

# Análise das fontes de incerteza e cálculo da incerteza expandida em ensaios para a determinação da concentração de partículas totais e respiráveis em suspensão no ambiente de trabalho.

**Barbosa, Fernando** <sup>a)</sup>; **Matos, Luísa** <sup>a)</sup>; **Santos, Paula** <sup>a)</sup>

Cinfu – Centro Profissional da Indústria de Fundição, Rua Delfim Ferreira n.º800, 4100-199 Porto; [fernando.barbosa@cinfu.pt](mailto:fernando.barbosa@cinfu.pt)

Laboratório do Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação, I.P, Rua da Amieira, Apartado 1089, 4466-956 S. Mamede de Infesta;

[luisa.matos@ineti.pt](mailto:luisa.matos@ineti.pt)

A.Ramalhão – Consultoria, Gestão e Serviços, Lda, Rua Senhora do Porto n.º825, 4250-456 Porto; [paulasantos@aramalhao.com](mailto:paulasantos@aramalhao.com)

## RESUMO

Com vista ao cumprimento de alguns requisitos exigidos a metodologias de amostragem acreditadas e após a execução do ensaio de comparação entre laboratórios para a determinação de partículas totais e respiráveis em suspensão no ambiente de trabalho, tornou-se necessário proceder ao cálculo da incerteza.

A metodologia de cálculo da incerteza da medição, bem como o ensaio foram da responsabilidade das entidades A.Ramalhão – Consultoria, Gestão e Serviços Lda, Cinfu – Centro Profissional da Indústria de Fundição e INETI – Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação, I.P.

Sendo para os laboratórios participantes a garantia da qualidade dos seus resultados primordial, o cálculo da incerteza apresenta-se como factor determinante.

Neste artigo são apresentadas as fontes de incerteza consideradas como relevantes e a metodologia para o cálculo da incerteza de medição expandida associada.

**Palavras-chave:** *Fontes de Incerteza, Partículas Totais, Respiráveis, Concentração*

## 1. INTRODUÇÃO

A avaliação da exposição profissional a agentes químicos inclui a determinação da concentração desses agentes no ar dos locais de trabalho e a comparação com valores de referência que representam níveis de exposição aceitáveis, estipulados na NP 1796:2007 [1].

Os valores limites de exposição (VLE) apresentados na norma, são válidos para cada agente químico e têm por base a informação disponível da experiência industrial, de estudos experimentais em animais e no ser humano e, sempre que possível, das três fontes.

Os VLE são estabelecidos para uso na prática da higiene do Trabalho e constituem apenas linhas orientadoras ou recomendações no controlo dos riscos potenciais para a saúde nos locais de trabalho, tendo em atenção que os níveis de contaminação devem ser sempre os mais baixos possível. Os VLE nunca devem ser utilizados como indicadores de toxicidade nem como linha divisória entre situações perigosas e não perigosas.

A palavra incerteza quando utilizada no dia a dia transmite uma sensação de insegurança. No entanto, quando utilizada tecnicamente tem um significado totalmente diferente. A incerteza de uma medição não é mais do que a sua qualidade. Um resultado sem incerteza é um resultado inseguro.

Incerteza de medição segundo o Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM) [2] é o parâmetro associado ao resultado de uma medição que caracteriza a dispersão dos valores que podem ser fundamentalmente atribuídos a um mensurando.

Não basta medir, é necessário conhecer o rigor dessa medição.

Existe cada vez mais a necessidade de realizar estudos que permitam avaliar valores de reprodutibilidade e posterior declaração do valor da incerteza de medição associado de acordo com a normalização em vigor.

Os desafios para encontrar sistemas cada vez mais fiáveis prosseguem em todo o mundo, de forma a permitirem medir incertezas cada vez menores.

A norma NP EN ISO/IEC 17025:2005 [3], contempla este aspecto, de modo que os laboratórios de ensaios acreditados, bem como aqueles que pretendem vir a sê-lo, terão que apresentar o cálculo da incerteza expandida associada à medição.

## 2. METODOLOGIA PARA O CÁLCULO DA INCERTEZA DE MEDIÇÃO

É de referir que nenhuma medição é perfeita. Os equipamentos utilizados na medição não são perfeitos, as condições ambientais podem variar durante a amostragem. Igualmente, os procedimentos não são isentos de falhas e nós técnicos executantes, não conseguimos realizar sempre da mesma forma as medições.

Para calcular a incerteza são necessários dois dados. Um dado é o intervalo e o outro é o nível de confiança que indica que o valor verdadeiro está nesse intervalo. Por exemplo: O valor de concentração de poeiras totais é de  $5 \pm 0,5 \text{ mg/m}^3$  com probabilidade de 95%. O intervalo é a incerteza propriamente dita  $0,5 \text{ mg/m}^3$ . Da análise dos valores apresentados podemos concluir que a concentração exacta das poeiras totais não é conhecida. O que podemos afirmar é que com 95% de probabilidade a concentração de poeiras está entre 4,5 e  $5,5 \text{ mg/m}^3$ . Ainda existe cerca de 5% de probabilidade da concentração estar fora destes limites.

A metodologia de cálculo de incertezas foi baseada no GUM [4] e foram considerados dois pontos-chave: o conhecimento pormenorizado do trabalho e a experiência da execução do ensaio.

### 2.1 ANÁLISE DAS FONTES DE INCERTEZA

Ao efectuar um cálculo de Incerteza é necessário, antes de tudo, avaliar o processo/ensaio em questão e definir as componentes de incerteza. O esquecimento de uma fonte de incerteza pode inviabilizar o resultado final, o conhecimento e experiência no ensaio é fulcral. Deste modo, as fontes de incerteza foram definidas com base quer, no conhecimento e experiência dos três laboratórios participantes quer na NP EN 482:2008 [5].

Após identificar as grandezas de entrada de forma procede-se à sua classificação.

É necessário separar as grandezas do tipo A das do tipo B.

As grandezas do tipo A são obtidas de dados experimentais sendo passíveis de um tratamento estatístico.

No caso das grandezas sobre as quais não existe um conjunto de dados de medições, grandezas denominadas do tipo B, podem-se aplicar distribuições de probabilidade.

A amostra de massa de partículas, é recolhida para o filtro utilizando bombas de amostragem pessoal. As amostras devem ser colhidas, tanto quanto possível, á altura da respiração e na vizinhança imediata dos trabalhadores. Em caso de dúvida deve ser utilizado como ponto de medição o ponto de maior risco [6]. A amostra de massa de partículas recolhidas no filtro, contribui com fonte de incerteza do tipo B e é-lhe aplicada uma distribuição rectangular.

A estabilidade do caudal da bomba utilizada, para a recolha da amostra, contribui também como uma fonte de incerteza do tipo B sendo-lhe também aplicada uma distribuição rectangular. As bombas de amostragem individual de ar são geralmente auto reguladas e mantêm o caudal fixado, independentemente da variação da perda de carga. As referências

normativas requerem que o caudal seja mantido no intervalo de  $\pm 5\%$  do valor fixado, durante todo o período de amostragem [5].

O tempo de recolha da amostra ou duração da amostragem, é outra fonte principal de incerteza da medição, na forma da exactidão com que a leitura é realizada. É tida em consideração como fonte de incerteza do tipo B sendo-lhe também aplicada uma distribuição rectangular.

Condições de Reprodutibilidade – condições em que são obtidos resultados de ensaios pelo mesmo método, sobre objectos de ensaio idênticos, em laboratórios diferentes, e com operadores diferentes utilizando equipamentos diferentes. As condições de reprodutibilidade contribuem como fonte de incerteza do tipo A [5].

## 2.2 INCERTEZA PADRÃO COMBINADA

As fontes de incerteza anteriormente listadas, contribuem para o cálculo da **Incerteza padrão combinada** -  $\mu_c$ , que é a Incerteza padrão do resultado de uma medição, quando este resultado é obtido a partir dos valores de outras grandezas, e igual à raiz quadrada positiva de uma soma de termos, sendo esses termos as variâncias ou co-variâncias dessas outras grandezas, ponderadas segundo a variação do resultado de medição em função das variações daquelas grandezas.

## 2.3 INCERTEZA EXPANDIDA

A passagem de Incerteza padrão combinada a Incerteza expandida, faz-se pela aplicação do **Factor de expansão – K**, que é um factor numérico utilizado como multiplicador da incerteza padrão combinada para obtenção da incerteza expandida (um factor de expansão, K, tem o seu valor tipicamente compreendido entre 2 e 3).

A **Incerteza expandida – U**, é uma grandeza definidora de um intervalo, centrado no resultado de uma medição, no qual se pode esperar que esteja contida uma fracção elevada da distribuição de valores que poderia ser razoavelmente atribuída à mensuranda.

$$U = 2 \times \mu_c$$

## 3. CONCLUSÕES

Face ao exposto anteriormente foi elaborada uma folha de cálculo cuja exploração nos permite retirar dois tipos de conclusões:

- a) Contributo para a incerteza final da medição das diferentes fontes de incerteza.
  - i. A fonte de incerteza “reprodutibilidade” é que mais influencia o resultado final,
- b) Contributo para a incerteza final da medição da variação dos valores das fontes de incerteza. Pressupondo que se cumpriram os critérios de amostragem [7] no que diz respeito ao caudal (2,2 l/min), ao tempo de amostragem (120 min) e o desvio padrão entre as amostras que permitiram fazer o cálculo da fonte de incerteza “reprodutibilidade” era pequeno (na ordem dos 0,02) construiu-se a tabela 1.

Massa (mg)	Concentração (mg/m <sup>3</sup> )	Incerteza da medição (mg/m <sup>3</sup> )	Incerteza da medição relativa (%)
0,1	0,38	0,05	13,6
0,2	0,76	0,06	8,4
2	7,58	0,45	6,0
4	15,15	0,90	5,9
5	18,94	1,1	5,9
10	37,88	2,2	5,9

Da tabela anterior conclui-se que a partir de um peso em massa de 4 mg, a incerteza da medição relativa não varia, independentemente do valor crescente da concentração e da incerteza de medição.

O parâmetro incerteza da medição relativa é um indicador eficaz para validar a metodologia do ensaio.

O resultado do cálculo da incerteza da medição apresentado, terá a sua aplicação no valor da concentração de partículas totais ou respiráveis em suspensão no ambiente de trabalho, dos casos em estudo.

$$Concentração(mg/m^3) = \frac{1000 \times massa(mg)}{Caudal(litros/min) \times Tempo(min)}$$

Com base na fórmula, é visível de uma forma muito evidente, a influência das diferentes fontes de incerteza enumeradas, no valor final da concentração de partículas totais ou respiráveis, que irão ser comparadas com os VLE normalizados.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NP 1796:2007 – Segurança e Saúde no Trabalho. Valores limites de exposição profissional a agentes químicos.
- [2] Vocabulário Internacional de Metrologia (VIM)
- [3] NP EN ISO/IEC 17025:2005 (Edição 2) Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração.
- [4] GUM (1995) – Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement.
- [5] NP EN 482 (2008) - Atmosferas dos locais de trabalho. Requisitos gerais de desempenho dos procedimentos de medição de agentes químicos.
- [6] NP EN 689:2008 - Atmosferas dos locais de trabalho. Guia para a apreciação da exposição por inalação a agentes químicos por comparação com valores limites e estratégia de medição.
- [7] NIOSH 0600 (4ª Edição de 1/15/98) – Particulates not otherwise regulated, Respirable