

MÉTODO PARA CALIBRAÇÃO DE SIMULADORES DE SOPRO

Leonardo F. Martins¹, Ana Gleice da S. Santos¹, Iris T. Chacon¹, Morgana Scariot¹, Ricardo A. Comiran¹, Rogério B. dos Reis¹

¹Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – INMETRO, Rio de Janeiro, Brasil, difiq@inmetro.gov.br

Sumário: Neste artigo, descreve-se um método para calibração de simuladores de sopro, instrumentos utilizados na verificação metrológica de etilômetros. Diversas fontes de incerteza foram avaliadas nesse procedimento para expressar resultados confiáveis.

Palavras-chave: simulador de sopro, calibração, metrologia legal.

1. INTRODUÇÃO

Em 23 de setembro de 1997, o Congresso Nacional publicou o novo Código de Trânsito Brasileiro [1]. Desde então, muitas emendas e atualizações foram feitas. Em 2008 foi adotada a política de tolerância zero (proibição) em relação ao consumo de álcool pelos condutores de veículos automotores, visando à prevenção de acidentes de trânsito.

Para propósitos legais, as autoridades de trânsito podem utilizar o etilômetro, instrumento que mede a concentração de etanol através da análise do ar pulmonar profundo. De acordo com a resolução Conmetro 11/88 [2], instrumentos que realizam medições que interessem à incolumidade das pessoas devem ser submetidos ao controle legal pelo Inmetro. Assim, o controle legal de etilômetros é obrigatório. O controle legal de instrumentos de medição é um termo genérico englobando as operações de aprovação de modelo e verificação. A aprovação de modelo de etilômetros é realizada pela Divisão de Instrumentos de Medição no âmbito da Físico-Química da Diretoria de Metrologia Legal do Inmetro (Inmetro/Dimel/Difiq), assim como as verificações iniciais e subsequentes, que podem ser realizadas pelos órgãos metrológicos delegados do Inmetro, que fazem parte da Rede Brasileira de Metrologia Legal e Qualidade – Inmetro – RBMLQ-I.

No método por via úmida definido no regulamento técnico metrológico disposto na Portaria Inmetro nº 006/2002 [3], utiliza-se material de referência certificado (MRC), correspondendo a uma solução aquosa de etanol em água. A concentração de etanol na amostra gasosa é calculada através da Lei de Henry [4], que relaciona a concentração de etanol no vapor (C_{vap}) com a sua concentração em solução (C_{liq}) através de uma constante de proporcionalidade (K), que varia de acordo com a temperatura. Para um solução aquosa de etanol, a constante K tem valor igual a $0,393 \times 10^{-3}$ na temperatura de $34,0^\circ\text{C}$.

Lei de Henry:

$$C_{vap} = K \cdot C_{liq} \quad (1)$$

O MRC é transferido para o interior do simulador de sopro, onde deve ser mantido a $(34,0 \pm 0,2)^\circ\text{C}$. Conforme mostrado na Figura 1, o sistema fechado em temperatura constante gera imediatamente acima da solução aquosa, vapor com concentração conhecida de etanol (A). Ao borbulhar-se ar sintético na solução pela entrada (B), gera-se, na saída (C) uma amostra com concentração de etanol conhecida, que é enviada diretamente ao etilômetro para a realização da leitura.

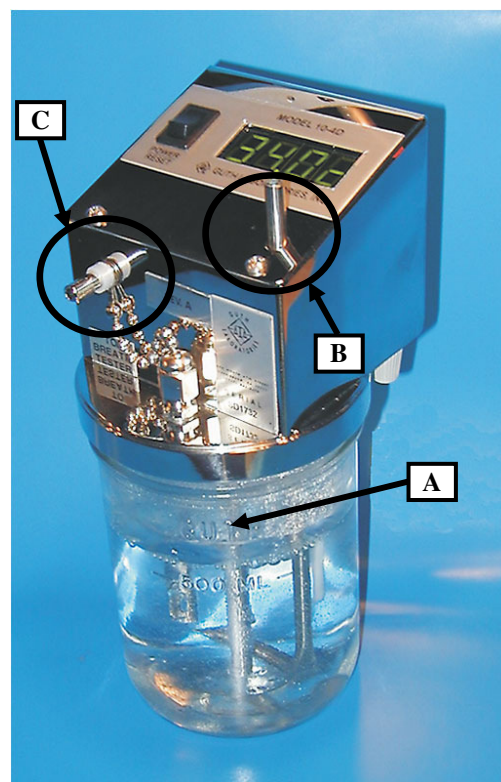


Figura 1. Simulador de sopro. A. Vapor imediatamente acima da solução de MRC; B. Entrada de ar sintético; e C. Saída do vapor com concentração conhecida de etanol.

O desempenho do ensaio é altamente dependente da temperatura do sistema, uma vez que a sua variação provoca modificações na relação entre as concentrações na fase

aquosa e na fase de vapor. Da mesma maneira, a temperatura do sistema depende diretamente do desempenho do simulador de sopro. Entretanto, pouco foi mostrado em relação à calibração de simuladores de sopro.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia para a calibração de simuladores de sopro, levando em consideração a faixa de variação aceita pelo regulamento técnico metrológico aprovado pela Portaria Inmetro nº 006/2002 [3].

3. MÉTODOS

Foram realizadas medidas de temperatura em três profundidades diferentes de imersão do sensor do termômetro padrão, sendo a profundidade de 70mm a profundidade correspondente à localização do sensor de temperatura do simulador de sopro. As medidas realizadas nas outras duas profundidades (40mm e 20mm) foram utilizadas para avaliar a variação de temperatura no interior do instrumento (homogeneidade).

O simulador de sopro foi preenchido com 500 mL de água ultrapura tipo III e colocado sobre uma placa de

madeira de 3 mm de espessura com o objetivo de prover isolamento térmico entre o sistema e a bancada. Após o equipamento indicar 34,0°C – o instrumento exibe apenas valores de temperatura próximos as 34,0°C com resolução de $\pm 0,1^\circ\text{C}$, quando a temperatura está abaixo desse valor, a mensagem “Cold” é exibida – inseriu-se um termômetro padrão de resistência de platina (Pt 100) até a profundidade de 70mm de imersão e esperou-se 5 minutos para que fosse alcançado o equilíbrio térmico. Foram lidas cinco temperaturas no termômetro padrão e no visor do simulador de sopro simultaneamente, com um intervalo de 1 minuto entre cada leitura. Caso a diferença entre as médias das leituras no termômetro padrão e o valor de referência de 34,00°C fosse superior a 0,02 °C, ajustava-se o simulador de sopro para atender a essa exigência. O ajuste foi feito através da regulagem do reostato no interior do instrumento, utilizando uma chave de fenda. Em seguida, o termômetro padrão foi inserido a 40mm e 20mm de imersão, anotando-se cinco temperaturas em intervalos de 1 minuto entre cada anotação e intervalo de 3 minutos entre as mudanças de profundidade de imersão.

Os dados coletados foram inseridos em uma planilha de cálculo, onde a incerteza expandida associada ao simulador de sopro foi calculada.

Tabela 1. Temperaturas observadas em diferentes profundidades durante a calibração de quatro simuladores de sopro.

Profundidade de imersão		Temperatura (°C)							
		70 mm (antes do ajuste)		70 mm (depois do ajuste)		40 mm		20 mm	
Medições	Padrão	Simulador	Padrão	Simulador	Padrão	Simulador	Padrão	Simulador	
Simulador 1	34,01	34,00	-	-	34,01	34,00	34,01	34,00	
	33,99	34,00	-	-	34,03	34,00	34,01	34,00	
	34,00	34,00	-	-	34,02	34,00	34,00	34,00	
	34,01	34,00	-	-	34,01	34,00	33,98	34,00	
	34,01	34,00	-	-	34,02	34,00	34,01	34,00	
Média	34,00	34,00	-	-	34,02	34,00	34,00	34,00	
Simulador 2	34,01	34,00	-	-	34,02	34,00	34,00	34,00	
	34,02	34,00	-	-	34,04	34,00	34,01	34,00	
	34,01	34,00	-	-	34,05	34,00	34,03	34,00	
	34,01	34,00	-	-	34,02	34,00	34,02	34,00	
	34,03	34,00	-	-	34,02	34,00	34,01	34,00	
Média	34,02	34,00	-	-	34,03	34,00	34,01	34,00	
Simulador 3	33,97	34,00	34,01	34,00	33,97	34,00	33,96	34,00	
	33,97	34,00	33,98	34,00	33,99	34,00	33,96	34,00	
	33,99	34,00	33,98	34,00	33,97	34,00	33,96	34,00	
	33,97	34,00	33,99	34,00	33,97	34,00	33,95	34,00	
	33,97	34,00	33,97	34,00	33,97	34,00	33,96	34,00	
Média	33,97	34,00	33,99	34,00	33,97	34,00	33,96	34,00	
Simulador 4	33,99	34,00	-	-	33,98	34,00	33,98	34,00	
	33,99	34,00	-	-	34,02	34,00	33,97	34,00	
	33,98	34,00	-	-	33,99	34,00	33,97	34,00	
	33,98	34,00	-	-	34,00	34,00	33,96	34,00	
	33,99	34,00	-	-	33,99	34,00	33,98	34,00	
Média	33,99	34,00	-	-	34,00	34,00	33,97	34,00	

4. RESULTADOS

Quatro simuladores foram calibrados de acordo com o procedimento descrito. A tabela 1 mostra todas as temperaturas lidas e a média das leituras para os simuladores de sopro e para o termômetro padrão nas três profundidades de imersão diferentes. Apenas o Simulador 3 necessitou de ajuste antes do prosseguimento da calibração.

A tabela 2 mostra o resultado da calibração de cada simulador de sopro, assim como as respectivas incertezas expandidas. O valor de temperatura exibido corresponde à média aritmética das quinze medidas tomadas nas três diferentes profundidades de imersão.

Tabela 2. Resultados da calibração de cada simulador de sopro e suas respectivas incertezas combinadas

Simulador	Média (°C)	U (°C)
1	34,01	0,04
2	34,02	0,04
3	33,97	0,05
4	33,98	0,05

5. DISCUSSÃO

5.1. Estimativa da incerteza da medição

Para a estimativa da incerteza da medição realizada [5], foram considerados os seguintes aspectos: repetitividade das medidas de temperatura observadas no simulador de sopro pelo termômetro padrão, a incerteza declarada para o termômetro padrão, a resolução do termômetro padrão e a variação da temperatura no interior do simulador de sopro, ilustrados no diagrama de causa e efeito a seguir.

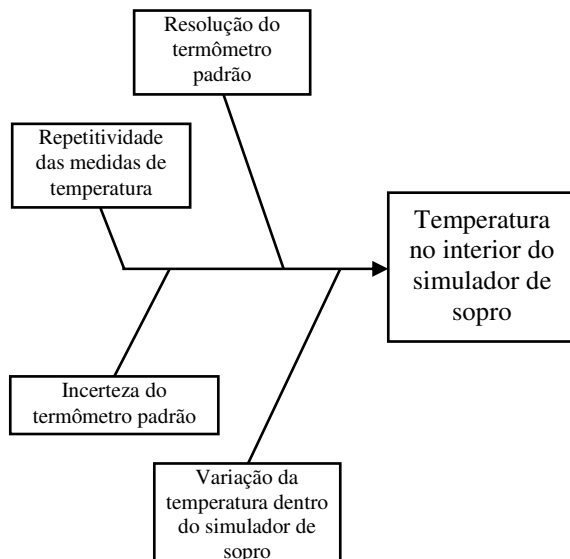


Figura 2. Diagrama de causa e efeito.

A Tabela 3 mostra as considerações feitas acerca de cada grandeza de influência, tomando como exemplo o simulador 4. A grandeza mensurada foi a temperatura da água no

interior do simulador de sopro e o desvio padrão da medidas foi utilizado para o cálculo da incerteza tipo A, aquela que é originada por métodos estatísticos. O valor para os graus de liberdade, ν foi calculado através da equação (2), onde n é o número de repetições, tendo resultado igual a 14.

$$\nu_1 = n - 1 \quad (2)$$

As outras três fontes de incerteza são do tipo B, valores de incerteza avaliados por julgamento científico, com infinitos graus de liberdade.

A incerteza do termômetro padrão declarada em seu certificado de calibração foi utilizada, considerando-se uma distribuição normal. O valor da incerteza expandida (U) foi dividido por 2,00, referente ao fator de abrangência (k) declarado, a fim de se obter a incerteza combinada (u_c) do termômetro padrão, conforme a equação (3).

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

A contribuição da resolução do termômetro padrão foi dada pela metade da resolução declarada pelo fabricante, considerando-se uma distribuição retangular, uma vez que a probabilidade de um valor situar-se entre o valor lido menos metade da resolução e o valor lido mais metade da resolução é a mesma. A distribuição retangular utiliza $\sqrt{3}$ como divisor.

A variação da temperatura no interior do simulador de sopro foi a quarta influência considerada, utilizando metade da diferença entre a maior e a menor temperatura observada durante o procedimento como valor e sendo a sua distribuição retangular, o divisor utilizado foi $\sqrt{3}$.

O cálculo da incerteza combinada foi realizado através da soma quadrática dos componentes de incerteza de cada contribuição, de acordo com a equação (4):

$$u_c = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + u_3^2 + u_4^2} \quad (4)$$

Onde, u_c = incerteza combinada, u_1 = contribuição de incerteza pela repetitividade da medição, u_2 = incerteza do padrão, u_3 = contribuição da incerteza pela resolução do padrão e u_4 = contribuição da incerteza pela variação da temperatura no interior no simulador.

Os graus de liberdade efetivos (ν_{eff}) foram calculados através da fórmula de Welch-Satterthwaite (5):

$$\nu_{eff} = \frac{u_c^4}{\frac{u_1^4}{\nu_1}} \quad (5)$$

Tabela 3. Cálculo da incerteza expandida de medição para o simulador nº4.

s_i	Fonte de Incerteza	Valor	Unidade	distribuição	divisor	c_i	u_i (°C)	ν, ν_{eff}
1	repetitividade da medição de t	0,003634	°C	***	***	1	0,00363405	14
2	incerteza do padrão (certificado)	0,03	°C	normal	2,00	1	0,01500000	Infinito
3	resolução do padrão	0,005	°C	retangular	$\sqrt{3}$	1	0,00288675	Infinito
4	variação da temperatura no interior do simulador de sopro	0,03	°C	retangular	$\sqrt{3}$	1	0,01732051	Infinito
Incerteza combinada					u_c		0,023378188	23978
Fator de Abrangência					k		2,000	
Incerteza padrão expandida (95,45%)					U		0,05	

A partir do valor dos graus de liberdade, o fator de abrangência (k) pode ser determinado através de consulta à tabela de distribuição t. Considerando um nível de confiança de 95,45%, o valor de k foi determinado com sendo 2,00, gerando a incerteza expandida através da equação (2).

A Figura 3 apresenta uma comparação entre a contribuição individual entre cada contribuição e a incerteza combinada destes fatores. Os fatores u_1 e u_3 , referentes à variação da temperatura no interior do simulador de sopro e a incerteza do termômetro padrão, respectivamente, são os que apresentam maior influência na incerteza combinada.

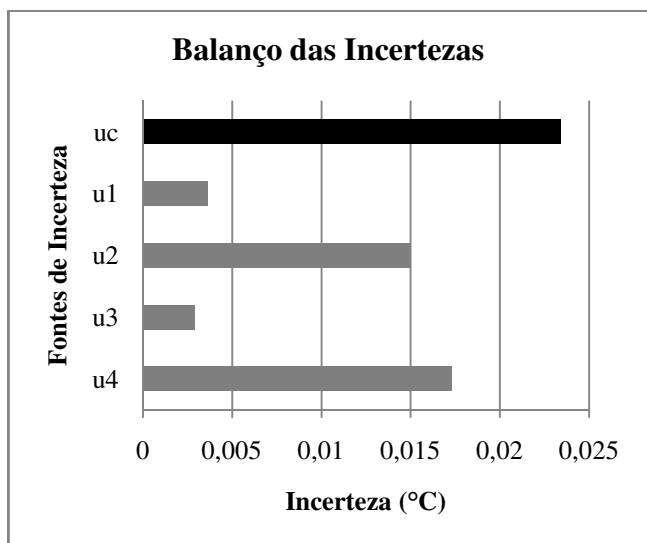


Figura 3. Gráfico de influência de cada fonte de incerteza na incerteza final, sendo a incertezas u_c = combinada, u_1 = repetitividade da medição, u_2 = incerteza do padrão, u_3 = resolução do padrão e u_4 = variação da temperatura no interior no simulador.

6. CONCLUSÃO

As incertezas calculadas através do método de calibração apresentado são menores que a tolerância admitida para os ensaios, de acordo com as exigências regulamentares [3]. Apesar das diversas fontes de incerteza apresentadas, o processo é considerado satisfatório, levando-se em conta os resultados.

Pode-se afirmar que a calibração dos simuladores de sopro (e o ajuste, quando necessário) é um elemento de grande relevância para assegurar a confiabilidade metrológica nos ensaios com etilômetros via gás úmido.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Diretoria de Metrologia Legal do Inmetro e a Divisão de Instrumentos de Medição no âmbito da Físico-Química (Difiq) por apoiar este trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] www.planalto.gov.br, acessado em Janeiro de 2009.
- [2] Resolução Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial – CONMETRO – nº 11, de 12 de outubro de 1988. Publicação eletrônica disponível em www.inmetro.gov.br, acessado em Agosto de 2009.
- [3] Inmetro, Regulamento Técnico Metrológico a que se refere a Portaria Inmetro 006/2002. Publicação eletrônica disponível em www.inmetro.gov.br, acessado em Janeiro de 2009.
- [4] P. Atkins e J. de Paula, “Físico-Química” 6ª edição, Editora LTC, 1999.
- [5] ABNT, Inmetro (2003), Guia para a expressão da incerteza de medição. 3. ed. Rio de Janeiro.

