> L) mm	1	(2,89·10 <sup>-3</sup> + 1,76·10 <sup>-6</sup> L) mm (L em mm)	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

<sup>(a)</sup> Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

<sup>(b)</sup> Variação de temperatura: u[ $\delta\theta$ ] = √2 · u(θ) = [√2 · 0,05]/√3 °C; <sup>(c)</sup> Variação do coeficiente de dilatação térmica: |; [ $\delta\theta$ ] = 0.

<sup>(d)</sup> Variação da temperatura durante o ensaio: [u<sup>2</sup>(θ) + u<sup>2</sup>(Δθ)]<sup>1/2</sup> °C = [0,2 + 1<sup>2</sup>/2]<sup>1/2</sup> °C

<sup>(e)</sup> Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica: u[ $\delta\alpha$ ] = √2 · u(α) = [√2 · (5·10<sup>-6</sup>/√3)] °C<sup>-1</sup> <sup>(f)</sup> Desvio associado à montagem: = (1 - (1 · cos(0,2 · π/180)))/2.

u(y)	Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± (6,0·10 <sup>-3</sup> + 4,6·10 <sup>-6</sup> L) mm
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 309
v <sub>ef</sub>	Factor de expansão: 2,00
U <sub>95</sub> (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± (1,2·10 <sup>-2</sup> + 9,2·10 <sup>-6</sup> L) mm

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Cabeças micrométricas

Características metrológicas: alcance 50 mm, resolução 0,001 mm.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>a</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(X_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$L_s$	Valor convencional	N	<sup>(a)</sup> $4,8 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$4,8 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$d$	Desvio de calibração	N			$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{r,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{reprod,eq}$	Reprodutib. instrumental	N	0	1	0	
$d_{reprod,met}$	Reprodutib. do método	N	0	1	0	
$d_{reprod,op}$	Reprodutib. de operadores	N	0	1	0	
$D_{op}$	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_s)$	R	<sup>(b)</sup> $4,08 \cdot 10^{-2}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_s) / 2$	T	<sup>(c)</sup> $2,04 \cdot 10^{-5}$ K <sup>-1</sup>	1 · L K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[ \frac{\theta_x + \theta_s}{2} \right] - \theta_0$	R	<sup>(d)</sup> $7,348 \cdot 10^{-1}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_s]$	R	<sup>(e)</sup> $4,08 \cdot 10^{-5}$ K <sup>-1</sup>	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	$6 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$3,46 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	$5 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	$5 \cdot 10^{-5}$ mm	1	$5 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	-1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	<sup>(f)</sup> $(2,89 \cdot 10^{-4} + 1,7587 \cdot 10^{-6} L)$ mm	1	$(2,89 \cdot 10^{-4} + 1,76 \cdot 10^{-6} L)$ mm (L em mm)	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

<sup>(a)</sup> Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

<sup>(b)</sup> Variação de temperatura:  $u[\delta\theta] = \sqrt{2} \cdot u(\theta) = \left[ (\sqrt{2} \cdot 0,05) / \sqrt{3} \right] \cdot \text{C}$ ; <sup>(c)</sup> Variação do coeficiente de dilatação térmica:  $1$ ;  $[\delta\theta] = 0$ .

<sup>(d)</sup> Variação da temperatura durante o ensaio:  $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \cdot \text{C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \cdot \text{C}$ .

<sup>(e)</sup> Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica:  $u[\delta\alpha] = \sqrt{2} \cdot u(\alpha) = \left[ \sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}) \right] \cdot \text{C}^{-1}$  <sup>(f)</sup> Desvio associado à montagem:  $= (1 - (1 - \cos(0,2 \cdot \pi / 180))) / 2$ .

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm (6,7 \cdot 10^{-4} + 4,6 \cdot 10^{-6} L)$ mm
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 93
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm (1,3 \cdot 10^{-3} + 9,2 \cdot 10^{-6} L)$ mm

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Instrumentos de pesagem

Características metrológicas: patamar 1 mg, resolução 0,01 mg.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta m_{cal}$	Calibração dos padrões	N	$1 \cdot 10^{-3}$ mg	1	$1 \cdot 10^{-3}$ mg	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação dos padrões	R	$3 \cdot 10^{-3}/\sqrt{12}$ mg	1	$8,7 \cdot 10^{-4}$ mg	50
$\delta m_R$	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-3}/\sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ mg	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-3}/\sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-3}$ mg	4
$\delta m_{cv}$	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
$\delta m_{imp}$	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 1)/\sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-7}$ mg	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$  Incerteza de medição padrão (com L em mm):  $\pm 4 \cdot 10^{-3}$  mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 35

$\nu_{ef}$  Factor de expansão: 2,07

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm 8 \cdot 10^{-3}$  mg

## Instrumentos de pesagem

Características metrológicas: patamar 10 mg, resolução 0,01 mg.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta m_{cal}$	Calibração dos padrões	N	$1 \cdot 10^{-3}$ mg	1	$1 \cdot 10^{-3}$ mg	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação dos padrões	R	$3 \cdot 10^{-3}/\sqrt{12}$ mg	1	$8,7 \cdot 10^{-4}$ mg	50
$\delta m_R$	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-3}/\sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ mg	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-3}/\sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-3}$ mg	4
$\delta m_{cv}$	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
$\delta m_{imp}$	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 10)/\sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-6}$ mg	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$  Incerteza de medição padrão (com L em mm):  $\pm 4 \cdot 10^{-3}$  mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 35

$\nu_{ef}$  Factor de expansão: 2,07

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm 8 \cdot 10^{-3}$  mg

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Instrumentos de pesagem

Características metrológicas: patamar 100 mg, resolução 0,01 mg.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta m_{cal}$	Calibração dos padrões	N	$2,5 \cdot 10^{-3}$ mg	1	$2,5 \cdot 10^{-3}$ mg	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação dos padrões	R	$4 \cdot 10^{-3} / \sqrt{12}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-3}$ mg	50
$\delta m_R$	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ mg	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-3}$ mg	4
$\delta m_{cv}$	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
$\delta m_{imp}$	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 100) / \sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-5}$ mg	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 4 \cdot 10^{-3}$ mg
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 22
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,13
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 1,0 \cdot 10^{-2}$ mg

## Instrumentos de pesagem

Características metrológicas: patamar 1 g, resolução 0,01 mg.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta m_{cal}$	Calibração dos padrões	N	$5 \cdot 10^{-3}$ mg	1	$5 \cdot 10^{-3}$ mg	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação dos padrões	R	$8 \cdot 10^{-3} / \sqrt{12}$ mg	1	$2,3 \cdot 10^{-3}$ mg	50
$\delta m_R$	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ mg	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-3}$ mg	4
$\delta m_{cv}$	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
$\delta m_{imp}$	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^3) / \sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mg	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 6,5 \cdot 10^{-3}$ mg
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 248
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 1,3 \cdot 10^{-2}$ mg



# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Instrumentos de pesagem

Características metrológicas: patamar 10 g, resolução 0,01 mg.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta m_{cal}$	Calibração dos padrões	N	$1 \cdot 10^{-2}$ mg	1	$1 \cdot 10^{-2}$ mg	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação dos padrões	R	$1 \cdot 10^{-2}/\sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ mg	50
$\delta m_R$	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-3}/\sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ mg	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-3}/\sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-3}$ mg	4
$\delta m_{cv}$	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
$\delta m_{imp}$	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^4)/\sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ mg	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$  Incerteza de medição padrão (com L em mm):  $\pm 1,1 \cdot 10^{-2}$  mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 503

$\nu_{ef}$  Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm 2,2 \cdot 10^{-2}$  mg

## Instrumentos de pesagem

Características metrológicas: patamar 100 g, resolução 0,1 mg.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta m_{cal}$	Calibração dos padrões	N	$2,5 \cdot 10^{-2}$ mg	1	$2,5 \cdot 10^{-2}$ mg	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação dos padrões	R	$5 \cdot 10^{-2}/\sqrt{12}$ mg	1	$1,44 \cdot 10^{-2}$ mg	50
$\delta m_R$	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-2}/\sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-2}$ mg	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-2}/\sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ mg	4
$\delta m_{cv}$	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
$\delta m_{imp}$	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5)/\sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-2}$ mg	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$  Incerteza de medição padrão (com L em mm):  $\pm 4,6 \cdot 10^{-2}$  mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 24

$\nu_{ef}$  Factor de expansão: 2,13

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm 9,7 \cdot 10^{-2}$  mg

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Instrumentos de pesagem

Características metrológicas: patamar 200 g, resolução 0,1 mg.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X <sub>i</sub>		u(x <sub>i</sub> )	C <sub>i</sub>	u(y)	v <sub>i</sub>
$\delta m_{cal}$	Calibração dos padrões	N	5·10 <sup>-2</sup> mg	1	5·10 <sup>-2</sup> mg	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação dos padrões	R	1·10 <sup>-1</sup> /√12 mg	1	2,89·10 <sup>-2</sup> mg	50
$\delta m_R$	Resolução do I.P.	R	5·10 <sup>-2</sup> /√3 mg	1	2,89·10 <sup>-2</sup> mg	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	R	2·10 <sup>-2</sup> /√3 mg	1	1,15·10 <sup>-2</sup> mg	4
$\delta m_{cv}$	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
$\delta m_{imp}$	Efeito de impulsão	N	(1·10 <sup>-6</sup> ·2·10 <sup>4</sup> )/√12 mg	1	5,77·10 <sup>-2</sup> mg	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$  Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 6,8·10<sup>-2</sup> mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 10

v<sub>ef</sub> Factor de expansão: 2,28

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%): ± 1,5·10<sup>-1</sup> mg

## Instrumentos de pesagem

Características metrológicas: patamar 500 g, resolução 1 mg.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X <sub>i</sub>		u(x <sub>i</sub> )	C <sub>i</sub>	u(y)	v <sub>i</sub>
$\delta m_{cal}$	Calibração dos padrões	N	1,25·10 <sup>-1</sup> mg	1	1,25·10 <sup>-1</sup> mg	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação dos padrões	R	1,5·10 <sup>-1</sup> /√12 mg	1	4,33·10 <sup>-2</sup> mg	50
$\delta m_R$	Resolução do I.P.	R	5·10 <sup>-1</sup> /√3 mg	1	2,89·10 <sup>-1</sup> mg	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	R	2·10 <sup>-1</sup> /√3 mg	1	1,15·10 <sup>-1</sup> mg	4
$\delta m_{cv}$	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
$\delta m_{imp}$	Efeito de impulsão	N	(1·10 <sup>-6</sup> ·5·10 <sup>5</sup> )/√12 mg	1	1,44·10 <sup>-1</sup> mg	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$  Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 3,8·10<sup>-1</sup> mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 32

v<sub>ef</sub> Factor de expansão: 2,09

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%): ± 7,8·10<sup>-1</sup> mg

## Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

### Instrumentos de pesagem

Características metrológicas: patamar 1 kg, resolução 1 mg.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u_i(y)$	$\nu_i$
$\delta m_{cal}$	Calibração dos padrões	N	$7,5 \cdot 10^{-1}$ mg	1	$7,5 \cdot 10^{-1}$ mg	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação dos padrões	R	$1/\sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ mg	50
$\delta m_R$	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-1}/\sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ mg	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-1}/\sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-1}$ mg	4
$\delta m_{cv}$	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
$\delta m_{imp}$	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^6)/\sqrt{12}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ mg	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$  Incerteza de medição padrão (com L em mm):  $\pm 8,8 \cdot 10^{-1}$  mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 429

$\nu_{ef}$  Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm 1,8$  mg

### Instrumentos de pesagem

Características metrológicas: patamar 2 kg, resolução 1 mg.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u_i(y)$	$\nu_i$
$\delta m_{cal}$	Calibração dos padrões	N	$7,5 \cdot 10^{-1}$ mg	1	$7,5 \cdot 10^{-1}$ mg	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação dos padrões	R	$3/\sqrt{12}$ mg	1	$8,66 \cdot 10^{-1}$ mg	50
$\delta m_R$	Resolução do I.P.	R	$5 \cdot 10^{-1}/\sqrt{3}$ mg	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ mg	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	R	$2 \cdot 10^{-1}/\sqrt{3}$ mg	1	$1,15 \cdot 10^{-1}$ mg	4
$\delta m_{cv}$	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
$\delta m_{imp}$	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 2 \cdot 10^6)/\sqrt{12}$ mg	1	$5,77 \cdot 10^{-1}$ mg	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$  Incerteza de medição padrão (com L em mm):  $\pm 1,2$  mg

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 166

$\nu_{ef}$  Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm 2,4$  mg

## Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

### Instrumentos de pesagem

Características metrológicas: patamar 5 kg, resolução 10 mg.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta m_{cal}$	Calibração dos padrões	N	1,9 mg	1	1,9 mg	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação dos padrões	R	$10/\sqrt{12}$ mg	1	2,89 mg	50
$\delta m_R$	Resolução do I.P.	R	$5/\sqrt{3}$ mg	1	2,89 mg	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	R	$2/\sqrt{3}$ mg	1	1,15 mg	4
$\delta m_{cv}$	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
$\delta m_{imp}$	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^6) / \sqrt{12}$ mg	1	1,44 mg	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com $L$ em mm): ± 4,9 mg
$k$	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 87
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): ± 9,8 mg

### Instrumentos de pesagem

Características metrológicas: patamar 10 kg, resolução 10 mg.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta m_{cal}$	Calibração dos padrões	N	3,75 mg	1	3,75 mg	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação dos padrões	R	$10/\sqrt{12}$ mg	1	2,89 mg	50
$\delta m_R$	Resolução do I.P.	R	$5/\sqrt{3}$ mg	1	2,89 mg	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	R	$2/\sqrt{3}$ mg	1	1,15 mg	4
$\delta m_{cv}$	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
$\delta m_{imp}$	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^7) / \sqrt{12}$ mg	1	2,89 mg	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com $L$ em mm): ± 5,9 mg
$k$	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 168
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): ± 12 mg

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Instrumentos de pesagem

Características metrológicas: patamar 30 kg, resolução 100 mg.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>a</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta m_{cal}$	Calibração dos padrões	N	10 mg	1	10 mg	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação dos padrões	R	$30/\sqrt{12}$ mg	1	8,68 mg	50
$\delta m_R$	Resolução do I.P.	R	$50/\sqrt{3}$ mg	1	28,9 mg	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	R	$20/\sqrt{3}$ mg	1	11,5 mg	4
$\delta m_{cv}$	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
$\delta m_{imp}$	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^7) / \sqrt{12}$ mg	1	8,66 mg	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 0,041 g
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 53
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,082 g

## Instrumentos de pesagem

Características metrológicas: patamar 60 kg, resolução 1 g.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>a</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta m_{cal}$	Calibração dos padrões	N	42 mg	1	42 mg	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação dos padrões	R	$70/\sqrt{12}$ mg	1	20 mg	50
$\delta m_R$	Resolução do I.P.	R	$500/\sqrt{3}$ mg	1	289 mg	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	R	$200/\sqrt{3}$ mg	1	115 mg	4
$\delta m_{cv}$	Efeito de convexão	R	0	1	0	50
$\delta m_{imp}$	Efeito de impulsão	N	$(1 \cdot 10^{-6} \cdot 6 \cdot 10^7) / \sqrt{12}$ mg	1	17 mg	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 0,35 g
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 29
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,11
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,75 g

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Pesos não classificados

Características metrológicas: alcance 700 g, resolução I.P. 0,001 g.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta m_{cal}$	Calibração do padrão	N	$(4 \cdot 10^{-4})$ g	1	$(4 \cdot 10^{-4})$ g	50
$\delta m_{interp}$	interpolação da escala	R	$(5 \cdot 10^{-4}/\sqrt{3})$ g	1	$(2,9 \cdot 10^{-4})$ g	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação do padrão	R	$(5 \cdot 10^{-4}/\sqrt{12})$ g	1	$(1,5 \cdot 10^{-4})$ g	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	N	$(2 \cdot 10^{-4})$ g	1	$(2 \cdot 10^{-4})$ g	9
$\delta m_{imp}^1$	Efeito de impulsão	R	$(4 \cdot 10^{-3})/\sqrt{12}$ g	1	$(1,15 \cdot 10^{-3})$ g	50
$\delta m_{conv}^2$	Efeito de convexão	R	$(7 \cdot 10^{-4})/\sqrt{12}$ g	1	$(2 \cdot 10^{-4})$ g	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

<sup>1</sup> Valor correspondente a  $\pm 5$  mg/kg (Relatório LNEC 154/05)

<sup>2</sup> Valor correspondente a  $\pm 0,1$  mg/100 g para uma variação de temperatura de 1 °C (Relatório LNEC 154/05)

$u(y)$  Incerteza de medição padrão:  $\pm 1,3 \cdot 10^{-3}$  g

k Graus de liberdade efectivos (700 g): 78

$\nu_{ef}$  Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm 2,6 \cdot 10^{-3}$  g

## Pesos não classificados

Características metrológicas: alcance 12 kg, resolução I.P. 0,1 g.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta m_{cal}$	Calibração do padrão	N	$(4 \cdot 10^{-2})$ g	1	$(4 \cdot 10^{-2})$ g	50
$\delta m_{interp}$	interpolação da escala	R	$(5 \cdot 10^{-3}/\sqrt{3})$ g	1	$(2,9 \cdot 10^{-3})$ g	50
$\delta m_{dep}$	Depreciação do padrão	R	$(5 \cdot 10^{-3}/\sqrt{12})$ g	1	$(1,5 \cdot 10^{-3})$ g	50
$\delta m_{rep}$	Repetibilidade	N	$(2 \cdot 10^{-3})$ g	1	$(2 \cdot 10^{-3})$ g	9
$\delta m_{imp}^1$	Efeito de impulsão	R	$(6 \cdot 10^{-3})/\sqrt{12}$ g	1	$(1,7 \cdot 10^{-2})$ g	50
$\delta m_{conv}^2$	Efeito de convexão	R	$(1,2 \cdot 10^{-4})/\sqrt{12}$ g	1	$(3,5 \cdot 10^{-3})$ g	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

<sup>1</sup> Valor correspondente a  $\pm 5$  mg/kg (Relatório LNEC 154/05)

<sup>2</sup> Valor correspondente a  $\pm 0,1$  mg/100 g para uma variação de temperatura de 1 °C (Relatório LNEC 154/05)

$u(y)$  Incerteza de medição padrão:  $\pm 4,4 \cdot 10^{-2}$  g

k Graus de liberdade efectivos (700 g): 69

$\nu_{ef}$  Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm 8,8 \cdot 10^{-2}$  g

## Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

### Manómetros e transdutores de pressão “in situ”

Características metrológicas: alcance 35 bar, resolução 0,1 bar.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta p_{cal}$	Calibração do padrão	N	1 kPa	1	1 kPa	50
$\delta p_{interp}$	interpolação da escala	R	$(5 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3})$ kPa	1	$(2,9 \cdot 10^{-1})$ kPa	50
$\delta p_{res}$	Resolução	R	$(5 / \sqrt{3})$ kPa	1	2,9 kPa	50
$\delta p_{rep}$	Repetibilidade	N	$(1 \cdot 10^{-1})$ kPa	1	$(1 \cdot 10^{-1})$ kPa	9
$\delta p_{met}$	Método	R	$(1 \cdot 10^{-1}) / \sqrt{3}$ kPa	1	$(5,8 \cdot 10^{-2})$ kPa	50
$\delta p_e$	Estabilidade	R	$(2 \cdot 10^{-1}) / \sqrt{3}$ kPa	1	$(1,15 \cdot 10^{-1})$ kPa	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: ± 3 kPa
k	Graus de liberdade efectivos (700 g): 63
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): ± 6 kPa

### Manómetros e transdutores de pressão “in situ”

Características metrológicas: alcance 135 bar, resolução 0,1 bar.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta p_{cal}$	Calibração do padrão	N	4,5 kPa	1	4,5 kPa	50
$\delta p_{interp}$	interpolação da escala	R	$(5 / \sqrt{3})$ kPa	1	2,9 kPa	50
$\delta p_{res}$	Resolução	R	$(5 / \sqrt{3})$ kPa	1	2,9 kPa	50
$\delta p_{rep}$	Repetibilidade	N	$(1 \cdot 10^{-1})$ kPa	1	$(1 \cdot 10^{-1})$ kPa	9
$\delta p_{met}$	Método	R	$(1 \cdot 10^{-1}) / \sqrt{3}$ kPa	1	$(5,8 \cdot 10^{-2})$ kPa	50
$\delta p_e$	Estabilidade	R	$(2 \cdot 10^{-1}) / \sqrt{3}$ kPa	1	$(1,15 \cdot 10^{-1})$ kPa	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: ± 6 kPa
k	Graus de liberdade efectivos (700 g): 124
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): ± 12 kPa

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Manómetros e transdutores de pressão “in situ”

Características metrológicas: alcance 3,4 bar, resolução 0,2 mbar.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X <sub>i</sub>		u(x <sub>i</sub> )	C <sub>i</sub>	u <sub>i</sub> (y)	v <sub>i</sub>
δp <sub>cal</sub>	Calibração do padrão	N	± 0,4 mbar	1	± 0,4 mbar	50
δp <sub>est</sub>	Estabilidade	R	± 1,0/√3 mbar	1	± 0,6 mbar	50
δp <sub>p atm</sub>	Variação da pressão atmosférica	R	± 0,5/√3 mbar	1	± 0,3 mbar	50
δp <sub>res</sub>	Resolução do transdutor a calibrar	R	± 0,1/√3 mbar	1	± 0,03 mbar	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

u(y) Incerteza de medição padrão: ± 0,7 mbar

k Graus de liberdade efectivos: 73

v<sub>ef</sub> Factor de expansão: 2,00

U<sub>95</sub>(y) Incerteza de medição expandida (95 %): ± 1,4 mbar

## Manómetros e transdutores de pressão “in situ”

Características metrológicas: alcance 10,3 bar, resolução 0,4 mbar.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X <sub>i</sub>		u(x <sub>i</sub> )	C <sub>i</sub>	u <sub>i</sub> (y)	v <sub>i</sub>
δp <sub>cal</sub>	Calibração do padrão	N	± 0,8 mbar	1	± 0,8 mbar	50
δp <sub>est</sub>	Estabilidade	R	± 1,0/√3 mbar	1	± 0,6 mbar	50
δp <sub>p atm</sub>	Variação da pressão atmosférica	R	± 0,5/√3 mbar	1	± 0,3 mbar	50
δp <sub>res</sub>	Resolução do transdutor a calibrar	R	± 0,2/√3 mbar	1	± 0,12 mbar	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

u(y) Incerteza de medição padrão: ± 1,0 mbar

k Graus de liberdade efectivos: 91

v<sub>ef</sub> Factor de expansão: 2,00

U<sub>95</sub>(y) Incerteza de medição expandida (95 %): ± 2,0 mbar



# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Termômetros de dilatação de líquido-em-vidro

Características metrológicas: gama de medição de – 20 °C a + 80 °C, resolução 0,1 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u_i(y)$	$\nu_i$
$\delta w_{s,cal}; \delta R_{s,ind}; \delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	1	$3,5 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-3} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$2,89 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,vpat}$	Efeito da variação da pressão atmosférica	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$2,89 \cdot 10^{-3} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,px}$	Efeito de paralaxe	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-3} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,ds}$	Deriva secular	R	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,col}$	Temperatura da coluna de imersão	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-3} \text{ °C}$	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,050 \text{ °C}$
k	Graus de liberdade efectivos: 139
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	<b>Incerteza de medição expandida (95%): <math>\pm 0,10 \text{ °C}</math></b>

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Termómetros de dilatação de líquido-em-vidro

Características metrológicas: gama de medição de + 80 °C a + 250 °C, resolução 0,1 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u_i(y)$	$\nu_i$
$\delta w_{s,cal}; \delta R_{s,ind}; \delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	1	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$4 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,3 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,vpat}$	Efeito da variação da pressão atmosférica	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,px}$	Efeito de paralaxe	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,ds}$	Deriva secular	R	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,col}$	Temperatura da coluna de imersão	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,056$ °C
k	Graus de liberdade efectivos: 188
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,11$ °C

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Termómetros de dilatação de líquido-em-vidro

Características metrológicas: gama de medição de – 20 °C a + 80 °C, resolução 1 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta w_{s,cal}; \delta R_{s,ind}; \delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	1	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,vpat}$	Efeito da variação da pressão atmosférica	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,px}$	Efeito de paralaxe	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,ds}$	Deriva secular	R	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,col}$	Temperatura da coluna de imersão	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,33$ °C
k	Graus de liberdade efectivos: 80
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,7$ °C

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Termómetros de dilatação de líquido-em-vidro

Características metroológicas: gama de medição de + 80 °C a + 250 °C, resolução 1 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta w_{s,cal}; \delta R_{s,ind}; \delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	1	$3,5 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$4 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$2,3 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$2,89 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,vpat}$	Efeito da variação da pressão atmosférica	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$2,89 \cdot 10^{-3} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,px}$	Efeito de paralaxe	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,ds}$	Deriva secular	R	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,col}$	Temperatura da coluna de imersão	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,33 \text{ °C}$
k	Graus de liberdade efectivos: 81
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,7 \text{ °C}$

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Estufas

Características metrológicas: gama de medição de 0 °C a + 180 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	$4 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	1	$4 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta m_{der}$	Deriva de longo prazo	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-3} \text{ °C}$	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$  Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 0,44 °C

k Graus de liberdade efectivos (1 mm):50

$\nu_{ef}$  Factor de expansão:2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,9 °C

## Câmaras condicionadas

Características metrológicas: gama de medição de 0 °C a + 180 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	$4 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	1	$4 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta m_{der}$	Deriva de longo prazo	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-3} \text{ °C}$	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$  Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 0,44 °C

k Graus de liberdade efectivos (1 mm):50

$\nu_{ef}$  Factor de expansão:2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,9 °C

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Banhos c/ regulação térmica

Características metrológicas: gama de medição de 0 °C a + 180 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	$4 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	1	$4 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta m_{der}$	Deriva de longo prazo	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-3} \text{ °C}$	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 0,44 °C
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 50
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	<b>Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,9 °C</b>

## Fornos e Mufas

Características metrológicas: gama de medição de temp. ambiente a + 100 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	$5 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	1	$5 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{desvio}$	Desvios de calibração	R	$1 / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta m_{der}$	Deriva de longo prazo	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 0,59 °C
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 50
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	<b>Incerteza de medição expandida (95%): ± 1,2 °C</b>

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Fornos e Mufas

Características metrológicas: gama de medição de + 100 °C a + 400 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(X_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	$1 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	1	$1 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{desvio}$	Desvios de calibração	R	$1,1 / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$6,35 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta m_{der}$	Deriva de longo prazo	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 0,65 \text{ °C}$
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 50
$V_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	<b>Incerteza de medição expandida (95%): <math>\pm 1,3 \text{ °C}</math></b>

## Fornos e Mufas

Características metrológicas: gama de medição de + 400 °C a + 500 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(X_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	$1,5 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	1	$1,5 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{desvio}$	Desvios de calibração	R	$1,7 / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$9,8 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta m_{der}$	Deriva de longo prazo	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm 0,99 \text{ °C}$
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 50
$V_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	<b>Incerteza de medição expandida (95%): <math>\pm 2,0 \text{ °C}</math></b>

## Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

### Fornos e Mufas

Características metrológicas: gama de medição de + 500 °C a + 800 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u_i(y)$	$\nu_i$
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	$8 \cdot 10^{-1}$ °C	1	$8 \cdot 10^{-1}$ °C	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta\theta_{desvio}$	Desvios de calibração	R	$1,9 / \sqrt{3}$ °C	1	$1,1 \cdot 10^{-1}$ °C	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta m_{der}$	Deriva de longo prazo	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-2}$ °C	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 1,4 °C
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 50
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): ± 2,8 °C

### Fornos e Mufas

Características metrológicas: gama de medição de + 800 °C a + 1100 °C

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u_i(y)$	$\nu_i$
$\delta\theta_{s,cal}$	Calibração dos padrões	N	$1,25 \cdot 10^{-1}$ °C	1	$1,25 \cdot 10^{-1}$ °C	50
$\delta\theta_{ponte}$	Ponte de medição	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta\theta_{desvio}$	Desvios de calibração	R	$2,7 / \sqrt{3}$ °C	1	1,56 °C	50
$\delta\theta_{interp}$	Interpolação da escala	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta m_{der}$	Deriva de longo prazo	R	$1 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-2}$ °C	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): ± 2 °C
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 50
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): ± 4 °C



# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Termómetros digitais

Características metrológicas: gama de medição de 0 °C a + 80 °C, resolução 0,1 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u_i(y)$	$\nu_i$
$\delta w_{s,cal}; \delta R_{s,ind}; \delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	1	$3,5 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-3} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$2,89 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
	Condução térmica	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-3} \text{ °C}$	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,048 \text{ °C}$
k	Graus de liberdade efectivos: 124
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	<b>Incerteza de medição expandida (95%): <math>\pm 0,10 \text{ °C}</math></b>

## Termómetros digitais

Características metrológicas: gama de medição de + 80 °C a + 180 °C, resolução 0,1 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u_i(y)$	$\nu_i$
$\delta w_{s,cal}; \delta R_{s,ind}; \delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	1	$3,5 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$4 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$2,3 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$1,15 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$2,89 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
	Condução térmica	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-3} \text{ °C}$	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,054 \text{ °C}$
k	Graus de liberdade efectivos: 162
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	<b>Incerteza de medição expandida (95%): <math>\pm 0,11 \text{ °C}</math></b>

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Termómetros digitais

Características metrológicas: gama de medição de 0 °C a +80 °C, resolução 1 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta w_{s,cal}$ ; $\delta R_{s,ind}$ ; $\delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	1	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,col}$	Temperatura da coluna de imersão	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$  Incerteza de medição padrão:  $\pm 0,3$  °C

k Graus de liberdade efectivos: 51

$\nu_{ef}$  Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm 0,6$  °C

## Termómetros digitais

Características metrológicas: gama de medição de 80 °C a 180 °C, resolução 1 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta w_{s,cal}$ ; $\delta R_{s,ind}$ ; $\delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	1	$3,5 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Interpolação da escala	R		1	$1 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do banho regulado	R	$4 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,3 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	$5 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-1}$ °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	
$\delta \theta_{Tx,col}$	Temperatura da coluna de imersão	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$  Incerteza de medição padrão:  $\pm 0,3$  °C

k Graus de liberdade efectivos: 52

$\nu_{ef}$  Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm 0,6$  °C

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Termístores

Características metrológicas: gama de medição de 0 °C a +80 °C, resolução 0,1 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u_i(y)$	$\nu_i$
$\delta\theta_{T,cal}$	Calibração dos padrões	N	$2 \cdot 10^{-4}$ °C	1	$2 \cdot 10^{-4}$ °C	50
$\delta\theta_{T,s}$	Estabilidade de longo prazo	T	$1 \cdot 10^{-3} / \sqrt{6}$ °C	1	$4 \cdot 10^{-4}$ °C	50
$\delta w_T ; \delta R_s$	Ponte e resistência padrão externa	N			$1 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta\theta_{B,s}$	Estabilidade do banho regulado	R	$4 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,3 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta\theta_{B,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$2 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$1,15 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta\theta_{I,F250}$	Cadeia de medição	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta\theta_{sh}$	Auto-aquecimento	R	$4 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,3 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta\theta_{Tx,res}$	Resolução da cadeia de medição	R	$5 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,89 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta\theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	0	1	0	

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 0,058$ °C
k	Graus de liberdade efectivos: 52
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm 0,12$ °C

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Termómetros de resistência de platina

Características metrológicas: gama de medição de -10 °C a +80 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u_i(y)$	$\nu_i$
$\delta\theta_{T,cal}$	Calibração dos padrões	N	$2 \cdot 10^{-4}$ °C	1	$2 \cdot 10^{-4}$ °C	50
$\delta\theta_{T,s}$	Estabilidade de longo prazo	T	$1 \cdot 10^{-3} / \sqrt{6}$ °C	1	$4 \cdot 10^{-4}$ °C	50
$\delta w_T ; \delta R_s$	Ponte e resistência padrão externa (med. PRT 25 $\Omega$ )	N			$3 \cdot 10^{-4}$ °C	50
$\delta\theta_{B,s}$	Estabilidade do banho regulado	R	$4 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,3 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta\theta_{B,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta w_{T,i} ; \delta R_{s,i}$	Ponte e resistência padrão externa (med. PRT 100 $\Omega$ )	N			$1 \cdot 10^{-3}$ °C	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$  Incerteza de medição padrão:  $\pm 0,0075$  °C

k Graus de liberdade efectivos: 99

$\nu_{ef}$  Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm 0,015$  °C

## Termómetros de resistência de platina

Características metrológicas: gama de medição de -10 °C a +80 °C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u_i(y)$	$\nu_i$
$\delta\theta_{T,cal}$	Calibração dos padrões	N	$2 \cdot 10^{-4}$ °C	1	$2 \cdot 10^{-4}$ °C	50
$\delta\theta_{T,s}$	Estabilidade de longo prazo	T	$1 \cdot 10^{-3} / \sqrt{6}$ °C	1	$4 \cdot 10^{-4}$ °C	50
$\delta w_T ; \delta R_s$	Ponte e resistência padrão externa (med. PRT 25 $\Omega$ )	N			$3 \cdot 10^{-4}$ °C	50
$\delta\theta_{B,s}$	Estabilidade do banho regulado	R	$4 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$2,3 \cdot 10^{-2}$ °C	50
$\delta\theta_{B,u}$	Uniformidade do banho regulado	R	$1 \cdot 10^{-2} / \sqrt{3}$ °C	1	$5,78 \cdot 10^{-3}$ °C	50
$\delta w_{T,i} ; \delta R_{s,i}$	Ponte e resistência padrão externa (med. PRT 100 $\Omega$ )	N	$1 \cdot 10^{-3}$ °C	1	$1 \cdot 10^{-3}$ °C	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$  Incerteza de medição padrão:  $\pm 0,0075$  °C

k Graus de liberdade efectivos: 99

$\nu_{ef}$  Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm 0,015$  °C

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Câmaras condicionadas

Características metrológicas: gama de medição de 35 % hr a 80 % hr.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$\delta hr_{cal}$	Calibração do padrão	N	± 0,34 % hr	1	± 0,34 % hr	50
$\delta hr_{rep}$	Repetibilidade	N	± 0,20 % hr	1	± 0,20 % hr	50
$\delta hr_{res}$	Resolução do equipamento	R	± 0,5/√3 % hr	1	± 0,29 % hr	50
$\delta hr_{der}$	Deriva entre calibrações	R	± 1,0/√3 % hr	1	± 0,58 % hr	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N –Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: ± 0,76 % hr
$k$	Graus de liberdade efectivos: 123
$V_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	<b>Incerteza de medição expandida (95%): ± 1,5 % hr</b>

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Extensão do âmbito de Acreditação do LCAM/LNEC - 2007

### Transdutores de deslocamento *in situ*

Características metrológicas: alcance 300 mm, resolução 0,001 mm.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
$L_s$	$X_i$ Valor convencional	N	$u(x_i)$ ( <sup>a</sup> ) $(1,25 \cdot 10^{-5} + 3,5 \cdot 10^{-7} \cdot L)$ mm	$C_i$ 1	$u(y)$ ( $1,25 \cdot 10^{-5} + 3,5 \cdot 10^{-7} \cdot L$ ) mm	$\nu_i$ 50
$d$	Desvio de calibração	N			$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{i,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{reprod,eq}$	Reprodutibilidade instrumental	N	0	1	0	
$d_{reprod,met}$	Reprodutibilidade do método	N	0	1	0	
$d_{reprod,op}$	Reprodutibilidade de operadores	N	0	1	0	
$D_{op}$	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_s)$	R	( <sup>b</sup> ) $4,08 \cdot 10^{-2}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_s) / 2$	T	( <sup>c</sup> ) $2,04 \cdot 10^{-5}$ K <sup>-1</sup>	$1 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3,7 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[ \frac{\theta_x + \theta_s}{2} \right] - \theta_0$	R	( <sup>d</sup> ) $7,348 \cdot 10^{-1}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_s]$	R	( <sup>e</sup> ) $4,08 \cdot 10^{-5}$ K <sup>-1</sup>	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	$5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-6}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$0 / \sqrt{3}$ mm	1	0 mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	$1 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}$ mm	1	$5,7 \cdot 10^{-7}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	$2 \cdot 10^{-6}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-6}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	-1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	( <sup>f</sup> ) $(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,7587 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	1	$(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,76 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm (L em mm)	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

(<sup>a</sup>) Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

(<sup>b</sup>) Variação de temperatura:  $u[\delta\theta] = [\sqrt{2} \cdot u(\theta)] = [\sqrt{2} \cdot 0,05 / \sqrt{3}] \text{ } ^\circ\text{C}$ ; (<sup>c</sup>) Variação do coeficiente de dilatação térmica:  $[\delta\theta] = 0$ .

(<sup>d</sup>) Variação da temperatura durante o ensaio:  $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C}$ .

(<sup>e</sup>) Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica:  $u[\delta\alpha] = [\sqrt{2} \cdot u(\alpha)] = [\sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3})] \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  (<sup>f</sup>) Desvio associado à montagem:  $= (1 - (1 \cdot \cos(0,2 \cdot \pi / 180))) / 2$ .

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm (2,9 \cdot 10^{-3} + 4,6 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm
k	Graus de liberdade efectivos (1 mm): 51
$\nu_{\text{eff}}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm (5,8 \cdot 10^{-3} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Calibrador de extensómetros

Características metrológicas: Alcance 25 mm, resolução 0,001 mm.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>a</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
$L_s$	$X_i$ Valor convencional	N	$u(x_i)$ (a) $(8 \cdot 10^{-4} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	$C_i$ 1	$u(y)$ ( $8 \cdot 10^{-4} + 9,2 \cdot 10^{-6} \cdot L$ ) mm	$\nu_i$ 50
$d$	Desvio de calibração	N			$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{e,q}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{reprod,q}$	Reprodutibilidade instrumental	N	0	1	0	
$d_{reprod,met}$	Reprodutibilidade do método	N	0	1	0	
$d_{reprod,op}$	Reprodutibilidade de operadores	N	0	1	0	
$D_{op}$	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_s)$	R	(b) $4,08 \cdot 10^{-2}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_s) / 2$	T	(c) $2,04 \cdot 10^{-5}$ K <sup>-1</sup>	$1 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3,7 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[ \frac{\theta_x + \theta_s}{2} \right] - \theta_0$	R	(d) $7,348 \cdot 10^{-1}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K	$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_s]$	R	(e) $4,08 \cdot 10^{-5}$ K <sup>-1</sup>	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	$2 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$0 / \sqrt{3}$ mm	1	0 mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$2 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	-1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	(f) $(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,7587 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	1	$(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,76 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm (L em mm)	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

(a) Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

(b) Variação de temperatura:  $u[\delta\theta] = \sqrt{2} \cdot u(\theta) = \left[ \sqrt{2} \cdot 0,05 / \sqrt{3} \right] \text{°C}$ ; (c) Variação do coeficiente de dilatação térmica:  $1$ ;  $[\delta\theta] = 0$ .

(d) Variação da temperatura durante o ensaio:  $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \text{°C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \text{°C}$

(e) Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica:  $u[\delta\alpha] = \sqrt{2} \cdot u(\alpha) = \left[ \sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}) \right] \text{°C}^{-1}$  (f) Desvio associado à montagem:  $= (1 - (1 - \cos(0,2 \cdot \pi / 180))) / 2$ .

$u(y)$  Incerteza de medição padrão (com L em mm):  $\pm (6,0 \cdot 10^{-3} + 1 \cdot 10^{-5} L)$  mm

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 109

$\nu_{\text{eff}}$  Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm (2 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-5} L)$  mm

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Extensómetros com indicador dedicado

Características metrológicas: alcance 25 mm, resolução 0,005 mm.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>a</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
$L_s$	$X_i$ Valor convencional	N	$u(x_i)$ <sup>(a)</sup> $(2,2 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-5} \cdot L)$ mm	$C_i$ 1	$u(y)$ $(2,2 \cdot 10^{-3} + 2 \cdot 10^{-5} \cdot L)$ mm	$\nu_i$ 50
$d$	Desvio de calibração	N			$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{r,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$1 \cdot 10^{-3}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{reprod,eq}$	Reprodutibilidade instrumental	N	0	1	0	
$d_{reprod,met}$	Reprodutibilidade do método	N	0	1	0	
$d_{reprod,op}$	Reprodutibilidade de operadores	N	0	1	0	
$D_{op}$	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_s)$	R	<sup>(b)</sup> $4,08 \cdot 10^{-2}$ K $1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K		$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_s) / 2$	T	<sup>(c)</sup> $2,04 \cdot 10^{-5}$ K <sup>-1</sup>	$1 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3,7 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[ \frac{\theta_x + \theta_s}{2} \right] - \theta_0$	R	<sup>(d)</sup> $7,348 \cdot 10^{-1}$ K $1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K		$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_s]$	R	<sup>(e)</sup> $4,08 \cdot 10^{-5}$ K <sup>-1</sup>	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	$1 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mm	1	$5,78 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$0 / \sqrt{3}$ mm	1	0 mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$1 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mm	1	$5,78 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	$1 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mm	1	$5,78 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	$1 \cdot 10^{-3}$ mm	1	$1 \cdot 10^{-3}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$2,5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3}$ mm	-1	$1,44 \cdot 10^{-3}$ mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	<sup>(f)</sup> $(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,7587 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	1	$(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,76 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm (L em mm)	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

<sup>(a)</sup> Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

<sup>(b)</sup> Variação de temperatura:  $u[\delta\theta] = \sqrt{2} \cdot u(\theta) = [\sqrt{2} \cdot 0,05] / \sqrt{3} \text{ } ^\circ\text{C}$ ; <sup>(c)</sup> Variação do coeficiente de dilatação térmica:  $1$ ;  $[\delta\theta] = 0$ .

<sup>(d)</sup> Variação da temperatura durante o ensaio:  $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C}$ .

<sup>(e)</sup> Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica:  $u[\delta\alpha] = \sqrt{2} \cdot u(\alpha) = \sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}) \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  <sup>(f)</sup> Desvio associado à montagem:  $= (1 - (1 \cdot \cos(0,2 \cdot \pi / 180))) / 2$ .

$u(y)$  Incerteza de medição padrão (com L em mm):  $\pm (3,5 \cdot 10^{-3} + 2,1 \cdot 10^{-5} \cdot L)$  mm

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 309

$\nu_{\text{eff}}$  Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm (7,0 \cdot 10^{-3} + 4,1 \cdot 10^{-5} \cdot L)$  mm



# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Ensaio dimensionais *in situ*

Características metroológicas: alcance 20 m.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u(y)$	$\nu_i$
$L_s$	Valor convencional	N	<sup>(a)</sup> $(2,8 \cdot 10^{-4} + 2,3 \cdot 10^{-9} \cdot L)$ mm	1	$(1,25 \cdot 10^{-5} + 3,5 \cdot 10^{-7} \cdot L)$ mm	50
$d$	Desvio de calibração	N			$2 \cdot 10^{-6}$ mm	4
$d_{r,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-6}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-6}$ mm	4
$d_{r,prod,eq}$	Reprodutibilidade instrumental	N	0	1	0	
$d_{r,prod,met}$	Reprodutibilidade do método	N	0	1	0	
$d_{r,prod,op}$	Reprodutibilidade de operadores	N	0	1	0	
$D_{op}$	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_s)$	R	<sup>(b)</sup> $4,08 \cdot 10^{-2}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5}$ L mm/K	$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_s) / 2$	T	<sup>(c)</sup> $2,04 \cdot 10^{-5}$ K <sup>-1</sup>	$1 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3,7 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[ \frac{\theta_x + \theta_s}{2} \right] - \theta_0$	R	<sup>(d)</sup> $7,348 \cdot 10^{-1}$ K	$1,15 \cdot 10^{-5}$ L mm/K	$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_s]$	R	<sup>(e)</sup> $4,08 \cdot 10^{-5}$ K <sup>-1</sup>	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	$5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-6}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Varição de comp. / erro de zero	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$0 / \sqrt{3}$ mm	1	0 mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$2 \cdot 10^{-5} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-5}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	$1 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}$ mm	1	$5,78 \cdot 10^{-7}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	$2 \cdot 10^{-6}$	1	$2 \cdot 10^{-6}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$0 / \sqrt{3}$ mm	1	0 mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	<sup>(f)</sup> $1 \cdot 10^{-6}$ L mm	1	$5,77 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm (L em mm)	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

<sup>(a)</sup> Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

<sup>(b)</sup> Variação de temperatura:  $u[\delta\theta] = \sqrt{2} \cdot u(\theta) = \left[ \sqrt{2} \cdot 0,05 / \sqrt{3} \right] \cdot 0^\circ\text{C}$ ; <sup>(c)</sup> Variação do coeficiente de dilatação térmica: 1;  $[\delta\theta] = 0$ .

<sup>(d)</sup> Variação da temperatura durante o ensaio:  $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \cdot 0^\circ\text{C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \cdot 0^\circ\text{C}$ .

<sup>(e)</sup> Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica:  $u[\delta\alpha] = \sqrt{2} \cdot u(\alpha) = \left[ \sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3}) \right] \cdot 0^\circ\text{C}^{-1}$  <sup>(f)</sup> Desvio associado à montagem:  $= (1 - (1 \cdot \cos(0,2 \cdot \pi / 180))) / 2$ .

$u(y)$  Incerteza de medição padrão (com L em mm):  $\pm (2,8 \cdot 10^{-4} + 4,3 \cdot 10^{-6} L)$  mm

k Graus de liberdade efectivos (1 mm): 53

$\nu_{\text{eff}}$  Factor de expansão: 2,00

$U_{95}(y)$  Incerteza de medição expandida (95%):  $\pm (5,6 \cdot 10^{-4} + 8,6 \cdot 10^{-6} L)$  mm

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Pratos de prensa

Características metrológicas: alcance 1 m × 1 m.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>i</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
$L_s$	$X_i$ Valor convencional	N	$u(x_i)$ ( <sup>(a)</sup> ) $(6,5 \cdot 10^{-4} + 8 \cdot 10^{-7} \cdot L)$ mm	$C_i$ 1	$u_i(y)$ $(6,5 \cdot 10^{-4} + 8 \cdot 10^{-7} \cdot L)$ mm	$\nu_i$ 50
$d$	Desvio de calibração	N			$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{r,eq}$	Repetibilidade instrumental	N	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$2 \cdot 10^{-4}$ mm	4
$d_{r,prod,eq}$	Reprodutibilidade instrumental	N	0	1	0	
$d_{reprod,met}$	Reprodutibilidade do método	N	0	1	0	
$d_{reprod,op}$	Reprodutibilidade de operadores	N	0	1	0	
$D_{op}$	Repetibilidade operador	N	0	1	0	
$\bar{\alpha} \cdot \delta\theta$	Desvio de calibração	N			$2,1 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \bar{\alpha}^2 \cdot \text{var}[\delta\theta]$	$[\delta\theta] = (\theta_x - \theta_s)$	R	( <sup>(b)</sup> ) $4,08 \cdot 10^{-2}$ K $1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K		$4,70 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \delta\theta^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}]$	$[\bar{\alpha}] = (\alpha_x - \alpha_s) / 2$	T	( <sup>(c)</sup> ) $2,04 \cdot 10^{-5}$ K <sup>-1</sup>	$1 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\bar{\alpha}] \cdot \text{var}[\delta\theta]$					$1,18 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$\delta\alpha \cdot \Delta\bar{\theta}$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm (L em mm)	50
$L^2 \cdot \delta\alpha^2 \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$	$[\Delta\bar{\theta}] = \left[ \frac{\theta_x + \theta_s}{2} \right] - \theta_0$	R	( <sup>(d)</sup> ) $7,348 \cdot 10^{-1}$ K $1,15 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm/K		$7,348 \cdot 10^{-7} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \Delta\bar{\theta}^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha]$	$[\delta\alpha] = [\alpha_x - \alpha_s]$	R	( <sup>(e)</sup> ) $4,08 \cdot 10^{-5}$ K <sup>-1</sup>	$0,5 \cdot L$ K·mm	$2,04 \cdot 10^{-5} \cdot L$ mm	50
$L^2 \cdot \text{var}[\delta\alpha] \cdot \text{var}[\Delta\bar{\theta}]$					$3 \cdot 10^{-6} \cdot L$ mm	50
$\delta L_{s,D}$	Deriva entre calibrações	R	$6 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$3,46 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,L}$	Variação de comp. / erro de zero	R	$2 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,H}$	Erro de reversibilidade	R	$2 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,E}$	Erro de estabilidade	R	$2 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$1,15 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,Rp}$	Resolução do padrão de ref.	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3}$ mm	1	$2,89 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,I}$	Correcção de valores de ref.	N	$5 \cdot 10^{-4}$ mm	1	$5 \cdot 10^{-4}$ mm	50
$\delta L_{s,R}$	Resolução do inst. a calibrar	R	$0 / \sqrt{3}$ mm	-1	0 mm	50
$\delta L_{s,M}$	Montagem e erros mecânicos	R	( <sup>(f)</sup> ) $(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,7587 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm	1	$(2,89 \cdot 10^{-3} + 1,76 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm (L em mm)	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

(a) Incerteza de medição padrão indicada no(s) certificado(s) de calibração.

(b) Variação de temperatura:  $u[\delta\theta] = \sqrt{2} \cdot u(\theta) = [\sqrt{2} \cdot 0,05] / \sqrt{3} \text{ } ^\circ\text{C}$ ; (<sup>(c)</sup>) Variação do coeficiente de dilatação térmica:  $1$ ;  $[\delta\theta] = 0$ .

(d) Variação da temperatura durante o ensaio:  $[u^2(\theta) + u^2(\Delta\theta)]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C} = [0,2 + 1^2 / 2]^{1/2} \text{ } ^\circ\text{C}$ .

(e) Variação dos coeficientes lineares de dilatação térmica:  $u[\delta\alpha] = \sqrt{2} \cdot u(\alpha) = [\sqrt{2} \cdot (5 \cdot 10^{-6} / \sqrt{3})] \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  (<sup>(f)</sup>) Desvio associado à montagem:  $= (1 - (1 \cdot \cos(0,2 \cdot \pi / 180))) / 2$ .

$u(y)$	Incerteza de medição padrão (com L em mm): $\pm (3,0 \cdot 10^{-3} + 4,7 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm
k	Graus de liberdade efectivos (100 mm): 86
$v_{\text{eff}}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	Incerteza de medição expandida (95%): $\pm (6,1 \cdot 10^{-3} + 9,4 \cdot 10^{-6} \cdot L)$ mm

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Termohigrógrafos e termohigrómetros com indicador digital dedicado

Características metrológicas: resolução de 0,1 °C / 0,1 % hr e gamas de medição de 0 °C a 50 °C / 20 % hr a 95 % hr.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u_i(y)$	$\nu_i$
$\delta hr_{cal}$	Calibração do padrão	N	± 0,25 % hr	1	± 0,25 % hr	50
$\delta hr_{est,lp}$	Estabilidade de longo prazo	T	± 0,20/√6 % hr	1	± 0,08 % hr	50
$\delta hr_s$	Estabilidade do meio regulado	R	± 0,05/√3 % hr	1	± 0,03 % hr	50
$\delta hr_u$	Uniformidade do meio regulado	R	± 0,35/√3 % hr	1	± 0,20 % hr	50
$\delta hr_{der}$	Deriva	R	± 0,10/√3 % hr	1	± 0,06 % hr	50
$\delta hr_{x,res}$	Resolução	R	± 0,05/√3 % hr	1	± 0,03 % hr	50
$\delta hr_{x,rep}$	Repetibilidade	R	± 0,03/√3 % hr	1	± 0,02 % hr	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: ± 0,34 % hr
$k$	Graus de liberdade efectivos: 118
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	<b>Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,68 % hr</b>

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u_i(y)$	$\nu_i$
$\delta \theta_{cal}$	Calibração do padrão	N	± 0,025 °C	1	± 0,025 °C	50
$\delta \theta_{est,lp}$	Estabilidade de longo prazo	T	± 0,01/√6 °C	1	± 0,004 °C	50
$\delta \theta_s$	Estabilidade do meio regulado	R	± 0,014/√3 °C	1	± 0,008 °C	50
$\delta \theta_u$	Uniformidade do meio regulado	R	± 0,12/√3 °C	1	± 0,07 °C	50
$\delta \theta_{Tx,a}$	Auto-aquecimento	R	± 0,01/√3 °C	1	± 0,006 °C	50
$\delta \theta_{Tx,r}$	Resolução eq. a calibrar	R	± 0,05/√3 °C	1	± 0,029 °C	50
$\delta \theta_{rep}$	Repetibilidade	R	± 0,02/√3 °C	1	± 0,012 °C	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: ± 0,08 °C
$k$	Graus de liberdade efectivos: 105
$\nu_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	<b>Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,17 °C</b>

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Higrómetros de espelho

Características metrológicas: gama de medição -15 °C a +50 °C e resolução de 0,1 °C (escala de temperatura de ponto-de-orvalho) 20 % hr a 95 % hr, resolução de 0,1 % hr (escala de humidade relativa).

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X <sub>i</sub>		u(x <sub>i</sub> )	C <sub>i</sub>	u <sub>i</sub> (y)	v <sub>i</sub>
δhr <sub>cal</sub>	Calibração do padrão	N	± 0,25 % hr	1	± 0,25 % hr	50
δhr <sub>est,lp</sub>	Estabilidade de longo prazo	T	± 0,20/√6 % hr	1	± 0,08 % hr	50
δhr <sub>s</sub>	Estabilidade do meio regulado	R	± 0,05/√3 % hr	1	± 0,03 % hr	50
δhr <sub>u</sub>	Uniformidade do meio regulado	R	± 0,35/√3 % hr	1	± 0,20 % hr	50
δhr <sub>der</sub>	Deriva	R	± 0,10/√3 % hr	1	± 0,06 % hr	50
δhr <sub>x,res</sub>	Resolução	R	± 0,05/√3 % hr	1	± 0,03 % hr	50
δhr <sub>x,rep</sub>	Repetibilidade	R	± 0,03/√3 % hr	1	± 0,02 % hr	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão: ± 0,34 % hr
k	Graus de liberdade efectivos: 118
v <sub>ef</sub>	Factor de expansão: 2,00
U <sub>95</sub> (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,68 % hr

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X <sub>i</sub>		u(x <sub>i</sub> )	C <sub>i</sub>	u <sub>i</sub> (y)	v <sub>i</sub>
δt <sub>d,cal</sub>	Calibração do padrão	N	± 0,05 °C	1	± 0,05 °C	50
δt <sub>d,higro</sub>	Materiais higroscópicos	R	± 0,20/√3 °C	1	± 0,12 °C	50
δt <sub>d,caudal</sub>	Caudal volumétrico do escoamento de ar	R	± 0,10/√3 °C	1	± 0,06 °C	50
δt <sub>d,cont</sub>	Contaminação	R	± 0,10/√3 °C	1	± 0,06 °C	50
δt <sub>d,cond</sub>	Natureza do condensado	R	± 0,05/√3 °C	1	± 0,03 °C	50
δt <sub>d,der</sub>	Deriva	T	± 0,10/√6 °C	1	± 0,04 °C	50
δt <sub>d,res</sub>	Resolução eq. a calibrar	R	± 0,05/√3 °C	1	± 0,03 °C	50
δt <sub>d,rep</sub>	Repetibilidade	N	± 0,10 °C	1	± 0,10 °C	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão: ± 0,16 °C
k	Graus de liberdade efectivos: 159
v <sub>ef</sub>	Factor de expansão: 2,00
U <sub>95</sub> (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,32 °C

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Termohigrógrafos mecânicos (de tambor)

Características metrológicas: resolução de 0,5 °C / 0,5 % hr e gamas de medição de 0 °C a 50 °C / 20 % hr a 95 % hr.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X <sub>i</sub>		u(x <sub>i</sub> )	C <sub>i</sub>	u <sub>i</sub> (y)	v <sub>i</sub>
$\delta w_{s,cal}; \delta R_{s,ind}; \delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	3,5·10 <sup>-2</sup> °C	1	3,5·10 <sup>-2</sup> °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Estabilidade de longo prazo	T	1·10 <sup>-2</sup> /√6 °C	1	4,08·10 <sup>-3</sup> °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do meio regulado	R	2·10 <sup>-2</sup> /√3 °C	1	1,15·10 <sup>-2</sup> °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do meio regulado	R	5·10 <sup>-2</sup> /√3 °C	1	2,89·10 <sup>-2</sup> °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	2,5·10 <sup>-1</sup> /√3 °C	1	1,44·10 <sup>-1</sup> °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	5·10 <sup>-2</sup> °C	1	5·10 <sup>-2</sup> °C	50
$\delta \theta_{Tx,m}$	Montagem	R	1·10 <sup>-1</sup> /√3 °C	1	5,78·10 <sup>-2</sup> °C	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N –Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão: ± 0,17 °C
k	Graus de liberdade efectivos: 86
v <sub>ef</sub>	Factor de expansão: 2,00
U <sub>95</sub> (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,33 °C

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X <sub>i</sub>		u(x <sub>i</sub> )	C <sub>i</sub>	u <sub>i</sub> (y)	v <sub>i</sub>
$\delta hr_{cal}$	Calibração do padrão	N	± 0,34 % hr	1	± 0,34 % hr	50
$\delta hr_{est,lp}$	Estabilidade de longo prazo	T	± 1,0/√6 % hr	1	± 0,41 % hr	50
$\delta hr_s$	Estabilidade do meio regulado	R	± 1,0/√3 % hr	1	± 0,58 % hr	50
$\delta hr_u$	Uniformidade do meio regulado	R	± 1,0/√3 % hr	1	± 0,58 % hr	50
$\delta hr_{mont}$	Deriva e montagem	R	± 0,2/√3 % hr	1	± 0,12 % hr	50
$\delta hr_{x,res}$	Resolução eq. a calibrar	R	± 0,5/√3 % hr	1	± 0,29 % hr	50
$\delta hr_{x,rep}$	Repetibilidade	R	± 0,2/√3 % hr	1	± 0,12 % hr	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N –Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão: ± 1,0 % hr
k	Graus de liberdade efectivos: 208
v <sub>ef</sub>	Factor de expansão: 2,00
U <sub>95</sub> (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 2,0 % hr

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Termoanemómetros / Escala de temperatura

Características metrológicas: gama de medição 0°C a + 50°C, resolução 0,1°C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X <sub>i</sub>		u(x <sub>i</sub> )	C <sub>i</sub>	u <sub>i</sub> (y)	v <sub>i</sub>
$\delta w_{s,cal}; \delta R_{s,ind}; \delta \theta_{s,med}$	Calibração dos padrões	N	3,5·10 <sup>-2</sup> °C	1	3,5·10 <sup>-2</sup> °C	50
$\delta \theta_{s,i}$	Estabilidade de longo prazo	T	1·10 <sup>-2</sup> /√6 °C	1	4,08·10 <sup>-3</sup> °C	50
$\delta \theta_{M,e}$	Estabilidade do meio regulado	R	2·10 <sup>-2</sup> /√3 °C	1	1,15·10 <sup>-2</sup> °C	50
$\delta \theta_{M,u}$	Uniformidade do meio regulado	R	5·10 <sup>-2</sup> /√3 °C	1	2,89·10 <sup>-2</sup> °C	50
$\delta \theta_{Tx,res}$	Resolução	R	5·10 <sup>-2</sup> /√3 °C	1	2,89·10 <sup>-2</sup> °C	50
$\delta \theta_{Tx,rep}$	Repetibilidade	N	2·10 <sup>-2</sup> °C	1	2·10 <sup>-2</sup> °C	
$\delta \theta_{Tx,a}$	Auto-aquecimento	R	1·10 <sup>-2</sup> /√3 °C	1	5,78·10 <sup>-3</sup> °C	50

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P - Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão: ± 0,058 °C
k	Graus de liberdade efectivos: 196
v <sub>ef</sub>	Factor de expansão: 2,00
U <sub>95</sub> (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 0,12 °C

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Termopares

Características metrológicas: gama de medição 0°C a + 250°C, resolução 0,1°C.  
 Vide termómetros com indicador digital

## Termopares

Características metrológicas: gama de medição +250°C a +450°C, resolução 0,1°C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	X <sub>i</sub>		u(x <sub>i</sub> )	C <sub>i</sub>	u <sub>i</sub> (y)	v <sub>i</sub>
$\delta\theta_{Fx}$	Estabilidade do forno	N	4·10 <sup>-2</sup> °C	1	4·10 <sup>-2</sup> °C	50
$\delta\theta_{Vx}$	Calibração (imã)	N	1 °C	1	1 °C	50
$\delta V_{X}$	Resolução do voltímetro	R	5·10 <sup>-4</sup> /√3 mV	129°C/mV	3,7·10 <sup>-2</sup> °C	50
$\delta V_{Xp}$	FEM parasitas	R	5·10 <sup>-4</sup> /√3 mV	129°C/mV	3,7·10 <sup>-2</sup> °C	50
$\delta V_{Xcc}$	Cabos de compensação	R	1·10 <sup>-3</sup> /√3 mV	129°C/mV	7,5·10 <sup>-2</sup> °C	50
$\Delta\theta_{X}$	Desvio da temp. de referência	N	5·10 <sup>-1</sup> °C	1	5·10 <sup>-1</sup> °C	119
$\delta\theta_{0X}$	Temperatura de referência	N	5·10 <sup>-2</sup> °C	1	5·10 <sup>-2</sup> °C	50
$\delta V_{Xh}$	Não homogen. do TC referência	R	5·10 <sup>-3</sup> /√3 mV	129°C/mV	3,7·10 <sup>-1</sup> °C	50
$\delta\theta_{Fu}$	Uniformidade do forno	R	3·10 <sup>-2</sup> /√3 °C	1	1,7·10 <sup>-2</sup> °C	50
$\delta\theta_{X,rep}$	Repetibilidade	N	2·10 <sup>-3</sup> mV	129°C/mV	2,6·10 <sup>-1</sup> °C	50
$\delta\theta_{cal,R}$	Resolução do termopar a calibrar	R	1·10 <sup>-1</sup> °C	1	1·10 <sup>-1</sup> °C	50
$\delta\theta_{cal,rep}$	Repetibilidade do termopar a calibrar	N	2·10 <sup>-1</sup> °C	1	2·10 <sup>-1</sup> °C	4

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

u(y)	Incerteza de medição padrão: ± 1,2°C
k	Graus de liberdade efectivos: 109
v <sub>ef</sub>	Factor de expansão: 2,00
U <sub>95</sub> (y)	Incerteza de medição expandida (95%): ± 2,4°C

# Melhores incertezas de medição expandidas do LCAM/LNEC (2009)

(Baseado no Mod. de tabela de balanço de incertezas do ISO-GUM – 1995)

## Termopares

Características metroológicas: gama de medição +450 °C a +1050 °C, resolução 0,1°C.

Componente de incerteza	Fonte de incerteza	F <sub>d</sub> P*	Estimativa da incerteza	Coefficiente de sensibilidade	Contribuição para a incerteza	Graus de liberdade
	$X_i$		$u(x_i)$	$C_i$	$u_i(y)$	$\nu_i$
$\delta\theta_{Fx}$	Estabilidade do forno	N	$1 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	1	$1 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{Vx}$	Calibração (ima)	N	$1 \text{ °C}$	1	$1 \text{ °C}$	50
$\delta V_X$	Resolução do voltmetro	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3} \text{ mV}$	108°C/mV	$3,1 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta V_{Xp}$	FEM parasitas	R	$5 \cdot 10^{-4} / \sqrt{3} \text{ mV}$	108°C/mV	$3,1 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta V_{Xcc}$	Cabos de compensação	R	$1 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3} \text{ mV}$	108°C/mV	$6,2 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\Delta\theta_X$	Desvio da temp. de referência	N	$5 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	1	$7,6 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	142
$\delta\theta_{0X}$	Temperatura de referência	R	$5 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$5,78 \cdot 10^{-2} \text{ °C}$	50
$\delta V_{Xh}$	Não homogen. do TC referência	R	$5 \cdot 10^{-3} / \sqrt{3} \text{ mV}$	108°C/mV	$3,1 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{Fu}$	Uniformidade do forno	R	$5 \cdot 10^{-1} / \sqrt{3} \text{ °C}$	1	$2,89 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{X,rep}$	Repetibilidade	N	$4 \cdot 10^{-3} \text{ mV}$	108°C/mV	$2,5 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{cal,R}$	Resolução do termopar a calibrar	R	$1 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	1	$1 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	50
$\delta\theta_{cal,rep}$	Repetibilidade do termopar a calibrar	N	$2 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	1	$2 \cdot 10^{-1} \text{ °C}$	4

\* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal, R – Uniforme/Rectangular, T – Triangular, U – Arcoseno, P – Trapezoidal

$u(y)$	Incerteza de medição padrão: $\pm 1,4(4) \text{ °C}$
k	Graus de liberdade efectivos: 96
$V_{ef}$	Factor de expansão: 2,00
$U_{95}(y)$	<b>Incerteza de medição expandida (95%): <math>\pm 2,9 \text{ °C}</math></b>



