



XVI Congresso Nacional dos
Estudantes de Engenharia Mecânica



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA



XVI Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica - 17 a 21/08/2009 - Florianópolis – SC
Paper CREEM2009-PF03

EFEITOS TÉRMICOS NA INCERTEZA DE MEDIÇÃO COM PAQUÍMETRO

**Cláudio Costa Souza, Lucas Lopes Lemos, Monique Alves Franco de Moraes e Rosenda Valdés
Arecibia**

UFU, Universidade Federal de Uberlândia, Curso de Engenharia Mecatrônica
Campus Santa Mônica - Bairro Santa Mônica - CEP 38400-902 - Uberlândia - Minas Gerais
E-mail para correspondência: claudio_costasouza@hotmail.com

Resumo. *Todo sistema de medição tem sua exatidão influenciada por um conjunto de fatores que alteram o valor da indicação fornecida. O grau de influência que cada fator exerce sobre a dúvida de um resultado depende das condições sob as quais o processo de medição é realizado e das características do sistema de medição. A temperatura é uma das grandezas que influenciam a incerteza de medição. A sua variação provoca alterações nas dimensões de todos os componentes envolvidos no processo. Por isso, a NBR NM-ISO 1 recomenda que as medições de comprimentos sejam realizadas a 20 °C. Contudo, no chão de fábrica, local onde o paquímetro é largamente utilizado, a temperatura frequentemente não forma parte do modelo para cálculo da incerteza. Por isso, a fim de se definir o modelo matemático que melhor represente o processo de medição em cada situação, este trabalho tem como objetivo avaliar a influência das variações de temperatura na incerteza associada à medição de peças com paquímetro. Para tanto, foram calculados os valores de incerteza padrão considerando comprimentos entre 100 e 1000 mm e valores de temperatura contidos no intervalo de 20 a 30 °C. Comprovou-se após os estudos que o modelo matemático deverá considerar os efeitos da temperatura na medição de peças de alumínio em diversas situações. Também, que a parcela de incerteza devido ao afastamento da temperatura de 20 °C atinge valores de até 130 μm .*

Palavras-Chave: *Incerteza de Medição, Paquímetro, Erro de Expansão Diferencial, Metrologia.*

Introdução

A exatidão de um sistema de medição é influenciada por um conjunto de fatores que determinam o grau de dúvida sobre o resultado da medição. Com o intuito de emitir resultados de medições tecnicamente válidos são realizados estudos minuciosos de todas as fontes de incerteza que possam interferir no valor indicado por um instrumento. Dentre as diversas grandezas consideradas está a temperatura, cuja variação provoca a dilatação ou contração de todos os componentes do sistema de medição, incluindo a peça a ser medida. Neste sentido, são realizadas pesquisas para estabelecer procedimentos de correção dos resultados e assegurar a confiabilidade metrológica.

Para diminuir os efeitos provocados pelas variações de temperatura ambiente, a NBR NM-ISO 1 (1997) recomenda que as medições de comprimento sejam efetuadas a 20 °C. Esta é a temperatura padrão adotada internacionalmente. Porém, frequentemente existe a necessidade de medir no chão de fábrica, onde nem sempre há um controle da temperatura. Como consequência, todos os componentes do sistema de medição experimentam deformações proporcionais ao coeficiente de dilatação térmica de cada material e o valor do mensurando é alterado. Ainda, o sistema de medição e a peça a ser medida podem ser fabricados de materiais diferentes o que aumenta a complexidade dos efeitos térmicos. Cada material responde de forma diferenciada às variações da temperatura provocando um erro denominado erro de expansão diferencial, que deve ser incluído no cálculo da incerteza de medição.

Quando se fala em medições no chão de fábrica o paquímetro surge como o instrumento mais usado. O princípio de funcionamento relativamente simples, o baixo custo, a portabilidade e os diferentes tipos com as mais variadas faixas de medição disponíveis no mercado o tornam preferido por muitos.

Quando o mensurando assume valores pequenos, as variações experimentadas pela peça objeto de medição não são percebidas pelo paquímetro. Mas, à medida que o mensurando cresce, as variações induzidas termicamente são maiores e a indicação do paquímetro será afetada gradualmente com o afastamento da temperatura de medição com relação à temperatura padrão.

Objetivos

Este trabalho tem como objetivo principal estudar a influência das variações de temperatura ambiente na incerteza associada à medição de peças com paquímetro. Isto permitirá definir de forma adequada o modelo matemático para cálculo da incerteza de medição em cada situação.

Considerações Gerais

A incerteza de medição está diretamente relacionada à confiabilidade do processo de medição, pois representa a dispersão dos possíveis valores atribuídos ao mensurando. Estimar esse parâmetro e apresentá-lo juntamente com o resultado da medição é imprescindível. O procedimento de cálculo aceito internacionalmente está descrito no guia publicado em 2003 (ISO GUM). A existência de uma convenção internacional é importante, pois facilita a comunicação e a troca de informações entre laboratórios e instituições de regiões ou países diferentes.

O ISO GUM conceitua três tipos de incerteza: a incerteza padrão, a incerteza padrão combinada e a incerteza expandida. A primeira delas está relacionada a cada grandeza de influência e é apenas obtida através da análise individual de cada variável considerada. Conhecendo o efeito dessas grandezas, é possível relacioná-las por meio da lei de propagação de incertezas obtendo-se assim a incerteza padrão combinada. A incerteza expandida consiste no resultado da multiplicação do valor da incerteza padrão combinada por um fator, definido de acordo com o nível de abrangência desejado.

Os métodos para a obtenção da incerteza padrão variam de acordo com as características da grandeza avaliada. Em algumas situações, ela pode ser diretamente estimada através da aplicação de conceitos estatísticos, sendo classificada como do tipo A. Já a incerteza padrão do tipo B é estimada a partir de um julgamento científico baseado em todas as informações relevantes disponíveis sobre o instrumento e o processo de medição (ISO, 1993). O conjunto de informações pode incluir: dados de medições prévias; experiência ou conhecimento geral do comportamento e propriedades de materiais e instrumentos relevantes; especificações do fabricante; dados fornecidos em certificados de calibração ou outros certificados e incertezas relacionadas a dados de referências extraídos de manuais.

O conjunto de leituras realizadas no instrumento de medição constitui um exemplo de variável cuja incerteza é classificada como do tipo A. A incerteza relacionada a fatores como a resolução do instrumento e a variação de temperatura é considerada do tipo B.

A distribuição de probabilidade de cada grandeza determina o modo como serão efetuados os cálculos para a obtenção das respectivas incertezas-padrão. As distribuições utilizadas são, geralmente, a normal, a triangular e a retangular. A distribuição empregada depende do tipo e da quantidade de informações disponíveis sobre a variável em estudo.

Conhecendo todos os valores das incertezas padrão individuais, calcula-se a incerteza padrão combinada. Um modelo matemático deve ser previamente definido, pois ele é a base para a aplicação da lei de propagação de incertezas. Cada valor da incerteza padrão é elevado ao quadrado e multiplicado pelo respectivo coeficiente de sensibilidade, também elevado ao quadrado. A raiz quadrada da soma de todos os termos equivale ao valor numérico da incerteza padrão combinada. O coeficiente de sensibilidade é a derivada parcial da variável de entrada em relação à variável de saída, que é o próprio mensurando.

Porém, a incerteza padrão calculada como descrito apresenta abrangência de apenas 68 % sendo muito pouco para a metrologia dimensional. Existe, então, a necessidade de expandi-la para obter-se uma abrangência maior.

Quando o número de leituras for reduzido, caracterizando uma amostra pequena, a incerteza expandida é finalmente determinada com o auxílio da tabela t-Student. Ela fornece o valor do fator pelo qual a incerteza padrão combinada deve ser multiplicada, de acordo com o nível de abrangência, que é usualmente igual a 95% para as aplicações relacionadas à metrologia dimensional.

Fontes de incerteza na medição com paquímetro

A idéia de incorporar um nônio a uma régua graduada constituiu um grande passo na evolução dos instrumentos de medição, possibilitando efetuar medições com resolução de até 0,02 mm. Porém, quando o cursor se desloca ao longo da régua estão presentes desvios angulares os quais influenciam o valor indicado e a incerteza de medição. Isto torna o paquímetro um instrumento bastante vulnerável ao erro de Abbé.

Os paquímetros não seguem as condições prescritas no princípio de Abbé, pois existe uma folga causada pelo jogo do movimento do cursor e pela pressão da superfície de medição móvel contra a peça a ser medida. Assim sendo, a NBR NM 216 recomenda que durante a medição de características externas com paquímetro, a peça objeto de medição deve entrar em contato com a superfície de medição do paquímetro o mais próximo possível da régua. Isto para diminuir o braço e consequentemente o erro de Abbé.

O fato de medir com paquímetro a temperaturas diferentes de 20 °C pode provocar uma influência expressiva na incerteza de medição, pois, atualmente, são comercializados paquímetros com faixa de medição de até 1000 mm. Assim sendo, dependendo do valor do mensurando e do afastamento da temperatura com relação a 20 °C, os coeficientes de dilatação linear dos materiais do paquímetro e da peça e o quanto a temperatura de medição se afasta da de referência deverão ser considerados, também, no modelo matemático para cálculo da incerteza.

A variação experimentada pelos componentes do sistema de medição devido às variações de temperatura com relação a 20 °C pode ser estimada pela Eq. (1). Para tanto, os gradientes de temperatura presentes nos objetos são desconsiderados. A alteração nas dimensões dos objetos é proporcional ao valor verdadeiro convencional (comprimento) e ao coeficiente de dilatação dos mesmos, como mostra a Eq. (1).

$$\Delta L = L_o \cdot \alpha \cdot \Delta T \quad (1)$$

Onde

ΔL : variação do comprimento;

L_o : comprimento;

α : coeficiente de dilatação linear;

ΔT : variação de temperatura em relação à de referência.

Durante a medição com paquímetro, outros fatores afetam a incerteza de medição, dentre eles:

1. Erro de tendência pessoal na leitura de instrumentos analógicos;
2. Resolução limitada do instrumento de medição;
3. Desvios geométricos das superfícies de medição;
4. Valores inexatos dos padrões de medição e materiais de referência;
5. Variações nas observações repetidas do mensurando sob condições aparentemente idênticas.

Considerando todas as fontes citadas, o modelo matemático para estimativa da incerteza associada a medições externas com paquímetro é dado pela Eq. (2).

$$C = L_{PQ} + R_{PQ} + D_{Pr(ext)} + D_{Pl(ext-fixa)} + D_{Pl(ext-movel)} + P \cdot \Delta T_{AR} \cdot \alpha_{PQ} + P \cdot \Delta T_{AR} \cdot \alpha_P \quad (2)$$

onde

L_{PQ} : valor indicado pelo paquímetro;

R_{PQ} : resolução do paquímetro;

α_{PQ} : coeficiente de expansão térmica do material do paquímetro;

α_P : coeficiente de expansão térmica do material da peça;

ΔT_{AR} : afastamento da temperatura ambiente com relação à de referência;

$D_{Pr(ext)}$: correção devido ao desvio de paralelismo das faces de medição (para externos);

$D_{Pl(ext-fixa)}$: correção devido ao desvio de planeza da face de medição para externos (fixa);

$D_{Pl(ext-movel)}$: correção devido ao desvio de planeza da face de medição para externos (móvel);

P : comprimento medido.

Metodologia

A metodologia utilizada, neste trabalho, consistiu da estimativa da incerteza padrão associada a diferentes valores de comprimento, a saber, de 100 a 1000 mm, considerando valores de temperatura entre 20 e 30 °C, com incremento de 1 °C dentro do intervalo. Os valores foram simulados através de uma planilha eletrônica implementada no *Microsoft Excel*.

A simulação foi realizada considerando um dos casos mais críticos, quando o instrumento de medição é de aço e a peça objeto de medição de alumínio. Assim sendo, os coeficientes de expansão térmica linear são dados por 11×10^{-6} e $24 \times 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, respectivamente e o erro de expansão diferencial é significativo.

Resultados e Discussões

Na Tabela (1) são apresentados os valores de incerteza padrão encontrados. Observe que quando uma peça de alumínio de 100 mm de comprimento for medida a 28 °C os efeitos da temperatura são percebidos pelo paquímetro e devem ser quantificados na incerteza de medição. A temperatura de 28 °C é facilmente encontrada no verão em locais a temperatura ambiente. Para peças de 300 mm, por exemplo, a temperatura para a qual os efeitos térmicos são detectados pelo paquímetro cai para 23 °C. Por sua vez, para peças com dimensões próximas de 1000 mm as variações de temperatura devem ser consideradas sempre que a temperatura for diferente da temperatura padrão.

Tabela 1 – Incerteza padrão associada à variação da temperatura.

Temperatura (°C)	Comprimento (mm)										
	100	150	200	250	300	350	400	500	550	600	1000
Incerteza Padrão da Temperatura (μm)											
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	2	3	3	4	5	5	7	7	8	13
22	3	4	5	7	8	9	10	13	14	16	26
23	4	6	8	10	12	14	16	20	21	23	39
24	5	8	10	13	16	18	21	26	29	31	52
25	7	10	13	16	20	23	26	33	36	39	65
26	8	12	16	20	23	27	31	39	43	47	78
27	9	14	18	23	27	32	36	46	50	55	91
28	10	16	21	26	31	36	42	52	57	62	104
29	12	18	23	29	35	41	47	59	64	70	117
30	13	20	26	33	39	46	52	65	72	78	130

Na Figura (1), são mostrados os valores de incerteza padrão para 100, 500 e 1000 mm. Como esperado, à medida que a temperatura se afasta de 20 °C os valores de incerteza crescem linearmente, atingindo valores de até 130 μm para 1000 mm de comprimento e 30 °C.

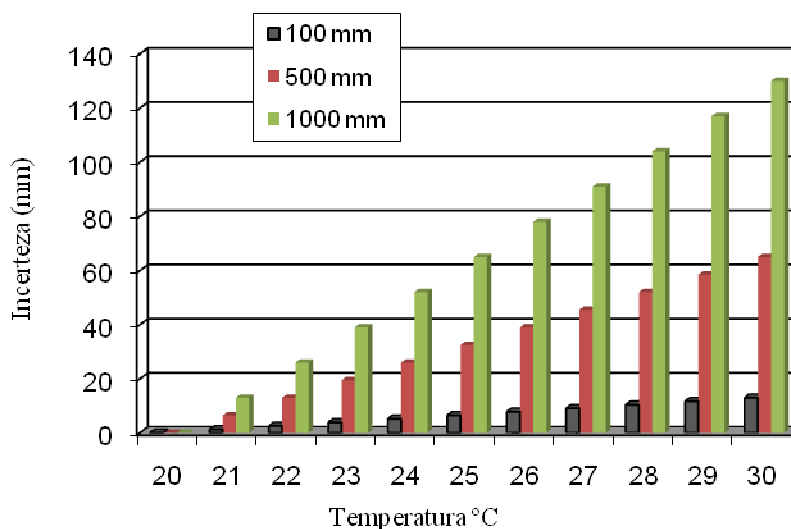


Figura 1 – Incerteza associada à medição com paquímetro para temperaturas diferentes de 20 °C.

Conclusões

Ao finalizar o presente trabalho as seguintes conclusões podem ser formuladas.

1. Quando as medições com paquímetros forem efetuadas em ambientes não controlados termicamente, um estudo deve ser conduzido visando identificar a influência do afastamento da temperatura com relação a 20 °C na incerteza de medição.

2. Durante as simulações realizadas neste trabalho comprovou-se que durante a medição de peças de alumínio com paquímetro o modelo matemático deverá considerar os efeitos da temperatura se:

- O mensurando for igual ou maior que 100 mm e a temperatura ambiente igual ou maior que 28 °C;
- O mensurando for igual ou maior que 300 mm e a temperatura ambiente igual ou maior que 23 °C;

- c) O mensurando for igual ou maior que 500 mm e a temperatura ambiente igual ou maior que 22 °C;
- d) O mensurando for igual ou maior que 1000 mm e a temperatura ambiente diferente de 20 °C.

Agradecimentos

Oferecemos nossos sinceros agradecimentos à professora Rosenda Valdés Arencibia pelo incentivo à pesquisa, dedicação e paciência ao nos transmitir os seus conhecimentos.

À FAPEMIG e à PIBIC-UFU pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

ABNT NBR NM 216. Paquímetros e paquímetros de profundidade – Características construtivas e requisitos metrológicos 2000.

INMETRO. Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – VIM. 2007.

INMETRO. Guia para Expressão da Incerteza de Medição, Rio de Janeiro, 3ª Edição Brasileira, 2003.

ISO TAG 4/WG 3. Guide to the Expression of Uncertainty in measurement, Geneva Switzerland, 1993.

NBR NM-ISO 1 “Temperatura padrão de referência para medições industriais de comprimento” Dez. 1997.