

## UMA ABORDAGEM SIMPLIFICADA PARA O CÁLCULO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO

**Alvaro J. Abackerli**

Universidade Metodista de Piracicaba - UNIMEP  
Rod. Santa Bárbara - Iracemápolis, km 1, CEP 13450-000  
[abakerli@unimep.br](mailto:abakerli@unimep.br) - Santa Bárbara d'Oeste, SP, Brasil

**Luís Gonzaga de Lima**

Indústrias Romi S.A.- Av. Pérola Bryington, 56, CEP 13450-000  
[lgonzaga@dglnet.com.br](mailto:lgonzaga@dglnet.com.br) - Santa Bárbara d'Oeste, SP, Brasil

***Resumo.** O tratamento das incertezas das medições tem sido um requisito de crescente demanda na qualidade, que tem gerado acordos internacionais expressos atualmente pelo ISO GUM (ISO,1995). Em síntese, o tratamento proposto pelo ISO GUM cria algumas dificuldades em aplicações práticas da indústria, motivando frequentemente simplificações do tratamento da incerteza em várias situações. Entretanto, a observação detalhada do ISO GUM permite visualizar formas para sua simplificação, sem que no entanto seja perdido o rigor formal da sua abordagem e a qualidade resultante na estimativa da incerteza. Neste trabalho uma proposta de simplificação desse tratamento é discutida e sua pertinência demonstrada em algumas calibrações industriais.*

***Palavras-chave:** Incerteza de medição, Calibração de instrumentos, Qualidade*

### 1. INTRODUÇÃO

Com a progressiva utilização das normas ISO série 9000 (ABNT, 1990) nas indústrias, a partir de 1987, e mais recentemente com a criação das normas QS 9000 (1997) para a indústria automotiva, a determinação objetiva das incertezas de medição tem se transformado em um requisito normativo essencial para todos os sistemas da qualidade. Em particular, a ISO 9001 (ABNT,1994) estabelece que os instrumentos de medição devem ser utilizados de forma a assegurar que a incerteza das medições seja conhecida e consistente com a capacidade de medição requerida. Condição análoga é estabelecida pela norma ISO 10012-1 (1993) que normaliza os requisitos de sistemas de garantia da qualidade para laboratórios de ensaios. Além destas, o Guia 25 (ABNT,1993) destinado especificamente a laboratórios de calibração e ensaios, estabelece que, quando pertinente, os laboratórios devem fornecer certificados contendo a declaração clara da incerteza estimada a partir dos seus resultados. De fato, desde 1979 a incerteza de medição vem sendo objeto de discussão e estudo, culminando na elaboração do "Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement" (ISO, 1995) que hoje representa o mais completo guia internacional para expressão das incertezas.

Apesar do cuidadoso tratamento da incerteza apresentado por esse Guia Internacional (ISO, 1995), na prática diária das indústrias a aplicação das suas recomendações completa é trabalhosa por várias razões, dentre elas pela dificuldade prática de avaliar detalhadamente todos os fatores contribuintes da incerteza. Entretanto, uma análise cuidadosa das recomendações desse Guia indica que algumas simplificações desse tratamento em inúmeros casos práticos podem ser feitas, sem perda significativa na confiabilidade dos resultados obtidos (Lima, 1999). Para discutir algumas dessas simplificações e suas conseqüências, neste trabalho é tomado um estudo de caso de calibração dimensional e executado o procedimento de determinação da incerteza. Tais simplificações são discutidas nos itens a seguir.

## 2. A EXPRESSÃO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO

Conforme acima citado, desde 1979 a incerteza de medição vem sendo objeto de discussão e estudo, tendo-se chegado a um conceito que orienta o seu cálculo e a sua declaração para fins de rastreabilidade das medições. Tal conceito é trazido no “*Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*” (ISO, 1995) ou *Guia para Expressão da Incerteza de Medição* (ABNT/INMETRO,1998). Estes documentos representam o estado da arte no cálculo e expressão das incertezas das medições, tendo sido elaborado basicamente com os seguintes propósitos:

- Criar um documento capaz de fornecer informações completas sobre a declarações da incerteza de medição;
- Proporcionar uma base para a comparação internacional de resultados de medição, favorecendo assim as barreiras de comércio internacional.

No ISO GUM (ISO, 1995) declara-se que ele “fornece somente regras gerais para avaliação e expressão da incerteza” e não instruções detalhadas para cada tecnologia específica onde a incerteza deva ser especificada. Por isso, ele apresenta conceitos básicos e informações gerais sobre a determinação da incerteza padrão, da incerteza padrão combinada, além da incerteza expandida. Ele traz ainda algumas orientações práticas sobre a avaliação dos componentes da incerteza. Além disso, para ilustrar suas discussões e habilitar seus usuários à tarefa ele apresenta exemplos de cunho prático dentro de algumas áreas específicas da medição. Dadas as dificuldades inerentes ao tema e às particularidades de cada área, tais exemplos trazem limitações na sua aplicação impulsionando entidades como a EAL - European Co-operation for Accreditation of Laboratories, o NIST - National Institute of Standards and Technology e o UKAS - United Kingdom Accreditation Service a gerar documentos similares abordando discussões de áreas específicas.

A abordagem para a determinação da incerteza trazida pelo ISO GUM (ISO, 1995) compreende essencialmente a especificação de cada termo das Eq. (1) ou (2) a seguir.

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f(\vec{X})}{\partial X_i} \right]^2 u^2(X_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f(\vec{X})}{\partial X_i} \frac{\partial f(\vec{X})}{\partial X_j} u^2(X_i, X_j) \quad (1)$$

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N C_i^2 u^2(X_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N C_i C_j u(X_i) u(X_j) r(X_i, X_j) \quad (2)$$

Essa abordagem é seguida do cálculo da Incerteza Expandida  $U$  a partir do fator de abrangência  $k$ , na forma dada pela Eq. (3) a seguir.

$$U = k \cdot u_c \quad (3)$$

Na Eq. (1)  $\vec{X}$  corresponde ao vetor  $\{X_1, X_2, \dots, X_N\}$  de variáveis que influenciam a medição. Na Eq. (2)  $C_i$  corresponde aos seus coeficientes de sensibilidade,  $u(X_i)$  às incertezas e  $r(X_i, X_j)$  aos coeficientes de correlação que quantificam a dependência das variáveis envolvidas. Salienta-se que a Eq. (1) contém os termos equivalentes da Eq. (2), expressos na forma diferencial a partir da relação  $Y = f(\vec{X}) \equiv f(X_1, X_2, \dots, X_N)$  que modela a medição. A efetiva determinação da incerteza segundo o ISO GUM (ISO,1995) pode ser sintetizada através de oito etapas descritas a seguir.

- Expressão matemática do processo de medição: determina-se a relação matemática entre as variáveis envolvidas na forma  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$ , na qual  $X_i$  corresponde às variáveis de entrada ou de influência, e  $Y$  ao mensurando. Nela são incluídas todas as variáveis, correções e fatores de correção conhecidos sobre a medição modelada.
- Estimativa dos valores  $x_i$  das variáveis envolvidas: determina-se os valores prováveis  $x_i$  das variáveis  $X_i$ , através de processos de amostragem, ou qualquer outro meio que forneça um valor confiável para cada variável envolvida.
- Determinação das incertezas padrão  $u(x_i)$  das variáveis: determina-se as incertezas padrão  $u(x_i)$  de cada variável, sendo normalmente expressa por um desvio padrão. São consideradas as naturezas das incertezas, tipo A ou B segundo o ISO GUM (ISO, 1995), além da forma provável da distribuição de probabilidade associada à variável.
- Determinação das correlações entre as variáveis de influência: as possíveis relações entre as variáveis de influência devem ser estabelecidas e determinados os respectivos coeficientes de correlação  $r(X_i, X_j)$  da Eq. (2).
- Cálculo do valor do mensurando  $Y$ : estima-se o valor do mensurando tomando o modelo do experimento  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_N)$  e os valores  $x_i$  das variáveis envolvidas.
- Cálculo da incerteza padrão combinada  $u_c(y)$ : o cálculo deve ser feito segundo Eq. (2) e atenção especial deve ser dada aos coeficientes de correlação  $r(X_i, X_j)$  para a correta decisão acerca da dependência ou independências das variáveis envolvidas.
- Determinação da incerteza expandida  $U$ : determina-se pela Eq. (3) o fator de abrangência  $k$  com base nas distribuições de  $X_i$  e nos graus de liberdade efetivos de cada variável.
- Expressão do resultado da medição: finalmente, os resultados das etapas anteriores podem ser tomados para escrever o resultado final da medição, constando do valor provável do mensurando  $Y$  e da sua incerteza expandida  $U$ , além da declaração do nível de significância associado ao resultado.

### 3. SIMPLIFICAÇÕES PROPOSTAS AO MÉTODO

Com base em diversas observações de calibrações dimensionais rotineiras um pequeno conjunto de simplificações pôde ser aplicado ao método anteriormente descrito (Lima, 1999), cujos detalhes são discutidos a seguir.

- Estabelecimento de limites de variação da temperatura ambiente que pode diferir em até 2 °C da temperatura de referência de 20° C.
- Desconsideração dos efeitos dos coeficientes de expansão térmica do padrão e do instrumento a calibrar se sua diferença for inferior a  $5 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ .
- Adoção de distribuições Uniformes para todas as incertezas do Tipo B das variáveis  $X_i$ , exceto aquelas para as quais se tenha evidências de distribuições Normais ou t-Student.
- Adoção de variáveis  $X_i$  não correlacionadas, através da expressão da incerteza padrão combinada dada na forma da Eq. (4).
- Desconsideração dos graus de liberdade e do nível de confiança do fator de abrangência, adotando um fator de abrangência  $k = 2$  (constante) na incerteza expandida  $U$ , para 95%.

$$u_c^2(y) = \sum_{i=1}^N \left[ \frac{\partial f(\bar{X})}{\partial X_i} \right]^2 u^2(X_i) \quad (4)$$

Medições de comprimento de até 1000 mm foram analisadas permitindo estabelecer a validade das simplificações propostas até aquele limite, conforme ilustram os itens a seguir.

#### 4. SIMPLIFICAÇÃO DO CÁLCULO DA INCERTEZA NA CALIBRAÇÃO DE BLOCOS PADRÃO

Utilizou-se um bloco-padrão de referência de aço, com comprimento nominal de 100 mm, erro no centro calibrado em + 0,02  $\mu\text{m}$ , coeficiente de expansão térmica ( $\alpha$ ) de  $11,5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \pm 10\%$  e incerteza ( $U_P$ ) de calibração avaliada em  $0,04 + 0,2L/1000 \mu\text{m}$  com L dado em milímetros, Fig. 1. O mensurando, neste caso um bloco de aço, classe 0, comprimento nominal de 100 mm, com coeficiente de expansão térmica ( $\mathbf{a}$ ) de  $11,5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1} \pm 10\%$ . A monitoração da temperatura da calibração foi realizada com incerteza ( $U_T$ ) de  $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ . Para a calibração diferencial foram utilizados comparadores com incertezas ( $U_C$ ) de  $\pm 0,06 \mu\text{m}$ , forças de penetração superior e inferior de  $60\text{g} \pm 5\%$  e  $30\text{g} \pm 5\%$  respectivamente. A temperatura ambiente foi mantida entre  $19,9 \text{ }^\circ\text{C}$  e  $20,1 \text{ }^\circ\text{C}$  durante toda a medição. Adicionalmente, garantiu-se diferença nula de temperatura entre o padrão e o bloco calibrado através de período adequado de estabilização. Nestas condições, verificou-se uma variação máxima de  $\pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$  para a temperatura dos blocos em relação a temperatura de referência de  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . O resultado da calibração foi avaliado por 3 leituras realizadas no centro da face do bloco calibrado, obtendo-se desvios de  $\{+0.10 \mu\text{m}, +0.12 \mu\text{m}, +0.11 \mu\text{m}\}$ .

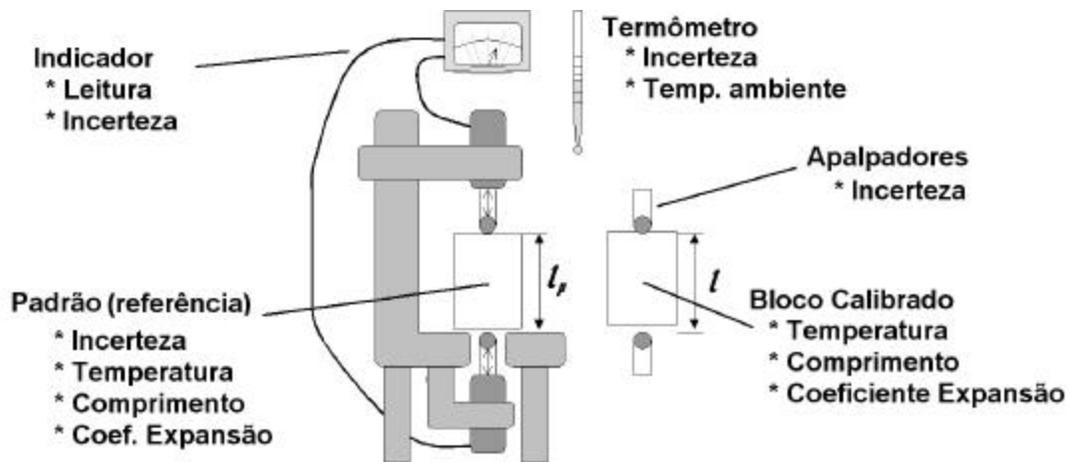


Figura 1 - Calibração esquemática do bloco-padrão (Decker/Pekelsky, 1995).

Conforme orienta o ISO GUM (ISO, 1995), a relação entre o mensurando  $Y$  e as grandezas de entrada  $X_i$  deve ser expressa. Neste caso as fontes primárias de incertezas são a diferença entre a temperatura de calibração e a referência de  $20^\circ\text{C}$ , aqui denominada  $\mathbf{q}$ , e o coeficiente de expansão térmica  $\mathbf{a}$  dos blocos. Assim, o comprimento do bloco é dado por.

$$l\{\mathbf{q}\} = l(1 + \mathbf{aq}) \quad (5)$$

Nesta calibração a comparação dos blocos fornece a diferença  $d$  entre os comprimentos, nominalmente de 100 mm, e representa a informação de procurada, sendo dada pela Eq. (6)

onde  $l$  o comprimento a 20°C do bloco calibrado (mensurando),  $l_p$  é o comprimento do padrão a 20°C (certificado de calibração),  $\mathbf{a}$  e  $\mathbf{a}_p$  são os coeficientes de expansão térmica dos blocos calibrado e padrão,  $\mathbf{q}$  e  $\mathbf{q}_p$  são os desvios na temperatura de cada bloco em relação à temperatura de referência de 20°C.

$$d = l(\mathbf{q}) - l_p(\mathbf{q}_p) = l(1 + \mathbf{a}\mathbf{q}) - l_p(1 + \mathbf{a}_p\mathbf{q}_p) \quad (6)$$

Isolando o comprimento  $l$  do bloco calibrado e expandindo a equação resultante por uma série binomial (Decker/Pekelsky, 1995), desconsiderando ainda os termos de maior ordem, obtém-se o resultado mostrado na Eq. (7).

$$l \approx d + l_p(1 + \mathbf{a}_p\mathbf{q}_p - \mathbf{a}\mathbf{q}) \quad (7)$$

Se a diferença de temperatura entre os blocos ( $\mathbf{dq}$ ) é escrita  $\mathbf{dq} = \mathbf{q} - \mathbf{q}_p$ , e a diferença entre os seus coeficientes de expansão térmica como  $\mathbf{da} = \mathbf{a} - \mathbf{a}_p$ , a Eq. (7) torna-se:

$$l = l_p + d - l_p[\mathbf{da}\mathbf{q} + \mathbf{a}_p\mathbf{dq}] \quad (8)$$

Toma-se as diferenças  $\mathbf{dq}$  e  $\mathbf{da}$  nulas, porém não as suas incertezas, obtendo-se a Eq. (9) na qual  $l_p$  é o comprimento do padrão a 20°C e  $\bar{d}$  é o valor medido na calibração, obtido pela média de 3 observações ( $n = 3$ ) repetidas e independentes {0,10  $\mu\text{m}$ ; 0,12  $\mu\text{m}$ ; 0,11 $\mu\text{m}$ }. Assume-se ainda  $\mathbf{da}$ ,  $\mathbf{a}_p$ ,  $\mathbf{dq}$  e  $\mathbf{q}$  não correlacionadas, conforme orienta a simplificação proposta, resultando no modelo procurado da medição dado na Eq. (9).

$$l = l_p + \bar{d} \quad (9)$$

Identificando as variáveis, direta ou indiretamente influentes no processo, o modelo matemático pode ser descrito conforme ilustra a Eq. (10), na qual  $l_p = 100,00002$  mm,  $\bar{d} = 0,11\mu\text{m}$ ,  $\mathbf{a}_p = 11,5 \times 10^{-6} \pm 10\%$ ,  $\mathbf{q} = 19,9$  a  $20,1^\circ\text{C} = \pm 0,1^\circ\text{C}$ ,  $\mathbf{dq} = 0$  e  $\mathbf{da} = 0$ .

$$l = f(l_p, d, \mathbf{a}_p, \mathbf{q}, \mathbf{da}, \mathbf{dq}) \quad (10)$$

Pela simplificação proposta, o coeficiente de expansão térmica e a temperatura devem ser desprezados na Eq. (10) porque a diferença dos coeficientes de expansão e temperatura são inferiores a  $5 \times 10^{-16} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  e  $2^\circ\text{C}$  respectivamente. Assim, a Eq. (10) torna-se:

$$l = f(l_p, d) \quad (11)$$

O certificado traz uma incerteza expandida do padrão de  $U_p = 0.06 \mu\text{m}$ , e informa um fator de abrangência  $k = 2$ . Disso, a incerteza padrão  $u(l_p) = U_p/2$ , resulta  $0.03 \mu\text{m}$ .

A experimento foi realizado através de 3 réplicas, portanto dois graus de liberdade, resultando num valor médio de  $\bar{d} = 0,11\text{mm}$  e num desvio padrão amostral  $u(\bar{d}) = 0,006\text{mm}$ .

Na incerteza da diferença medida  $u(d)$ , estão presentes as incertezas dos instrumentos comparadores de  $l$  com  $l_p$ . A incerteza dada de cada comparador é de  $\pm 0,06 \mu\text{m}$ , com

confiança de 95%. Tomando a calibração dos comparadores com 6 réplicas (certificado de calibração), resulta  $n = 6 - 1 = 5$  graus de liberdade. Considerando o valor  $t_{95} = 2,57$  para a distribuição t-Student com 95% de confiança obtém-se.

$$u^2(d) = \sqrt{u^2(\bar{d}) + u^2(d_1) + u^2(d_2)} = 0,033 \text{ mm} \quad (12)$$

O coeficiente de expansão térmica do padrão é  $\mathbf{a}_p = 11,5 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  com uma incerteza Uniforme entre limites  $\pm 1,15 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ , donde resulta  $u(\mathbf{a}_p) = 0,66 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Do mesmo modo, a temperatura do ambiente registrada em  $20 \pm 0,1^\circ\text{C}$ , também com distribuição Uniforme, gera uma incerteza estimada em  $u(\mathbf{q}) = 0,1/\sqrt{3} = 0,06^\circ\text{C}$ . Também os limites estimados da variabilidade de  $\mathbf{da}$  são de  $\pm 1,15 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  com a mesma distribuição, resultando numa incerteza estimada de  $u(\mathbf{da}) = 0,66 \times 10^{-6} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$ . Finalmente, os valores das temperaturas do padrão e do bloco calibrado são supostos num intervalo de  $\pm 0,05^\circ\text{C}$  (Uniforme), resultando numa incerteza de  $u(\mathbf{dq}) = 0,05/\sqrt{3} = 0,029^\circ\text{C}$ .

Ressalta-se aqui que a principal simplificação proposta nesta etapa foi a utilização de distribuições Uniformes. Além desta, foram desconsiderados as incertezas  $u(\mathbf{a}_p)$ ,  $u(\mathbf{q})$ ,  $u(\mathbf{da})$  e  $u(\mathbf{dq})$  porque a diferença de temperatura  $\mathbf{dq}$  e do coeficiente de expansão térmica  $\mathbf{a}$  estão nas condições limites estabelecidas.

Analisou-se também as dependências das variáveis envolvidas, que foram consideradas independentes conforme orienta a simplificação proposta.

Definiu-se então o resultado da medição, a partir da Eq. (9), obtendo-se o valor mostrado a seguir.

$$l = l_p + \bar{d} = 100,00002 + 0,00011 = 100,00013 \text{ mm} \quad (13)$$

Uma vez definido o resultado da medição e as incertezas individuais, determinou-se a incerteza padrão combinada  $u_c(y)$ , Eq. (4). Para isso determinou-se os coeficientes de sensibilidade  $C_i$  conforme descritos a seguir. Tomando inicialmente a referência do ISO GUM (ISO, 1995), escreveu-se a Eq. (11) tomando  $\mathbf{da} = 0$  e  $\mathbf{dq} = 0$ , obtendo-se (14).

$$u_c^2(l) = c_p^2 u^2(l_p) + c_d^2 u^2(d) + c_{a_p}^2 u^2(\mathbf{a}_p) + c_q^2 u^2(\mathbf{q}) + c_{da}^2 u^2(\mathbf{da}) + c_{dq}^2 u^2(\mathbf{dq}) \quad (14)$$

Derivando parcialmente os termos da Eq. (14) obteve-se valores de coeficiente de sensibilidade  $C_p = 1$ ,  $C_d = 1$ ,  $C_{a_p} = 0$ ,  $C_q = 0$ ,  $C_{da} = -l_p \mathbf{q}$  e  $C_{dq} = -l_p \mathbf{a}_p$ . Escrevendo então a incerteza padrão combinada na forma dada pela expressão (15) obteve-se  $u_c(l) = \sqrt{1,989 \times 10^{-3}} \text{ mm} = 0,044 \text{ mm}$ .

$$u_c^2(l) = u^2(l_p) + u^2(d) + l_p^2 \mathbf{q}^2 u^2(\mathbf{da}) + l_p^2 \mathbf{a}_p^2 u^2(\mathbf{dq}) \quad (15)$$

Pela simplificação proposta a Eq. (15) pode ser re-escrita conforme Eq. (16), donde obtém-se um valor  $u_c(l) = 0,044 \text{ mm}$ , idêntico ao anterior.

$$u_c(l) = c_p^2 u^2(l_p) + c_d^2 u^2(d) = 0,03^2 + 0,033^2 = \sqrt{1,989 \times 10^{-3}} \text{ mm} = 0,044 \text{ mm} \quad (16)$$

Conforme enunciado, embora diferentes incertezas sejam envolvidas o resultado não foi alterado significativamente, dentro do número de algarismos significativos relevantes à calibração.

Segundo o ISO GUM (ISO,1995), o cálculo da incerteza expandida  $U$  envolve a determinação dos graus de liberdade associados à expressão da incerteza padrão combinada  $u_c(y)$ . Para isso considera-se cada elemento componente de  $u_c(y)$  tomando as seguintes condições.

Para a incerteza de calibração do padrão  $u(l_p)$ , o certificado de calibração estabelece 18 graus de liberdade efetivos, ou seja,  $n_{eff}(l_p) = 18$ . A incerteza em  $u(d)$  é ponderada considerando três observações repetidas, resultando em  $n(\bar{d}) = 3 - 1 = 2$ . Devido às seis medições realizadas com cada comparador os graus de liberdade associados são  $n(d_1) = 6 - 1 = 5$ . Com tais resultados, calculou-se os graus de liberdade efetivos  $n_{eff}(d)$  segundo recomendações do ISO GUM resultando em  $n_{eff}(l_p) = 10,5 \cong 10$ .

Para a incerteza da diferença nos coeficientes de expansão  $u(da)$ , os limites estimados de  $\pm 1,15 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$  sobre a variabilidade de  $da$  são confiáveis a 10 %. Isto fornece  $n(da) = 50$ . Já no cálculo da incerteza da diferença na temperatura  $dq$  dos blocos  $u(dq)$  o intervalo estimado de  $\pm 0,05^\circ\text{C}$  para a o qual assumiu-se confiança de 50%, fornecendo  $n(dq) = 2$ .

Também pela recomendação do ISO GUM o cálculo de  $n_{eff}(l)$ , que utiliza  $n_{eff}(l_p)$ , produz para o comprimento  $n_{eff}(l) = 23$  graus de liberdade efetivos.

Tomou-se então o correspondente  $k_{95}$  da tabela t-Student,  $t_{95}(23) = 2,07$ , e a incerteza expandida dada por  $U_{95} = t_{95}(23) \cdot u_c(l)$  resultando em  $U_{95} = 2,07 \times 0,044 \text{ mm} = 0,091 \text{ mm}$ . Já para o procedimento simplificado propõe-se o valor constante de  $k = 2$ , resultando numa incerteza expandida de  $U = 2 \times 0,044 \text{ mm} = 0,088 \text{ mm}$ .

De acordo com o ISO GUM, o resultado final da medição pode ser estabelecido como  $l = 100,00013 \text{ mm}$ , com uma incerteza padrão combinada  $u_c = 0,044 \mu\text{m}$  e com uma incerteza expandida  $U = 0,091 \text{ mm}$ . Ou seja,  $Rm = 100,00013 \text{ mm} \pm 0,091 \text{ mm}$  considerando um fator de abrangência  $k = 2,07$ , fornecendo para um nível de confiança de aproximadamente 95%. Já para o procedimento simplificado o resultado fica  $Rm = 100,00013 \text{ mm} \pm 0,088 \text{ mm}$  considerando um fator de abrangência  $k = 2$ , para o mesmo nível de confiança.

## 5. CONCLUSÕES

A tentativa de fornecer informações completas sobre incerteza de medição tornou o ISO GUM de difícil interpretação. Não se pode dizer, por exemplo, que o cálculo e a compreensão de dos graus de liberdade de efetivos  $V_{eff}$  seja trivial para a grande maioria dos seus usuários.

A adoção de distribuições para variável  $X_i$  também não é simples de ser feita com base apenas em conhecimentos práticos do problema, bem como a utilização de testes estatísticos para determinação das distribuições não é esperada na maioria dos casos práticos. Nesse sentido, a adoção da distribuição Uniforme nos casos discutidos auxilia o usuário pela simplificação do cálculo, sem prejuízos relevantes à segurança dos resultados fornecidos.

Considerações acerca dos tamanhos amostrais discutidos no ISO GUM (ISO,1995) também não são perfeitamente claras, nem tampouco suas conseqüências. Novamente cabe ao usuário decidir sobre aspectos não triviais, fazendo com que as simplificações propostas sejam benéficas na redução do cálculo dos graus de liberdade efetivos  $n_{eff}(l)$ .

Finalmente, torna-se nítido que a diferença verificada de 0,003  $\mu\text{m}$  na incerteza não é relevante para a maioria das aplicações industriais, se comparadas com as inferências necessárias para a determinação da incerteza estritamente segundo o ISO GUM. É importante frisar que análises foram feitas neste desenvolvimento que permitiram extrapolar esta abordagem para dimensões de até 1000 mm, sem compromissos significativos nos resultados.

### ***Agradecimentos***

Agradecimentos são devidos às Indústrias Romi S.A. pelo apoio financeiro à realização deste projeto e à Starrett Indústria e Comércio pelo fornecimentos de dados experimentais.

### **REFERÊNCIAS**

- ABN NBR 19000 (ISO 9000), 1990, Normas de gestão e garantia da qualidade - Diretrizes para seleção e uso. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (NBR ISO 9001), 1994, Sistemas da qualidade modelo para garantia da qualidade em processo, desenvolvimento, produção, instalação e serviços associados. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT (NBR ISO 10012-1), 1993, Requisitos de garantia da qualidade para equipamento de medição, parte 1: Sistema de comprovação metrológica para equipamento de medição. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT ISO/IEC GUIA 25, 1993, Requisitos gerais para a capacitação de laboratórios de calibração e ensaios. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT; INMETRO, 1998, Guia para expressão da incerteza de medição. Associação Brasileira de Normas Técnicas e Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial, Rio de Janeiro.
- Decker &, Pekelsky., 1995, A case study in gauge blocks - Case 1: Uncertainty attributed to mechanical comparison of gauges of like material. INMSNRCC, Ottawa, Canada,.
- International Organization for Standardization, Guide to the Expression of uncertainty in measurement. 1ª ed. Geneva, Switzerland: ISO, 1993, corrigido e republicado em 1995.
- IQA, 1997, Requisitos do Sistema da Qualidade-QS-9000. Instituto da Qualidade Automotiva
- Kessel, W., 1996, International Recommendations and guidelines for determining the uncertainty of measurement. Seminário internacional de metrologia para controle de qualidade. Florianópolis - SC – Brasil.
- Lima, L.G., 1999, As Incertezas das medições: pontos críticos e simplificações para a metrologia dimensional na indústria. Dissertação de mestrado. Santa Bárbara d'Oeste, Sp.

### **A SIMPLIFIED APPROACH FOR THE TREATMENT OF UNCERTAINTY ON MEASUREMENT**

***Abstract.*** *The treatment of uncertainty on measurements has been a primary need on quality systems, rising its importance in the manufacturing environment worldwide. That has lead to international agreements among countries, represented today by the Guide to the expression of uncertainty in measurement (ISO, 1995). However, the Guide approach introduces difficult questions to regular users encouraging simplifications in the treatment of uncertainty in many industrial problems. In this work a simplification for the treatment of uncertainty is proposed and its feasibility is demonstrated through a practical example of gage block calibration.*

***Keywords:*** *Uncertainty of measurement, Calibration, Quality*