



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA
Núcleo de Qualidade Metrológica

Proc. 1104/532/00660

CARACTERIZAÇÃO METROLÓGICA E AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS NO LABORATÓRIO DE ENSAIOS DE REACÇÃO AO FOGO (LNEC/LERF)

Ensaio de ignitabilidade

Trabalho realizado por solicitação do Departamento
de Edifícios do LNEC

Lisboa • Julho de 2008

I&D INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO 288/2008 – NQM

Caracterização Metrológica e Avaliação de Incertezas no Laboratório de Ensaios de Reacção ao Fogo (LNEC/LERF): Ensaio de Ignitabilidade

Resumo

Este relatório apresenta a caracterização metrológica e a avaliação de incertezas de medição do *Ensaio de Ignitabilidade* realizado no Laboratório de Ensaios de Reacção ao Fogo do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC/LERF). O presente documento contém uma descrição do ensaio em estudo e descreve o processo de avaliação de incertezas de medição das grandezas distância de propagação de chama e duração total do ensaio baseado no método GUM.

Metrological Characterisation and Uncertainty Evaluation in the Laboratório de Ensaios de Reacção ao Fogo (LNEC/LERF): Ignitability Test

Abstract

This report presents the metrological characterisation and the measurement uncertainty evaluation related with the *Ignitability Test* carried out by the Laboratório de Ensaios de Reacção ao Fogo of the Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC/LERF). This document includes a description of the studied test and describes the measurement uncertainty evaluation of the flame propagation distance and total test duration quantities based on the GUM method.

Caractérisation Métrologique et Évaluation des Incertitudes dans le Laboratório de Ensaios de Reacção ao Fogo (LNEC/LERF): Essai d'Allumabilité

Résumé

Ce rapport présente la caractérisation métrologique et l'évaluation des incertitudes de mesurage de l'*Essai d'Allumabilité* réalisé par le Laboratório de Ensaios de Reacção ao Fogo do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC/LERF). Le présent document contient une description de l'essai en étude et décrit le procès d'évaluation des incertitudes de mesurage des grandeurs distance de propagation de flamme et durée totale d'essai basé sur la méthode GUM.

ÍNDICE DE MATÉRIAS

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 DESCRIÇÃO DO ENSAIO DE IGNITABILIDADE.....	3
2.1 Introdução.....	3
2.2 Metodologia de ensaio.....	3
2.3 Montagem experimental.....	5
2.4 Procedimento de ensaio.....	7
3 AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS DE MEDIÇÃO.....	9
4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	11
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	15

1 INTRODUÇÃO

No Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) coexistem diversos laboratórios que desenvolvem uma significativa actividade experimental incorporando, nos ensaios desenvolvidos, a medição de grandezas mensuráveis e, conseqüentemente, requisitos de qualidade para a expressão dos resultados dessa medição (as suas estimativas e as respectivas incertezas associadas).

Estes ensaios têm, frequentemente, um elevado grau de complexidade quer pela diversidade de grandezas envolvidas quer pela natureza das relações funcionais que se estabelecem entre estas grandezas.

O Núcleo de Qualidade Metrológica (NQM), inserido no Centro de Instrumentação Científica, é um sector do LNEC com competências para promover estudos de caracterização metrológica quer relacionados com a calibração de instrumentação científica quer com o desempenho de sistemas de medição.

No que respeita aos ensaios desenvolvidos por outros sectores do LNEC, a colaboração entre o NQM e esses sectores pode traduzir-se na concretização de estudos de caracterização metrológica onde se insere, com particular destaque, a avaliação das incertezas de medição associadas às grandezas de saída. Este estudo, relacionado com os ensaios desenvolvidos pelo Laboratório de Ensaios de Reacção ao Fogo (LNEC/LERF), foi realizado por solicitação do Núcleo de Revestimentos e Isolamentos do Departamento de Edifícios.

Atendendo a que este laboratório se encontra integrado no Sistema de Gestão da Qualidade do LNEC, este estudo permite, também, cumprir um requisito normativo importante que decorre da aplicação da norma de referência NP EN ISO/IEC 17025 [1], que indica o conjunto de requisitos gerais de competência que os laboratórios de calibração e de ensaio devem cumprir.

Em particular, a declaração da incerteza de medição constitui um dos requisitos normativos aplicáveis aos ensaios laboratoriais, correspondendo a um elemento de quantificação da qualidade das medições realizadas. Faz-se notar que este parâmetro adquire uma importância particular ao permitir a comparação entre medições obtidas em ensaios laboratoriais realizados por outras entidades.

Neste documento efectua-se a caracterização metrológica e a avaliação das incertezas de medição associadas à realização do **Ensaio de Ignitabilidade**, fundamentada na actividade laboratorial desenvolvida no LNEC/LERF.

No que respeita ao seu conteúdo, refira-se que, no capítulo 2 se efectua uma descrição do presente ensaio relativamente à metodologia de ensaio, à montagem experimental e ao procedimento de ensaio adoptado.

No capítulo 3 procede-se à avaliação das incertezas de medição das duas mensurandas de interesse neste ensaio – a distância de propagação de chama e a duração total do ensaio – com base nas componentes de incerteza associadas ao operador, ao método e à instrumentação de medição utilizada aplicando-se, neste contexto, o método GUM.

Por último, no capítulo 4 procede-se à apresentação das conclusões obtidas com a realização deste estudo.

2 DESCRIÇÃO DO ENSAIO DE IGNITABILIDADE

2.1 Introdução

O ensaio de ignitabilidade tem por objectivo a avaliação do comportamento de reacção ao fogo de materiais de construção mediante a imposição directa de uma fonte de ignição, neste caso, uma chama de reduzida dimensão, conforme exposto na norma ISO 11925-2 [2].

Esta avaliação decorre da medição das grandezas **distância de propagação de chama** e **duração total do ensaio** as quais, de acordo com a norma NP EN 13501-1 [3], constituem critérios classificativos da reacção ao fogo de materiais de construção. Deve-se referir que são também efectuadas observações qualitativas relativas ao comportamento da amostra ensaiada, em particular, e com efeito classificativo, a ocorrência de ignição do papel de filtro posicionado no interior da câmara de combustão em resultado da produção de gotas ou partículas originadas pela combustão da amostra durante o ensaio.

Nas secções seguintes apresentam-se os aspectos mais relevantes deste ensaio associados à metodologia adoptada, à montagem experimental e ao procedimento seguido na sua realização. Faz-se notar que, o ensaio de ignitabilidade de amostras que evidenciem uma passagem ao estado líquido ou revelem contracções de origem térmica sem que ocorra a sua ignição, recorre a uma montagem experimental e um procedimento de ensaio próprios, ainda que bastante próximos dos citados em seguida.

2.2 Metodologia de ensaio

O ensaio em estudo, visando a determinação da ignitabilidade de um material de construção, é efectuado de acordo com o método de imposição directa de uma chama de reduzida dimensão sobre uma amostra representativa do material a ensaiar, posicionada verticalmente no interior de uma câmara de combustão e na ausência de outras fontes de radiação significativas, conforme representado esquematicamente na figura 1.

O método de ensaio adoptado define duas *condições de exposição* das amostras à chama aplicada – a exposição superficial e a exposição de bordo – cuja aplicação está dependente da constituição interna e das características dimensionais do material de construção em análise [4].

Na primeira *condição de exposição* (superficial) citada, a chama é aplicada sobre o eixo vertical central da amostra numa posição de 40 mm medida a partir do seu bordo inferior. Na *condição de exposição* de bordo, a chama é aplicada na zona do bordo inferior

da amostra em posições específicas consoante o número de camadas constituintes e a sua espessura [4].

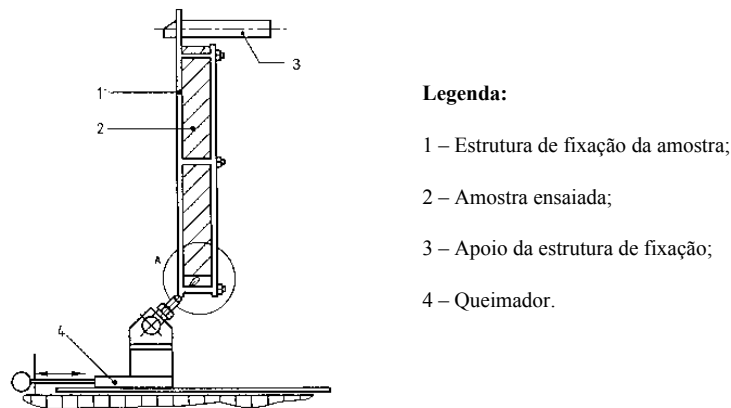


Figura 1: Ilustração esquemática do ensaio de ignitabilidade [2].

A duração total do ensaio de ignitabilidade é definida de acordo com o tempo de imposição de chama o qual corresponde a 15 s ou 30 s consoante a classe de reacção ao fogo que se pretende atribuir ao material em estudo [2]. No caso de um tempo de imposição de chama de 15 s, a duração total do ensaio corresponde a 20 s enquanto que, para um tempo de imposição de chama de 30 s, a duração total do ensaio é de 60 s. Note-se que, o início da contagem do tempo de ensaio é definido pelo momento de imposição da chama sobre a amostra ensaiada.

Neste ensaio são efectuadas observações relativas à distância de propagação da chama na superfície da amostra, tendo como origem o seu bordo inferior na condição de exposição de bordo ou o ponto de imposição de chama na condição de exposição lateral, pretendendo-se determinar se é alcançada a distância de 150 mm durante o período de ensaio. Deste modo, é comum promover-se a marcação desta distância sobre a superfície da amostra ensaiada de modo a facilitar a realização desta observação, conforme exposto esquematicamente na figura 2.

Complementarmente, pretende-se também avaliar a ocorrência de combustão no papel de filtro colocado no interior da câmara de combustão para efeito de classificação.

De acordo com o procedimento de ensaio [4], é efectuado um conjunto adicional de observações, sem efeitos classificativos, visando melhorar a caracterização do comportamento de reacção ao fogo realizada, nomeadamente, o registo do tempo de extinção da chama na amostra, a ocorrência de queda de gotas e a determinação das dimensões da zona de combustão na amostra ensaiada.

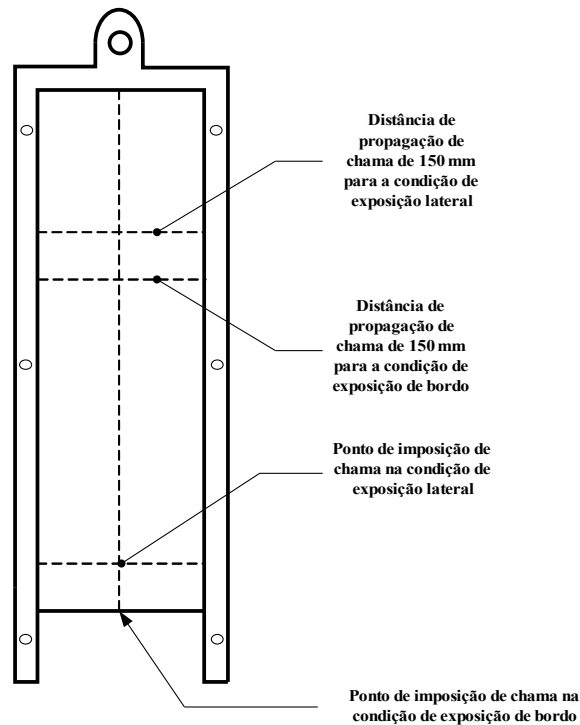


Figura 2: Representação esquemática da amostra e da estrutura de fixação.

Salienta-se que, a realização do ensaio de ignitabilidade pressupõe a monitorização e o controlo de grandezas de influência como o tempo de aplicação de chama, a velocidade dos gases na conduta de extracção, a altura de chama no queimador e a distância entre o queimador e a amostra ensaiada, conforme é possível constatar no procedimento de ensaio exposto na secção 2.4.

2.3 Montagem experimental

Na montagem experimental utilizada no ensaio de ignitabilidade destacam-se os seguintes elementos (*vide* figuras 3 a 5):

- câmara de combustão;
- conduta de extracção de gases e respectivo ventilador;
- queimador com válvula de ajuste de caudal;
- gás propano sob pressão, com um grau de pureza mínimo de 95 %;
- estrutura de fixação da amostra;
- apoio da estrutura de fixação na câmara de combustão;
- papel de filtro e respectivo recipiente.

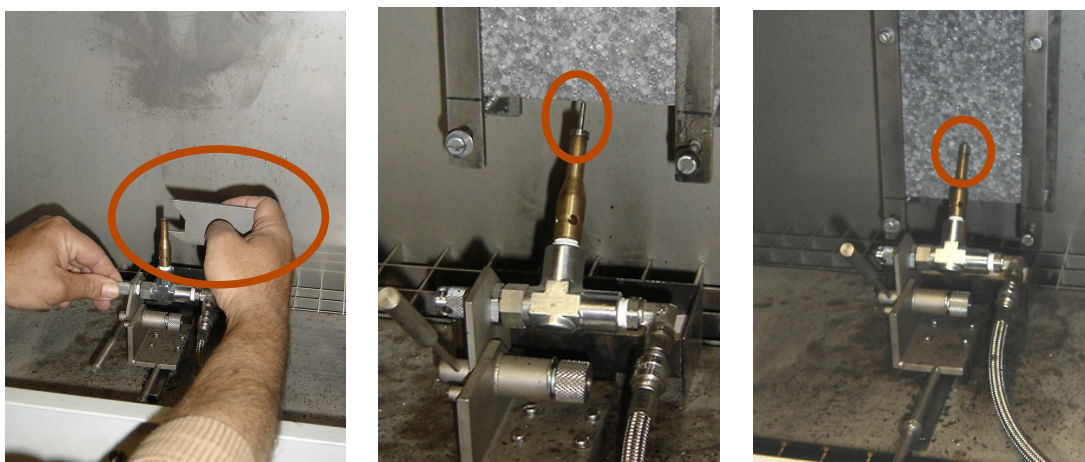


Figuras 3, 4 e 5: Montagem experimental do ensaio de ignitabilidade no LNEC/LERF – câmara de combustão e conduta de extracção de gases; estrutura de fixação da amostra; queimador e recipiente com papel de filtro.

No que respeita à instrumentação de medição utilizada neste ensaio, o LNEC/LERF recorre a:

- um cronómetro digital;
- uma escala graduada;
- um anemómetro digital.

Refere-se, ainda, a utilização de um padrão dimensional (de trabalho) para medição da altura de chama no queimador e outros dois padrões para materialização da distância entre o queimador e a posição de imposição da chama na amostra para as duas condições de exposição citadas anteriormente. Nas figuras seguintes é possível visualizar os padrões dimensionais utilizados.



Figuras 6, 7 e 8: Padrões dimensionais de trabalho do LNEC/LERF – altura de chama; distância entre o queimador e o ponto de imposição de chama nas condições de exposição de bordo e lateral.

2.4 Procedimento de ensaio

A realização do ensaio de ignitabilidade é antecedida pela preparação das amostras representativas do material em análise, assegurando-se o cumprimento das indicações normativas relativas ao seu dimensionamento, utilização de substratos e condicionamento ambiental. Em regra, promove-se a preparação de seis amostras (três amostras transversais e três amostras longitudinais) para cada condição de exposição.

A sequência temporal da realização do ensaio de ignitabilidade incorpora as seguintes operações:

- medição da velocidade do escoamento de gases no interior da conduta de extracção, com recurso a um anemómetro;
- instalação da amostra de ensaio na respectiva estrutura de fixação;
- verificação da distância entre o queimador e a amostra de ensaio mediante a utilização do padrão dimensional de trabalho adequado;
- colocação do papel de filtro (sujeito a condicionamento ambiental idêntico ao das amostras preparadas para ensaio) no recipiente próprio existente na região inferior da câmara de combustão;
- ignição do queimador em posição vertical e respectivo ajuste da altura de chama produzida com recurso ao padrão dimensional adequado;
- deslocamento da chama do queimador até ao ponto de contacto estabelecido na amostra de ensaio, iniciando-se a contagem do tempo de duração do ensaio, $t=0$ s;
- finalização da imposição da chama sobre a amostra após $t=15$ s ou $t=30$ s (consoante seja o caso aplicável) ;
- finalização do ensaio de ignitabilidade após $t=20$ s ou $t=60$ s (consoante seja o caso aplicável).

3 AVALIAÇÃO DE INCERTEZAS DE MEDIÇÃO

Em virtude do critério de classificação adoptado no ensaio de ignitabilidade, o conhecimento da incerteza de medição associada à grandeza distância de propagação de chama, F_s , apenas se torna relevante no que respeita à sua estimativa no ensaio realizado a 150 mm.

De facto, este ensaio de reacção ao fogo pretende avaliar se a chama imposta sobre a amostra ensaiada alcança uma distância de propagação de 150 mm (cuja origem depende da condição de exposição adoptada, conforme exposto em 2.2) durante um período de ensaio, t_f , de 20 s ou 60 s, consoante o tempo de imposição de chama aplicável. Justifica-se, deste modo, a avaliação das incertezas de medição das estimativas citadas para a distância de propagação de chama e a duração total do ensaio.

Dada a natureza linear do modelo matemático aplicável ao caso em estudo, a aplicação do método GUM revela-se adequada e de fácil aplicação permitindo estimar, de forma exacta, a incerteza combinada da medição directa das mensurandas de interesse mediante a contabilização das respectivas componentes de incerteza.

Este método é baseado numa aproximação por expansão em série de Taylor (em regra geral, de 1ª ordem) da relação funcional f representativa do processo de medição da grandeza de saída y com base nas grandezas de entrada x_i , ou seja,

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N), \quad (1)$$

permitindo obter a Lei da Propagação de Incertezas [5], segundo a qual a incerteza-padrão de medição da grandeza de saída, $u(y)$, é expressa por

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i}\right)^2 u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j)} \quad (2)$$

onde $u(x_i)$ correspondem às incertezas-padrão das grandezas de entrada e $u(x_i, x_j)$ exprime a covariância existente entre as grandezas de entrada. A sua utilização permite obter soluções exactas no caso de modelos matemáticos lineares, efectuando a caracterização probabilística da grandeza de saída mediante uma distribuição gaussiana ou uma distribuição- t .

Neste contexto, foram identificadas componentes de incerteza relacionadas com a metodologia adoptada, os instrumentos de medição utilizados e com o operador que efectua as medições pretendidas, conforme exposto nas tabelas 1 e 2, nas quais é possível encontrar

informação adicional relativa às fontes de incerteza, aos limites de variação, às funções densidade de probabilidade adoptadas e às fontes de informação consultadas.

Tabela 1: Componentes de incerteza associadas à estimativa $\hat{F}_s = 150 \text{ mm}$.

Componentes de incerteza	Fontes de incerteza	FdP*	Limites de variação	Fontes de informação
$\delta F_{s \text{ origem}}$	Origem da medição	R	$\pm 1,0 \text{ mm}$	Estimativa empírica
$\delta F_{s \text{ marcação}}$	Espessura da marcação de 150 mm	R	$\pm 1,0 \text{ mm}$	Estimativa empírica
$\delta F_{s \text{ calibração}}$	Calibração da escala graduada	N	$\pm 1,0 \text{ mm}$	Certificado de calibração
$\delta F_{s \text{ resolução}}$	Resolução da escala graduada	R	$\pm 1,0 \text{ mm}$	Escala graduada
$\delta F_{s \text{ paralaxe}}$	Erro de paralaxe	R	$\pm 1,0 \text{ mm}$	Estimativa empírica

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal; R – Rectangular/Uniforme; T – Triangular; U – Arco seno; P – Trapezoidal; S – t de Student.

Tabela 2: Componentes de incerteza associadas à estimativa $\hat{t}_f = 20 \text{ s}$ ou $\hat{t}_f = 60 \text{ s}$.

Componentes de incerteza	Fontes de incerteza	FdP*	Limites de variação	Observações
$\delta t_{f \text{ início}}$	Sincronização entre a imposição de chama na amostra ensaiada e o início da contagem do tempo de ensaio	R	$\pm 0,5 \text{ s}$	Estimativa empírica
$\delta t_{f \text{ calibração}}$	Calibração do cronómetro digital	N	$\pm 0,01 \text{ s}$	Certificado de calibração
$\delta t_{f \text{ resolução}}$	Resolução do cronómetro digital	R	$\pm 0,01 \text{ s}$	Cronómetro digital

* Siglas relativas a funções densidade de probabilidade: N – Normal; R – Rectangular/Uniforme; T – Triangular; U – Arco seno; P – Trapezoidal; S – t de Student.

As distribuições de probabilidade adoptadas para as duas mensurandas de interesse são, em regra, rectangulares centradas, baseadas em limites de variação obtidos de forma empírica, face à impossibilidade de se obter informação mais detalhada. A excepção ocorre no que se refere à componente de incerteza associada à calibração dos instrumentos de medição utilizados, a qual resulta da aplicação da Lei de Propagação de Incertezas, aplicando-se o Teorema do Limite Central, o que permite considerar que a distribuição de probabilidade aplicável é Gaussiana.

Com efeito, a aplicação da Lei de Propagação de Incertezas pelo método GUM, mediante o recurso à expressão (2), determina que a incerteza-padrão associada à estimativa da distância de propagação de chama (150 mm) corresponda a $\pm 2,2 \text{ mm}$ enquanto que a incerteza-padrão da estimativa de duração total do ensaio é de $\pm 0,5 \text{ s}$. Assumindo um número elevado de graus de liberdade e considerando válida a aplicação do Teorema do Limite Central, as respectivas incertezas expandidas, num intervalo de confiança de 95 %, correspondem, respectivamente, a $\pm 4,4 \text{ mm}$ e $\pm 1,0 \text{ s}$.

4 CONCLUSÕES E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo permitiu efectuar a avaliação das incertezas de medição associadas às estimativas das grandezas distância de propagação de chama e duração total do ensaio mediante a caracterização metrológica realizada no contexto do *ensaio de ignitabilidade* executado pelo LNEC/LERF.

A tabela seguinte exprime as incertezas de medição obtidas evidenciando-se, deste modo, o grau de qualidade das medições efectuadas no ensaio de reacção ao fogo em estudo, aspecto essencial no contexto da acreditação de laboratórios do LNEC no Sistema Português da Qualidade.

Tabela 3: Incertezas de medição associadas às estimativas das mensurandas de interesse.

Grandeza	Estimativa	Incerteza-padrão	Incerteza expandida (95 %)
Distância de propagação de chama	150 mm	$\pm 2,2$ mm	$\pm 4,4$ mm
Duração total do ensaio	20 s / 60 s	$\pm 0,5$ s	$\pm 1,0$ s

A quantificação da incerteza de medição associada a ambas as estimativas citadas baseou-se na aplicação do método GUM, o qual revelou-se apropriado atendendo à linearidade dos modelos matemáticos representativos dos respectivos processos de medição directa das grandezas objecto de estudo.

VISTOS

O Director do CIC,




Francisco Carvalhal
Investigador Coordenador

AUTORIA



Luís Filipe Lages Martins
Eng.º Mecânico
Bolsheiro de Iniciação à Investigação Científica



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

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] NP EN ISO/IEC 17025:2005 – Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração, 2ª edição. Lisboa (Portugal): Instituto Português da Qualidade (IPQ), Dezembro de 2005.
- [2] ISO 11925-2:2002 – Reaction to fire tests – Ignitability of building products subjected to direct impingement of flame – Part 2: Single-flame source test. Genève (Suíça): International Organisation for Standardization (ISO), 2002.
- [3] NP EN 13501-1:2004 – Classificação do desempenho face ao fogo de produtos e de elementos de construção – Parte 1: Classificação utilizando resultados de ensaios de reacção ao fogo. Lisboa (Portugal): Instituto Português da Qualidade (IPQ), Dezembro de 2004.
- [4] *ES 1 – Ensaio de Ignitabilidade – Procedimentos Gerais (versão 01)*. Lisboa (Portugal): Laboratório de Ensaios de Reacção ao Fogo – Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC/LERF), Janeiro de 2007.
- [5] *Guide for the Expression of Uncertainty of Measurement (GUM)*. Genève (Suíça): International Organization for Standardization (ISO), 1993, re-editado em 1995.

