



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

**VALIDAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ENSAIO
E REVISÃO DAS MELHORES CAPACIDADES DE
MEDIÇÃO DA UNIDADE DE REAÇÃO AO FOGO
DO LNEC-EM: ENSAIO DE IGNITABILIDADE
BASEADO NA NORMA ISO 11925-2:2020**



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

VALIDAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ENSAIO E REVISÃO DAS MELHORES CAPACIDADES DE MEDIÇÃO DA UNIDADE DE REAÇÃO AO FOGO DO LNEC-EM: ENSAIO DE IGNITABILIDADE BASEADO NA NORMA ISO 11925-2:2020

Estudo realizado por solicitação do Departamento
de Edifícios do LNEC

Lisboa • dezembro 2022

OAC&T INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

RELATÓRIO 354/2022 – CIC/NQM

Título

VALIDAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ENSAIO E REVISÃO DAS MELHORES CAPACIDADES DE MEDIÇÃO DA UNIDADE DE REAÇÃO AO FOGO DO LNEC-EM: ENSAIO DE IGNITABILIDADE BASEADO NA NORMA ISO 11925-2:2020

Autoria

CENTRO DE INSTRUMENTAÇÃO CIENTÍFICA

Álvaro Silva Ribeiro

Investigador Auxiliar, Chefe do Núcleo de Qualidade Metrológica

Luís Filipe Lages Martins

Investigador Auxiliar, Núcleo de Qualidade Metrológica

Ricardo André Cardoso Mendes

Técnico Superior, Núcleo de Qualidade Metrológica

Catarina Isabel Ferreira Simões

Bolseira de Doutoramento, Núcleo de Qualidade Metrológica

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 354/2022

Proc. 0904/1301/0797503

VALIDAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE ENSAIO E REVISÃO DAS MELHORES CAPACIDADES DE MEDIÇÃO DA UNIDADE DE REAÇÃO AO FOGO DO LNEC-EM: ENSAIO DE IGNITABILIDADE BASEADO NA NORMA ISO 11925-2:2020

Resumo

O presente documento contém um enquadramento do procedimento e dos requisitos expostos na norma de referência ISO 11925-2 dedicada ao ensaio de ignitabilidade, o qual faz parte dos ensaios acreditados do LNEC realizados na Unidade de Reação ao Fogo (URF) do LNEC-EM. A identificação e validação das condições que permitem a realização do ensaio mencionado são efetuadas neste relatório, destacando-se neste contexto a apresentação de resultados da avaliação da conformidade relativamente aos requisitos que se encontram na norma de referência, bem como, as incertezas expandidas associadas às grandezas mensuráveis que são apresentadas como resultado do ensaio.

Palavras-chave: Ensaio de ignitabilidade / Ensaio de reação ao fogo / Melhores capacidades de medição / Incerteza de medição

VALIDATION OF THE TESTING CONDITIONS AND REVISION OF THE BEST MEASUREMENT CAPABILITIES OF THE REACTION TO FIRE TESTING UNIT OF LNEC-EM: IGNITABILITY TEST BASED ON THE STANDARD ISO 11925-2:2020

Abstract

This document contains a framework of the procedure and requirements set out in the ISO 11925-2 reference standard dedicated to performing the ignitability test, which is part of the LNEC accredited tests carried out at the Fire Reaction Laboratory (URF) of LNEC-EM.

The identification and validation of the conditions that support the mentioned test are shown in this report. Noteworthy is the presentation of the results obtained from the conformity assessment regarding compliance with the requirements of the reference standard and the extended uncertainties associated with the measurable quantities displayed as the result of the test.

Keywords: Ignitability test / Reaction to fire testing / Best measurement capabilities / Measurement uncertainty

Índice

1	Introdução	1
2	Especificações do ensaio de ignitabilidade baseado na norma ISO 11925-2.....	3
2.1	Instalações	3
2.2	Equipamentos de ensaio e materiais de referência consumíveis	3
2.3	Padrões de verificação da chama.....	7
3	Preparação dos provetes e amostra	9
4	Procedimento de Ensaio	10
4.1	Operações preliminares do ensaio	10
4.2	Operações do ensaio	10
4.2.1	Ensaio com exposição superficial	11
4.2.2	Ensaio com exposição na aresta	11
4.3	Duração do ensaio	11
4.4	Resultados experimentais	11
5	Critérios de validação dos requisitos metrológicos de ensaio	12
6	Avaliação das melhores capacidades de medição no ensaio de ignitabilidade	16
7	Considerações finais	19
	Referências bibliográficas	21

Índice de figuras

Figura 2.1 – Descrição dos elementos e dimensões constituintes da câmara de combustão	3
Figura 2.2 – Exemplo de uma câmara de combustão	4
Figura 2.3 – Especificações dimensionais do queimador	4
Figura 2.4 – Imagem de um queimador instalado no suporte de deslocação próximo do suporte de provetes	5
Figura 2.5 – Representação (vista lateral) do suporte com um provete instalado e do posicionamento do queimador em ensaio	6
Figura 2.6 – Espaçador (padrão dimensional) para avaliação da altura da chama.....	7
Figura 2.7 – Espaçador (padrão dimensional) para avaliação da distância para imposição da chama no ensaio aplicado na aresta	7
Figura 2.8 – Espaçador (padrão dimensional) para avaliação da distância para imposição da chama no ensaio aplicado na superfície	8
Figura 5.1 – Comparação com limite superior de tolerância.....	13

Índice de quadros

Quadro 5.1 – Requisitos de conformidade explicitados na norma de ensaio ISO 11925-2:2020	12
Quadro 5.2 – Valores experimentais obtidos e avaliação da conformidade	15
Quadro 6.1 – Componentes de incerteza associada à grandeza distância de propagação da chama	17
Quadro 6.2 – Componentes de incerteza associada à grandeza intervalo de tempo de ensaio	17
Quadro 6.3 – Balanço da incerteza de medição da grandeza distância de propagação da chama	18
Quadro 6.4 – Balanço da incerteza de medição da grandeza intervalo de tempo de ensaio	18

1 | Introdução

No Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) coexistem diversas Unidades Operativas que desenvolvem uma atividade experimental relevante, enquadrada num Sistema de Gestão (da Qualidade) comum, onde se integra numa estrutura organizacional de natureza funcional, designada por LNEC – Ensaio e Metrologia (LNEC-EM).

Os ensaios laboratoriais desenvolvidos pelas Unidades Operativas do LNEC-EM incorporam, na sua maioria, a medição de grandezas físicas e, conseqüentemente, necessitam de evidenciar procedimentos e estudos que garantem o cumprimento dos requisitos da qualidade para a expressão dos resultados dessa medição, ou seja, das suas estimativas e respetivas incertezas.

O Núcleo de Qualidade Metrológica (NQM), inserido no Centro de Instrumentação Científica, é um setor do LNEC com competências atribuídas que visam promover estudos de caracterização metrológica, quer relacionados com métodos de ensaio e de calibração, quer com os instrumentos e sistemas de medição. A colaboração do NQM com outros setores do LNEC é traduzida na concretização de estudos de diferentes naturezas, destacando-se nessa diversidade estudos de avaliação das incertezas de medição associadas às grandezas (de entrada, intermédias e de saída) medidas em ensaios realizados pelas Unidades Operativas do LNEC-EM.

O presente estudo tem como objetivo identificar os principais requisitos metrológicos que se encontram definidos na norma (ISO 11925-2; 2020) aplicável ao ensaio de Ignitabilidade de produtos sujeitos à imposição direta de chama, realizado pela Unidade de Reação ao Fogo, inserida hierarquicamente no Núcleo de Revestimentos e Isolamentos do Departamento de Edifícios do LNEC. Tratando-se de uma Unidade Operativa integrada no Sistema de Gestão da Qualidade do LNEC-EM, este estudo permite também cumprir um requisito normativo importante que decorre da aplicação da norma de referência (NP EN ISO/IEC 17025; 2018), onde se encontram os requisitos gerais de competência que os laboratórios de ensaio e calibração devem respeitar.

O Método de ensaio de reação ao fogo designado por *Ignitabilidade de produtos sujeitos à imposição direta de chama – parte 2 relativa à aplicação de uma fonte de chama única* (ISO 11925-2; 2020), contém a descrição de um método de ensaio que visa avaliar a ignitabilidade, uma propriedade que reflete o desempenho de produtos face à imposição de uma única chama de pequena dimensão aplicada verticalmente ao espécime que constitui o objeto de ensaio (adiante designado por provete).

A descrição do ensaio na referida norma indica que, em rigor, o objetivo do ensaio consiste em efetuar a medição da dispersão no provete de uma pequena chama no sentido ascendente vertical do provete onde se aplica uma chama (fonte de ignição) de dimensão equivalente à de um fósforo, na superfície ou na aresta lateral do provete, durante intervalos de tempo de 15 s e de 30 s.

Adicionalmente, a determinação de gotículas e partículas e a ignição deste por essa via, poderão ser avaliadas usando um papel de filtro colocado num tabuleiro por baixo do provete sujeito ao ensaio.

De acordo com a norma de ensaio, existem as seguintes referências suplementares a considerar:

- EN 13238:2010 – Reaction to fire tests for building products. Conditioning procedures and general rules for selection of substrates.
- ISO 13943:2017 – Fire safety – Vocabulary.
- ISO 14697:2007 – Reaction-to-fire tests – Guidance on the choice of substrates for building and transport products.

Acerca da especificidade do material que constitui o produto a ensaiar, refira-se a sua natureza plana (designada por *flat product*) que deverá ter uma das seguintes características:

- a. uma superfície de exposição plana; e
- b. uma superfície de exposição plana com irregularidade superficial distribuída uniformemente na superfície de exposição, assegurando-se que:
 - tenha pelo menos 50 % da superfície com uma área quadrada representativa de 250 mm x 250 mm, e uma espessura de 6 mm, de um plano tomado ao longo dos pontos mais elevados da superfície de exposição; ou
 - para uma superfície contendo rachas, fissuras ou buracos, que estes não excedam 6,5 mm de largura ou 10 mm de profundidade, e que a área total destas na superfície não exceda 30 % de uma superfície com uma área quadrada representativa de 250 mm x 250 mm da superfície de exposição.

No que se refere à determinação das melhores capacidades de medição, estas refletem a qualidade da medição que se traduz na avaliação das incertezas de medição que se consegue obter nas melhores condições de ensaio. Este elemento assume particular importância, por se utilizar o valor da incerteza no contexto da avaliação da conformidade que, no caso presente, é aplicável na subsequente classificação dos produtos sujeitos a ensaio.

Refira-se, adicionalmente, que a revisão das incertezas de medição associadas à realização do ensaio na Unidade de Reação ao Fogo do LNEC-EM, que se promove neste estudo, se insere na revisão periódica que se desenvolve nas Unidades Operativa do LNEC-EM, cumprindo os requisitos da (NP EN ISO/IEC 17025:2018), designadamente, quando existem atualizações da norma de ensaio que suporta a acreditação do ensaio, quando existem alterações nas condições de ensaio associadas à alteração da incerteza associada à calibração dos equipamentos, modificação dos equipamentos de ensaio, alteração dos operadores que executam o ensaio ou outras condições que afetem a qualidade dos resultados da medição.

Os Capítulos que se seguem apresentam uma descrição das especificações da norma de referência adotada para este ensaio, elementos sobre a amostra experimental, uma breve descrição do procedimento de ensaio, os critérios de validação dos requisitos metrológicos de ensaio e a determinação das melhores capacidades de medição associadas a este ensaio, concluindo com a aplicação dos cálculos para os dados experimentais específicos da Unidade de Reação ao Fogo do LNEC-EM, assegurando o cumprimento dos requisitos para a acreditação deste ensaio no LNEC.

2 | Especificações do ensaio de ignitabilidade baseado na norma ISO 11925-2

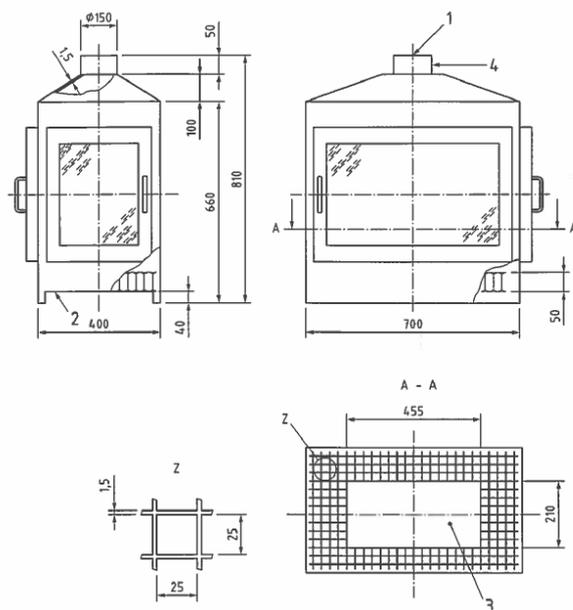
2.1 Instalações

A sala laboratorial para realização dos ensaios requer o cumprimento de condições ambientais incluindo a temperatura no intervalo de valores dado por $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$ e a humidade relativa no intervalo de valores dado por $(50 \pm 20) \%$.

2.2 Equipamentos de ensaio e materiais de referência consumíveis

Os equipamentos de ensaio e materiais de referência consumíveis devem cumprir os seguintes requisitos.

Câmara de combustão – Das características técnicas construtivas descritas na norma ISO 11925-2, 2020) e reproduzidas nas Figura 2.1 e Figura 2.2, realça-se, no contexto metrológico, os requisitos associados à extração do ar da câmara de combustão, sendo exigida a medição da velocidade do ar observada no eixo central da conduta de extração da câmara de combustão, com uma exatidão de $(0,7 \pm 0,1) \text{ m/s}$, efetuando-se a medição em condições de ignição apenas do queimador e com a cobertura da chaminé da conduta de extração na posição “on”.



Legenda

- 1 – Posição de medição da velocidade do ar
- 2 – Malha da grelha de metal
- 3 – Placa horizontal
- 4 – Chaminé

Nota: todas as dimensões representam os valores nominais em mm exceto se forem dadas tolerâncias

Figura 2.1 – Descrição dos elementos e dimensões constituintes da câmara de combustão



Figura 2.4 – Imagem de um queimador instalado no suporte de deslocação próximo do suporte de provetes
(Fonte: <https://www.concept-e.co.uk/products/ignitability-chamber/>)

Combustível – É constituído por gás propano comercial com 95 % de pureza (mínimo). Deverá assegurar-se uma pressão do gás entre 10 kPa e 50 kPa de forma a obter uma estabilidade adequada da chama quando o queimador se encontra na posição de inclinação de 45 °.

Suporte do provete – É constituído por um suporte com duas molduras em aço com forma U, com espessura de (5 ± 1) mm, para fixação do provete na posição vertical permitindo a exposição direta deste ao queimador no seu eixo vertical central e nas suas extremidades (aresta), conforme requisito para os ensaios pretendidos. A norma de referência prevê as condições específicas para provetes com multicamadas, bem como, para a montagem e fixação de material de enchimento solto.

Estrutura de suporte – Consiste numa estrutura constituída por um suporte vertical ao qual se fixa o suporte do provete assegurando a posição vertical deste, de forma a permitir a exposição do provete à ação direta do queimador.

Deve-se assegurar que a distância entre a face inferior do provete e a parte superior da placa horizontal acima da grelha metálica seja de (125 ± 10) mm, para a imposição da chama na aresta, e (85 ± 10) mm, para a imposição da chama na superfície.

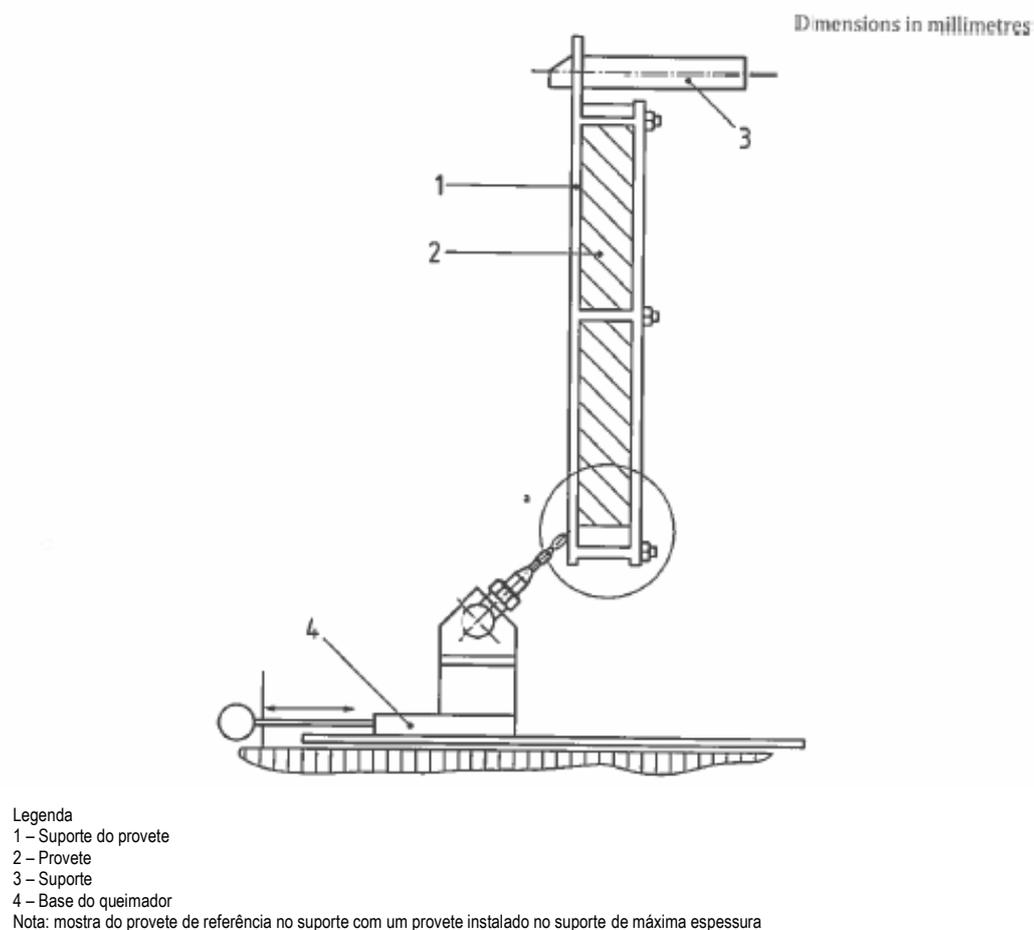


Figura 2.5 – Representação (vista lateral) do suporte com um provete instalado e do posicionamento do queimador em ensaio

Instrumento para medição do tempo – Consiste num equipamento com capacidade de medição do intervalo de tempo com resolução de 1 s e com exatidão de 5 s em 1 h.

Placa metálica (*template*) – Deverá ter dimensões de comprimento entre 249 mm e 250 mm e de largura entre 89 mm e 90 mm.

Anemómetro – Trata-se de um anemómetro térmico ou de fio quente, destinado a medir a velocidade de escoamento do ar na saída superior da conduta de extração da câmara de combustão, com uma exatidão de $\pm 0,1$ m/s.

Papel de filtro e bandeja – O papel de filtro deverá ser novo e não tingido, com massa por unidade de área equivalente a (75 ± 15) g/m², e com um teor de cinzas inferior a 0,1 %. A bandeja deverá ter dimensões de 100 mm por 50 mm e 10 mm de profundidade, em folha de alumínio. A bandeja deverá ser colocada por baixo do provete e deve ser substituída entre ensaios.

A norma prevê, ainda, a utilização de um método que permita ao operador observar em simultâneo as duas faces do provete durante o ensaio, sugerindo a utilização de um espelho e mencionando o cuidado no sentido da colocação deste não prejudicar o fluxo normal do ar e de produtos da combustão e deverá ter em consideração as condições de iluminação para uma adequada observação.

2.3 Padrões de verificação da chama

Os padrões de verificação da chama devem cumprir os seguintes requisitos.

Padrão dimensional de altura da chama – Trata-se de um padrão para verificação da altura da chama de 20 mm utilizando como ponto de referência um ponto fixo do queimador (Figura 2.6). A tolerância para o equipamento deverá ser de $\pm 0,1$ mm. A altura da chama mede-se desde o topo do queimador até à ponta amarela da chama e deverá ser repetida antes do ensaio de cada provete.

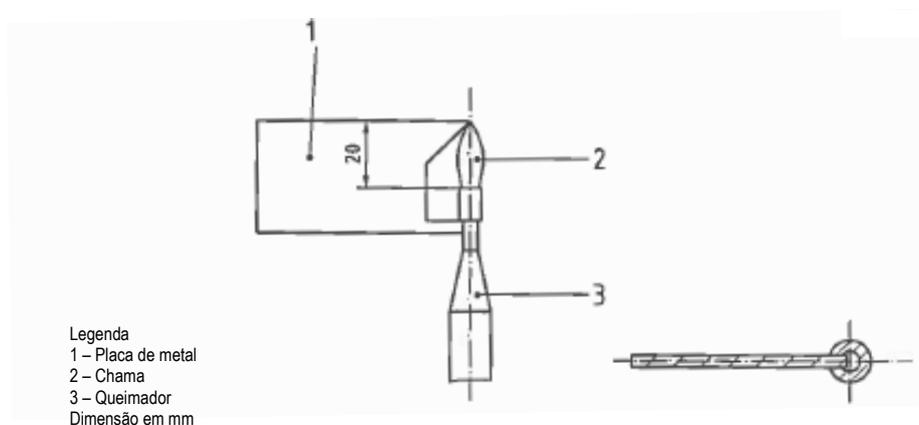


Figura 2.6 – Espaçador (padrão dimensional) para avaliação da altura da chama

Padrão dimensional espaçador aplicado na imposição da chama na aresta do provete – Trata-se de um espaçador amovível de 16 mm, que é montado no orifício do queimador para verificar a distância ao ponto de contacto da chama pré-definido na aresta do provete.

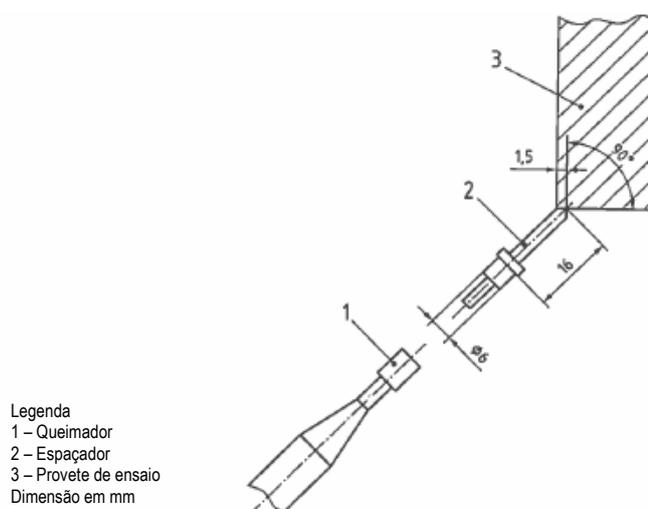


Figura 2.7 – Espaçador (padrão dimensional) para avaliação da distância para imposição da chama no ensaio aplicado na aresta

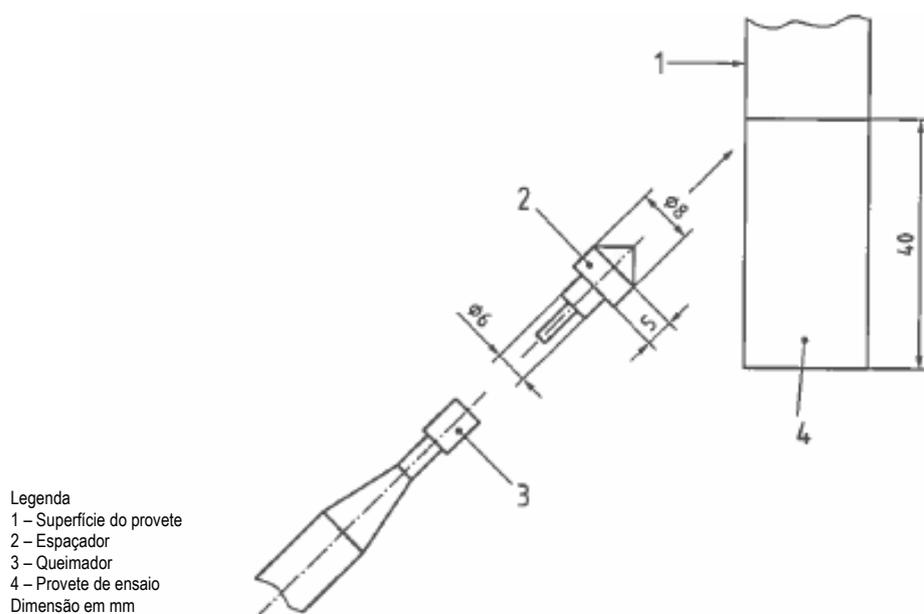


Figura 2.8 – Espaçador (padrão dimensional) para avaliação da distância para imposição da chama no ensaio aplicado na superfície

Padrão dimensional espaçador aplicado na imposição da chama na superfície do provete – Trata-se de um espaçador removível de forma cónica, de 5 mm, que é montado no orifício do queimador para verificar a distância ao ponto de contacto da chama pré-definido na superfície do provete.

3 | Preparação dos provetes e amostra

A norma de referência indica as condições de preparação dos provetes destacando-se neste contexto as suas dimensões de corte, de (250 ± 2) mm de comprimento por (90 ± 2) mm de largura. Existem condições específicas para espessura superior a 60 mm e para provetes com superfícies irregulares.

A amostra deve ser constituída por pelo menos 6 provetes, três dos quais obtidos com cortes longitudinais e três com cortes transversais.

Os provetes e o papel de filtro devem ser condicionados de acordo com o previsto na EN 13238:2010 designada por: *Reaction to fire tests for building products - Conditioning procedures and general rules for selection of substrates*.

4 | Procedimento de Ensaio

O procedimento de ensaio prescrito na norma de referência contempla duas partes: as operações preliminares e as operações de ensaio.

4.1 Operações preliminares do ensaio

A realização de um conjunto de operações preliminares visa assegurar as condições de referência para o ensaio, identificando-se os aspetos essenciais desta parte do procedimento conforme disposto na lista que se segue:

- verificação da velocidade de escoamento na chaminé da câmara de combustão;
- remoção dos seis provetes e do papel de filtro do ambiente condicionado devendo o ensaio decorrer num intervalo de tempo de 30 min; caso seja necessário, a transferência dos provetes do ambiente condicionado para o equipamento de ensaio deve ser realizada num recipiente hermético;
- fixação do provete do suporte apropriado, assegurando o enquadramento adequado da moldura do suporte e a distância de 30 mm entre a base do suporte e a zona de exposição do provete (considera-se útil que o operador faça a marcação das posições de referência no suporte do provete, de forma a facilitar o posicionamento deste no equipamento de ensaio e a repetibilidade deste processo em ensaios distintos);
- verificação das distâncias entre o queimador e o provete usando os espaçadores mencionados anteriormente na descrição dos padrões aplicáveis, considerando a colocação do queimador na posição de ensaio com inclinação de 45 ° relativamente ao eixo vertical; e
- colocação de dois papeis de filtro na bandeja de alumínio por baixo do provete em ensaio, antecipadamente, não ultrapassando 3 min antes do início do ensaio.

4.2 Operações do ensaio

A norma de referência avisa acerca do risco associado à realização dos ensaios de reação ao fogo, devendo assegurar-se as adequadas condições de segurança, incluindo para a saúde dos operadores envolvidos. Neste contexto, é feita a recomendação da existência de instruções escritas detalhadas acerca do processo de ensaio, treino apropriado para os operadores envolvidos e a existência de meios nomeadamente para extinção de fogo.

As etapas da realização do ensaio são as seguintes:

- Acender o queimador na posição vertical até à estabilização da chama. Ajustamento da válvula do queimador até atingir uma altura de chama de 20 mm, usando o espaçador para este efeito (a realizar antes da realização de cada ensaio). A operação deverá ser executada afastada da

posição de realização do ensaio com o provete visando evitar a imposição accidental da chama ao provete de ensaio.

- Colocar o queimador numa posição inclinada de 45 ° com o eixo vertical e promover o avanço do suporte deste, no sentido horizontal, aproximando-o do provete de ensaio até à distância pré-definida para a realização do ensaio.
- Efetuar o início da contagem de tempo no instante em que o queimador é colocado em contacto com o provete, aplicando a chama durante 15 s ou 30 s conforme requisito especificado pelo promotor do ensaio e retirar o queimador dessa posição de forma contínua e suave.
- Tomar em consideração o efeito do erro de paralaxe na avaliação da altura máxima da chama.

São aplicáveis duas condições de exposição do provete, designadamente, a aplicação superficial da chama ou aplicação na aresta.

4.2.1 Ensaio com exposição superficial

No contexto de produtos com superfície plana, o ensaio implica a aplicação da chama no eixo central do provete, 40 mm acima da aresta inferior do provete. Aplicável a todos os provetes a ensaiar.

4.2.2 Ensaio com exposição na aresta

O ensaio com exposição a chama na aresta é descrito na norma de ensaio considerando a possibilidade e existência de uma camada ou várias camadas constituintes do produto (com superfície plana) a ensaiar, com espessura total ≤ 3 mm. A chama deve ser aplicada na posição média da aresta inferior do provete. No caso de provetes com espessura superior a 3 mm, a chama deverá ser aplicada no centro da profundidade da aresta inferior do provete a 1,5 mm da superfície frontal. Este ensaio não se aplica a produtos cujas arestas, na aplicação final, não se encontrem expostas ao fogo.

Encontram-se na norma de referência as especificações para o ensaio de provetes de produtos multicamada com espessura superior a 10 mm, bem como as condições específicas associadas à natureza das camadas (e.g., com uma camada de superfície inferior a 1 mm).

4.3 Duração do ensaio

A aplicação da chama durante o intervalo de tempo de 15 s implica que a duração total do ensaio decorra durante 20 s desde o início da aplicação da chama. De igual forma, o intervalo de tempo de 30 s implica que a duração total do ensaio decorra durante 60 s desde o início da aplicação da chama.

4.4 Resultados experimentais

Os resultados expectáveis do ensaio consistem em identificar a distância observada de propagação da chama acima do ponto de aplicação da chama pelo queimador, em instantes de tempo observados durante o intervalo de tempo do ensaio. Em particular, pretende-se verificar se a chama ultrapassa o limite de 150 mm e, caso aconteça, qual o instante de tempo em que essa situação ocorre.

5 | Critérios de validação dos requisitos metrológicos de ensaio

A realização do ensaio de ignitabilidade pressupõe o cumprimento de um conjunto de requisitos metrológicos apresentados nas secções anteriores, fazendo-se no Quadro 5.1 a sua síntese.

Quadro 5.1 – Requisitos de conformidade explicitados na norma de ensaio ISO 11925-2:2020

Aplicação	Grandeza mensurável	Tolerância / limite estabelecida na norma de ensaio
Sala laboratorial	Temperatura	$(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$
Sala laboratorial	Humidade relativa	$(50 \pm 20) \%$
Câmara de combustão – conduta de extração	Velocidade de escoamento do ar	$(0,7 \pm 0,1) \text{ m/s}$
Combustível (propano)	Grau de pureza	95 % mínimo
Combustível (propano)	Pressão	Compreendida entre 10 kPa e 50 kPa
Suporte do provete	Espessura	$(5 \pm 1) \text{ mm}$
Distância entre a face inferior do provete e a parte superior da placa horizontal acima da grelha metálica	Distância (para imposição da chama na aresta)	$(125 \pm 10) \text{ mm}$
Distância entre a face inferior do provete e a parte superior da placa horizontal acima da grelha metálica	Distância (para imposição da chama na superfície)	$(85 \pm 10) \text{ mm}$
Medição de intervalos de tempo	Tempo	Resolução de 1 s e com exatidão de 5 s em 1 h
Placa metálica (gabarito)	Dimensões (comprimento e largura)	Comprimento entre 249 e 250 mm e de largura entre 89 mm e 90 mm
Anemómetro (térmico ou de fio quente)	velocidade de escoamento do ar	Exatidão de $\pm 0,1 \text{ m/s}$
Papel de filtro	Massa por unidade de área	$(75 \pm 15) \text{ g/m}^2$
Papel de filtro	Teor de cinza (%)	Valor inferior a 0,1 %
Padrão para verificação da altura da chama	Comprimento	Dimensão de 20 mm com tolerância de $\pm 0,1 \text{ mm}$
Padrão dimensional espaçador aplicado na imposição da chama na aresta do provete	Comprimento	Dimensão de 16 mm s/ tolerância especificada
Padrão dimensional espaçador aplicado na imposição da chama na superfície do provete	Comprimento	Dimensão de 5 mm s/ tolerância especificada

A validação das especificações deverá ser efetuada aplicando *regras de decisão* (ILAC G17, 2021), considerando que, para esse efeito, é necessário conhecer a incerteza de medição (expandida) associada às respetivas medições para as comparar usando regras de decisão que incorporam as tolerâncias ou limites prescritos na norma de referência.

As estimativas associadas às grandezas de interesse são obtidas, em regra, com recurso a equipamentos e padrões de medição, e as respetivas incertezas de medição podem ser obtidas com recurso a certificados de calibração emitidos por laboratórios com acreditação, certificados de materiais de referência certificados ou estudos de natureza experimental.

A aplicação da regra de decisão neste contexto insere-se na avaliação da conformidade considerando um valor superior de tolerância e não existência de banda de segurança. Neste caso, usando o descrito em (EUROLAB; 2017), dado o valor do limite superior de tolerância, T_U , e designando a estimativa da medição da grandeza de interesse por, y , com uma incerteza-padrão de medição, $u(y)$, a regra de decisão define a probabilidade de conformidade (P_C) assumindo que a probabilidade do erro tipo I é (α), sendo determinada aplicando o seguinte teste de hipóteses:

Aceitação se a hipótese inicial $H_0: P(Y \leq T_U) \geq (1 - \alpha)$ é verdadeira; e

Rejeição se a hipótese H_0 é falsa, $P(Y \leq T_U) < (1 - \alpha)$.

A expressão do teste é a seguinte: $P_C = P(\eta \leq T_U) = \Phi\left(\frac{T_U - y}{u(y)}\right)$

Considerando o valor de aceitação de $(1 - \alpha)$ correspondente a 95 %, significa que o resultado do teste deverá ter um valor superior a 95 %. A aplicação prática do teste consiste em utilizar a função *normdist* do MS Excel, com a seguinte descrição de variáveis:

NORMDIST(x, mean, standard deviation, cumulative)

onde x representa o valor da tolerância (limite superior), *mean* representa a estimativa da grandeza, *standard deviation* representa a incerteza-padrão associada à estimativa da grandeza e *cumulative* substitui-se pela informação "TRUE". Nestas condições a função mencionada determina e fornece a probabilidade acumulada inferior à tolerância indicada.

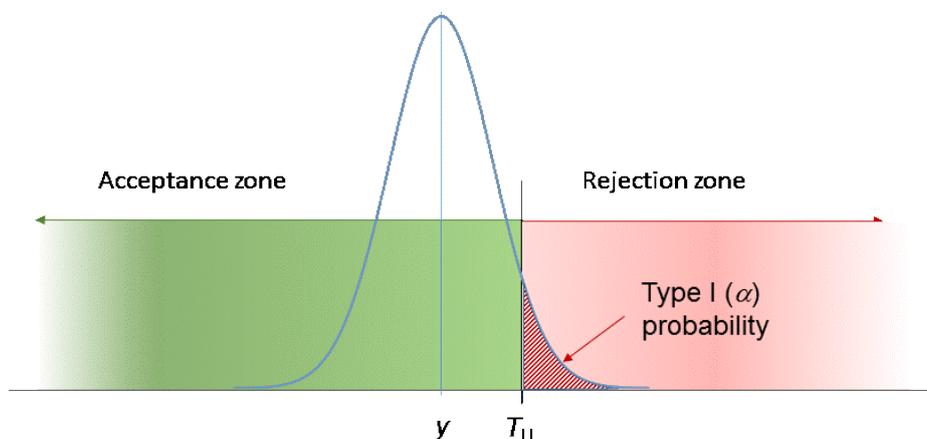


Figura 5.1 – Comparação com limite superior de tolerância (Fonte: EUROLAB aisbl)

A avaliação da conformidade dos componentes para o ensaio de Ignitabilidade que requerem a medição de grandezas dimensionais, no caso da Unidade de Reação ao Fogo do LNEC-EM, toma em consideração o certificado de calibração 0427/2022 – UMA, de 4 de agosto de 2022, contendo os valores das medições efetuadas e respectivas incertezas de medição expandidas (para um intervalo de confiança de 95 %).

O Quadro 5.2 contém a avaliação da conformidade associada ao equipamento, componentes, consumíveis e materiais de referência.

No que se refere às condições ambientais, a avaliação é efetuada monitorizando as condições de ensaio, utilizando equipamentos de medição de temperatura e humidade relativa calibrados por uma entidade com acreditação para essa operação, e com níveis de exatidão compatíveis com a verificação pretendida, como exposto no Quadro 2. Neste caso, a URF utiliza como equipamento de referência para as medições de temperatura e humidade relativa o termohigrómetro Rotronic Hygropalm (Id. LNEC 0803AE009), o qual tem como certificado de calibração mais recente o certificado 0080/2021 da Unidade de Metrologia Aplicada do LNEC-EM, entidade acreditada para este efeito.

A medição da velocidade de escoamento na conduta é efetuada com um anemómetro calibrado por uma entidade com acreditação para essa operação, e com níveis de exatidão compatíveis com a verificação pretendida.

O combustível consumido no processo contém um nível de pureza certificado de 92%, compatível com a oferta comercial que cumpre os regulamentos nacionais aplicáveis, considerando-se que este valor permite a realização do ensaio sem afetar os resultados da medição.

A medição da pressão do combustível fornecido ao sistema é efetuada usando um manómetro de marca Boldrin (Id. LNEC 0803AE030B) calibrado pela Unidade de Metrologia Aplicada do LNEC-EM, entidade com acreditação para a realização dessa operação, usando um calibrador pneumático de referência. O certificado de calibração 0437/2022-UMA exhibe desvios máximos de exatidão de 0,01 bar e incerteza expandida (95%) de 0,008 8 bar. A validação do cumprimento dos requisitos efetua-se no decurso da execução do ensaio.

As componentes do equipamento de ensaio sujeitas a requisitos dimensionais na norma de ensaio foram objeto de ensaio metrológico efetuado pela Unidade de Metrologia Aplicada do LNEC-EM, a qual encontra-se acreditada para esse efeito. Os resultados que são transpostos para o Quadro 5.2 encontram-se no certificado de calibração 0481/2022-UMA, tendo sido usado como padrão de referência para a rastreabilidade dos resultados uma máquina de medição ótica 3D.

Quadro 5.2 – Valores experimentais obtidos e avaliação da conformidade

Aplicação	Grandeza e tolerância	Estimativa e incerteza expandida	Avaliação da conformidade
Sala laboratorial	Temperatura: $(23 \pm 5) ^\circ\text{C}$	Observado no ensaio por equipamento dedicado. Inc. exp. (95%) de $0,7 ^\circ\text{C}$	Conformidade avaliada por registos durante o ensaio
Sala laboratorial	Humidade Relativa: $(50 \pm 20) \%$	Observado no ensaio por equipamento dedicado, com incerteza exp. (95%) de 2%	Conformidade avaliada por registos durante o ensaio
Câmara de combustão – conduta de extração	Velocidade de escoamento do ar: $(0,7 \pm 0,1) \text{ m/s}$	Equipamento calibrado em entidade externa de acordo com requisito de exatidão específico para a incerteza	Conformidade avaliada por registos durante o ensaio
Combustível (propano)	Grau de pureza: 95 % mínimo	Propano dispendo de nível de pureza comercial em Portugal / 92 % pureza	Considera-se que as condições aplicadas não afetam o desempenho do sistema e os resultados
Combustível (propano)	Pressão: valor compreendido entre 10 kPa e 50 kPa	Observado no ensaio com incerteza exp. (95%) de $8,8 \cdot 10^3 \text{ bar}$	Conformidade avaliada por registos durante o ensaio
Papel de filtro	Massa por unidade de área. $(75 \pm 15) \text{ g/m}^2$	Ensaio experimental: $(85 \pm 5) \text{ g/m}^2$	Em conformidade
Papel de filtro	Teor de cinza (percentagem). Inferior a $0,1 \%$	Equivalente a $0,07 \%$ por declaração do fabricante	Em conformidade
Suporte do provete	Espessura: $(5 \pm 1) \text{ mm}$	$(4,980 \pm 0,014) \text{ mm}$	Em conformidade
Distância entre a face inferior do provete e a parte superior da placa horizontal acima da grelha metálica	Distância (para imposição da chama na aresta): $(125 \pm 10) \text{ mm}$	Marcação efetuada no provete de ensaio usando uma bitola com largura de 125 mm. estimativa: $(119,7 \pm 1,2) \text{ mm}$	Em conformidade
Distância entre a face inferior do provete e a parte superior da placa horizontal acima da grelha metálica	Distância (para imposição da chama na superfície): $(85 \pm 10) \text{ mm}$	Marcação efetuada no provete de ensaio usando uma bitola com largura de 85 mm. estimativa: $(79,3 \pm 1,2) \text{ mm}$	Em conformidade
Placa metálica (<i>template</i>)	Dimensões: comprimento entre 249 e 250 mm e de largura entre 89 mm e 90 mm	$(249,925 \pm 0,007) \text{ mm}$ $(90,03 \pm 0,14) \text{ mm}$	Em conformidade no comprimento, não-conforme na largura – a efetuar a correção da dimensão
Padrão para verificação da altura da chama	Comprimento: 20 mm com tolerância de $\pm 0,1 \text{ mm}$	$(19,965 \pm 0,078) \text{ mm}$	Em conformidade
Padrão dimensional espaçador aplicado na imposição da chama na aresta do provete	Comprimento: 16 mm s/ tolerância especificada.	$(16,3482 \pm 0,0064) \text{ mm}$	N/ aplicável
Padrão dimensional espaçador aplicado na imposição da chama na superfície do provete	Comprimento: 5 mm s/ tolerância especificada		N/ aplicável

6 | Avaliação das melhores capacidades de medição no ensaio de ignitabilidade

O ensaio de Ignitabilidade tem como grandeza fundamental para a atribuição da classificação a dimensão a *distância de propagação da chama*, comparada com a distância de 150 mm tomada como valor limite, sendo observado se a propagação da chama atinge essa distância durante o intervalo de tempo de ensaio, que poderá ser de 20 s ou 60 s consoante a condição de exposição adotada.

Tendo em consideração o exposto, as grandezas mensuráveis que determinam o resultado do ensaio são a *distância de propagação da chama*, d_F , e a *duração total do ensaio*, Δt .

Em ambos os casos, os modelos matemáticos que representam as duas grandezas de interesse têm uma natureza linear que depende diretamente das contribuições para a incerteza de medição, assumindo respetivamente a forma seguinte:

$$d_F = \sum_{i=1}^N d_{F,i} \quad (1)$$

$$\Delta t_F = \sum_{j=1}^M t_j \quad (2)$$

Para se efetuar a avaliação da incerteza de medição, em cada caso, e dada a natureza linear dos modelos matemáticos (1) e (2), a aplicação do método convencional descrito no GUM (JCGM 100:2008) permite obter um resultado exato para a estimativa da incerteza. Para esse efeito, considera-se que a relação funcional tem a forma,

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_N) \quad (3)$$

onde y representa a grandeza de saída e x_i as N grandezas de entrada.

Obtendo-se uma estimativa da incerteza-padrão mediante a aplicação da lei de propagação de incertezas (4), simplificada para a expressão (5) assumindo que a componente de correlação entre as grandezas de entrada é desprezável ou nula.

$$u(y) = \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i) + 2 \sum_{i=1}^{N-1} \sum_{j=i+1}^N \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} u(x_i, x_j) \right]^{1/2} \quad (4)$$

$$u(y) = \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 \cdot u^2(x_i) \right]^{1/2} \quad (5)$$

onde $u(x_i)$ representa as incertezas-padrão associadas às grandezas de entrada e $u(x_i, x_j)$ representa a covariância entre os valores observados de pares de grandezas de entrada.

A determinação da incerteza expandida (95%), $U_{95}(y)$, admite a representação da função de distribuição de probabilidade t-Student para a grandeza de saída, considerando a quantificação dos graus de liberdade associados a cada uma das componentes de incerteza das grandezas de entrada, ν_i , e determina a sua estimativa (descrita na equação 6) multiplicando a incerteza-padrão da grandeza

de saída pelo fator de expansão, $t(v_{ef})$, determinado pela fórmula de Welch-Satterthwaite, conforme descrito no GUM (JCGM 100:2008),

$$U_{95}(y) = t(v_{ef}) \cdot u(y) \quad (6)$$

A determinação das componentes de incerteza aplicáveis para cada uma das grandezas mensuráveis resulta, numa primeira fase, da identificação das fontes de incerteza, da sua variabilidade e da função distribuição de probabilidade que caracteriza essa distribuição, sendo essa informação resumida nos Quadros 6.1 e 6.2.

Quadro 6.1 – Componentes de incerteza associada à grandeza distância de propagação da chama

Componentes de incerteza	Fontes de incerteza	Função densidade de probabilidade	Limites de variação	Fontes de informação
$d_{F,o}$	Posição de origem da medição	Retangular	$\pm 0,5$ mm	Estimativa empírica
$d_{F,m}$	Espessura da marcação de 150 mm	Retangular	$\pm 0,5$ mm	Estimativa empírica
$d_{F,cal}$	Calibração da escala graduada	Normal	$\pm 0,3$ mm	Certificado de calibração
$d_{F,res}$	Resolução da escala graduada	Retangular	$\pm 0,5$ mm	Escala graduada
$d_{F,px}$	Erro de paralaxe	Retangular	$\pm 0,25$ mm	Estimativa empírica

Quadro 6.2 – Componentes de incerteza associada à grandeza intervalo de tempo de ensaio

Componentes de incerteza	Fontes de incerteza	Função densidade de probabilidade	Limites de variação	Fontes de informação
t_o	Sincronização entre a imposição da chama na amostra e o início da contagem do tempo de ensaio	Retangular	$\pm 0,5$ s	Estimativa empírica
t_{cal}	Calibração do cronómetro	Retangular	$\pm 0,01$ s	Certificado de calibração
t_{res}	Resolução do cronómetro	Retangular	$\pm 0,01$ s	Estimativa empírica

O cálculo das incertezas expandidas associadas às grandezas de interesse é exposto nos Quadros 6.3 e 6.4 de balanço de incertezas.

Quadro 6.3 – Balanço da incerteza de medição da grandeza distância de propagação da chama

Grandezas de entrada X_i	Estimativas x_i	Incertezas-padrão de medição $u(x_i)$	Coefficientes de sensibilidade c_i	Contribuições para a incerteza de medição combinada $u_i(y)$	Graus de liberdade v_i
$d_{F,o}$	0 mm	$(0,50/\sqrt{3})$ mm	1	0,083 mm	50
$d_{F,m}$	0 mm	$(0,50/\sqrt{3})$ mm	1	0,083 mm	50
$d_{F,cal}$	150 mm	0,30 mm	1	0,30 mm	50
$d_{F,res}$	0 mm	$\left(\frac{0,50}{2}\right)/\sqrt{3}$ mm	1	0,021 mm	50
$d_{F,px}$	0 mm	$(0,25/\sqrt{3})$ mm	1	0,021 mm	50
d_F	150 mm	Incerteza-padrão de medição combinada		0,55 mm	
		Graus de liberdade efetivos		194	
		Fator de expansão		2,05	
		Incerteza de medição expandida (95 %)		1,1 mm	

Quadro 6.4 – Balanço da incerteza de medição da grandeza intervalo de tempo de ensaio

Grandezas de entrada X_i	Estimativas x_i	Incertezas-padrão de medição $u(x_i)$	Coefficientes de sensibilidade c_i	Contribuições para a incerteza de medição combinada $u_i(y)$	Graus de liberdade v_i
t_o	20 s	$(0,5/\sqrt{3})$ s	1	$2,9 \cdot 10^{-1}$ s	50
t_{cal}	20 s	$(0,01/\sqrt{3})$ s	1	$5,8 \cdot 10^{-3}$ s	50
t_{res}	20 s	$(0,005/\sqrt{3})$ s	1	$2,9 \cdot 10^{-3}$ s	50
Δt	20 s	Incerteza-padrão de medição combinada		$2,9 \cdot 10^{-1}$ s	
		Graus de liberdade efetivos		50	
		Fator de expansão		2,05	
		Incerteza de medição expandida (95 %)		$5,9 \cdot 10^{-1}$ s	

7 | Considerações finais

O presente estudo foi desenvolvido no contexto da atividade desenvolvida pelo Núcleo de Qualidade Metrológica (NQM) inserido no Centro de Instrumentação Científica do LNEC de consultoria avançada prestada às Unidades laboratoriais do LNEC-EM, as quais necessitam evidenciar procedimentos e estudos que assegurem o cumprimento dos requisitos da qualidade para a expressão dos resultados dessa medição, ou seja, das suas estimativas e respetivas incertezas de medição.

Neste enquadramento, o estudo permitiu identificar os principais requisitos metrológicos que se encontram definidos na norma (ISO 11925-2; 2020) aplicável ao ensaio de Ignitabilidade de produtos sujeitos à imposição direta de chama, realizada pela Unidade de Reação ao Fogo, inserida hierarquicamente no Núcleo de Revestimentos e Isolamentos do Departamento de Edifícios do LNEC. Tratando-se de uma Unidade Operativa integrada no Sistema de Gestão da Qualidade do LNEC-EM este estudo permite que esta Unidade possa cumprir o requisito normativo que decorre da aplicação da norma de referência (NP EN ISO/IEC 17025; 2018), tratando-se de um ensaio acreditado.

O ensaio em causa, requer a medição da dispersão no provete de uma pequena chama no sentido ascendente vertical do provete onde se aplica uma chama (fonte de ignição) na superfície ou na aresta lateral do provete, durante intervalos de tempo de 15 s e de 30 s. Adicionalmente, a determinação de gotículas e partículas e a ignição deste por essa via devem ser avaliadas usando um papel de filtro

Como resultados principais deste estudo destacam-se:

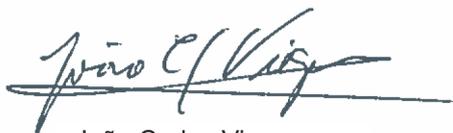
- a avaliação da conformidade associada aos componentes do sistema de medição, nas diferentes grandezas mensuráveis, o que é assegurado pela realização de calibrações realizadas por entidades acreditadas, verificando-se o cumprimento dos requisitos de avaliação aplicando regras de decisão; foi observada uma situação não-conforme no que se refere à largura de uma base de ensaio (largura da placa metálica que serve de *template*) recomendando-se a correção da mesma; dada a natureza do procedimento de execução do ensaio, considera-se que este desvio ao requisito da norma não afeta o desempenho do provete em ensaio, uma vez que a propagação da chama que é observada desenvolve-se no sentido vertical (do comprimento do provete);
- a avaliação das incertezas de medição associadas aos resultados do ensaio, designadamente, a distância de propagação da chama e a medição de intervalos de tempo; estes resultados permitem estabelecer as melhores capacidades de medição da Unidade laboratorial; e
- a utilização dos resultados de incerteza associados aos resultados do ensaio, os quais são necessários para o desenvolvimento de ensaios de aptidão em curso, visando promover a validação do método.

Os resultados apresentados são válidos para os ensaios realizados pela Unidade de Reação ao Fogo do LNEC-EM enquanto os equipamentos, padrões e materiais de referência mantiverem as condições determinadas pelos documentos mencionados neste relatório, nomeadamente, certificados de calibração e estudos e ensaios metrológicos. A alteração das condições metrológicas (por exemplo, pela recalibração, por substituição de equipamentos e de materiais de referência, e realização de estudos de caracterização metrológica ou de validação do método) poderá requerer a reavaliação dos resultados obtidos para as melhores capacidades de medição em duas circunstâncias: caso se verifique a redução de valores associados a contributos de incerteza e o laboratório entenda dever promover a sua revisão para melhorar a sua declaração de desempenho metrológico, ou se os contributos para o cálculo da incerteza forem superiores aos considerados, sendo nesse caso imperativo efetuar a sua revisão e promover a alteração da sua declaração de desempenho metrológico.

Lisboa, LNEC, novembro de 2022

VISTO

O Diretor do Centro de Instrumentação Científica



João Carlos Viegas

AUTORIA



Álvaro Silva Ribeiro

Investigador Auxiliar

Chefe do Núcleo de Qualidade Metrológica



Luís Filipe Lages Martins

Investigador Auxiliar



Ricardo André Cardoso Mendes

Técnico Superior



Catarina Isabel Ferreira Simões

Bolseira de Doutoramento

Referências bibliográficas

- EN 13238:2010 – **Reaction to fire tests for building products - Conditioning procedures and general rules for selection of substrates.**
- EUROLAB Technical Report No.1/2017 – **Decision rules applied to conformity assessment. January 2017.**
- ILAC G17:01/2021 – **ILAC Guidelines for measurement uncertainty in testing.** ILAC, 2021.
- ISO 11925-2:2020 – **Reaction to fire tests — Ignitability of products subjected to direct impingement of flame — Part 2: Single-flame source test.**
- ISO 13943:2017 – **Fire safety — Vocabulary.**
- ISO 14697:2007 – **Reaction-to-fire tests — Guidance on the choice of substrates for building and transport products.**
- JCGM 100:2008 – **Evaluation of measurement data. Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM 1995 with minor corrections).** Joint Committee for Guides in Metrology, 2008.
- NP EN ISO/IEC 17025:2018 – **Requisitos gerais de competência para laboratórios de ensaio e calibração.** Instituto Português da Qualidade, 2018.



www.lnec.pt

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA • PORTUGAL
tel. (+351) 21 844 30 00
lnec@lnec.pt www.lnec.pt