

Recomendações para ensaio de resistência ao
fogo em sistemas de paredes

Recomendaciones Técnicas

Roberto Christ
Henrique dos Santos Kramer
Matheus Donadello
Nicolas Gomes Laurentino
Amanda de Menezes Mariano
Bernardo Fonseca Tutikian
Fabrício Bolina
Eduardo Estevam Camargo Rodrigues
Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

<https://doi.org/10.21041/AlconpatInternacional/RecTec/2025-06-resistenciadeparedesalfuego>



ALCONPAT Internacional

Asociación Latinoamericana de Control de Calidad, Patología y
Recuperación de la Construcción



Editores

Pedro Garcés Terradillos

Director de Recomendaciones Técnicas
Universidad de Alicante, España

Jorge Alberto Briceño Mena

Subdirector de Recomendaciones Técnicas
Secihti, México
Cinvestav del IPN, Unidad Mérida, México

Recomendações para ensaio de resistência ao fogo em sistemas de paredes

DOI: <https://doi.org/10.21041/AlconpatInternacional/RecTec/2025-06-resistenciadeparedesalfuego>

Recomendaciones para probar la resistencia al fuego en sistemas de pared

Recommendations for testing fire resistance in wall systems

Roberto Christ

Universidade de Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, Brasil.

Henrique dos Santos Kramer

Universidade de Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, Brasil.

Matheus Donadello

Universidade de Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, Brasil.

Nicolas Gomes Laurentino

Universidade de Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, Brasil.

Amanda de Menezes Mariano

Universidade de Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, Brasil.

Bernardo Fonseca Tutikian

Universidade de Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, Brasil.

Fabício Bolina

Universidade de Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, Brasil.

Eduardo Estevam Camargo Rodrigues

Universidade de Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, Brasil.

Luiz Carlos Pinto da Silva Filho

Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, Brasil.

Recomendación Técnica No. 6

ENSAIO DE RESISTÊNCIA AO FOGO EM SISTEMAS DE PAREDES

OBJETIVO

Esta Recomendação Técnica tem como objetivo apresentar o método para análises laboratoriais de ensaios de resistência ao fogo, em paredes com e sem função estrutural, bem como estabelecer as diretrizes para interpretação dos fenômenos observados durante estas análises, apresentando a classificação final destes sistemas, segundo os resultados obtidos.

1. INTRODUÇÃO

A segurança contra incêndio das edificações é um requisito necessário para preservar a vida dos usuários durante o evento de um incêndio. A necessidade de atestar os sistemas construtivos em termos de resistência ao fogo se torna uma poderosa ferramenta para assegurar a integridade da edificação em chamas por um determinado período, suficiente para oportunizar a evacuação dos usuários, garantir o trabalho das equipes de resgate e proteger as edificações vizinhas, preservando vidas e patrimônio. No entanto, o conceito de resistência ao fogo aplicável aos sistemas construtivos pode ser analisado sobre duas

perspectivas. A primeira, sobre o ponto de vista de compartimentação, requer que o fogo não seja propagado para os cômodos contíguos, bem como não proporcione a passagem de gases quentes e o incremento de temperatura ao ambiente adjacente, evitando a proliferação do incêndio. A segunda, sobre o ponto de vista estrutural, requer que um determinado elemento, durante o evento de um incêndio, além de cumprir com os requisitos de compartimentação, não venha a colapsar e comprometer o equilíbrio do sistema estrutural da edificação quando lhe for admitida uma responsabilidade estrutural.

2. TERMOS E DEFINIÇÕES

Os termos e definições apresentados na sequência foram admitidos no decorrer desta recomendação técnica.

2.1. Amostra

Sistema característico e representativo empregado para a realização do ensaio, executado de forma idêntica ao que será produzido em obra.

2.2. Área discreta

Parte integrante do elemento que apresenta, isoladamente ou conjuntamente, diferentes níveis de isolamento térmica, com área superficial de no mínimo 0,1 m².

2.3. Campo direto de aplicação

Resultado de um processo envolvendo a aplicação de regras definidas, por meio do qual se considera que um resultado de ensaio é igualmente válido para variações em uma ou mais propriedades do elemento construtivo ou na aplicação de uso final.

2.4. Compartimentação horizontal

Medida passiva de proteção contra incêndio, constituída por elementos construtivos dotados de resistência ao fogo, separando áreas adjacentes, de modo que o incêndio fique contido no local de origem, limitando a sua propagação no plano horizontal.

2.5. Compartimentação vertical

Medida passiva de proteção contra incêndio, constituída por elementos construtivos dotados de resistência ao fogo, separando áreas adjacentes, de modo que o incêndio fique contido no local de origem, limitando a sua propagação no plano vertical.

2.6. Capacidade portante

Capacidade do elemento construtivo de suportar a exposição ao fogo, em um ou mais lados, por um determinado período, preservando a sua estabilidade estrutural.

2.7. Deformação

Qualquer alteração na dimensão ou na forma de um elemento, devido a ações mecânicas ou térmicas, gerando deflexão, expansão ou contração desse elemento.

2.8. Elemento

Parte constituinte da edificação.

2.9. Integridade

Capacidade do elemento construtivo de suportar a exposição ao fogo em um lado apenas, por um determinado período, sem que haja transmissão do fogo para o outro lado.

2.10. Isolação térmica

Capacidade do elemento construtivo de suportar a exposição ao fogo em um lado apenas, por um determinado tempo, enquanto as temperaturas medidas do lado protegido permanecem abaixo de valores especificados.

2.12. Parede sem função estrutural

Elemento de compartimentação horizontal de uma edificação, destinado a suportar apenas seu peso próprio

2.13. Plano de pressão nula

Cota em que a pressão é igual dentro e fora do forno.

2.14. Redução de radiação térmica

Capacidade do elemento de suportar a exposição ao fogo em um lado apenas, por um determinado período, enquanto a medição do calor radiado no lado protegido permanece abaixo de um nível especificado.

2.15. Restrição

Controle da expansão, retração ou rotação, ocasionado por condições de extremidades, bordas ou apoios em um corpo de prova.

3. VISÃO GERAL

Embora a simulação computacional em uma dinâmica de incêndio seja possível com equações de escoamento de fluídos, transferência de calor e massa, a imprecisão gerada e a desconsideração de determinados fatores, como geração de fissuração e comportamento de membrana, acaba sendo crítica e torna esta opção inviável para utilização prática. Desta forma, para a compreensão e a classificação da resistência ao fogo de elementos construtivos, é necessária a realização de testes em laboratório. Os testes são realizados em escala real, expondo uma das superfícies da amostra a uma das curvas de aquecimento, utilizando um forno capaz de atingir altas temperaturas, avaliando-se uma série de critérios, dependendo da finalidade do sistema.

Atualmente, as normas brasileiras de ensaio de resistência ao fogo são divididas em diretrizes gerais, métodos de ensaio e classificação. Para sistemas de parede as normas são:

- ABNT NBR 16965:2021 – Ensaio de resistência ao fogo de elementos construtivos – Diretrizes gerais
- ABNT NBR 10636:2022 – Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo – Método de ensaio
- ABNT NBR 5628:2022 – Componentes construtivos estruturais – Ensaio de resistência ao fogo
- ABNT NBR 16945:2021 – Classificação da resistência ao fogo de elementos construtivos de edificações.

4. EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTAÇÃO

Para a realização dos ensaios, são necessários alguns equipamentos específicos que atendam os requisitos da ABNT NBR 16965:2021. A seguir, os equipamentos e seus requisitos foram apresentados.

4.1. Forno

O forno a ser empregado no aquecimento de uma das superfícies da parede deve ser capaz de empregar combustíveis gasosos, aquecer seguindo pelo menos uma das curvas de aquecimento padrão e ser revestido com material

isolante e resistente a altas temperaturas. Exemplo de um forno empregado em ensaios de resistência ao fogo de paredes está exposto na Figura 1.

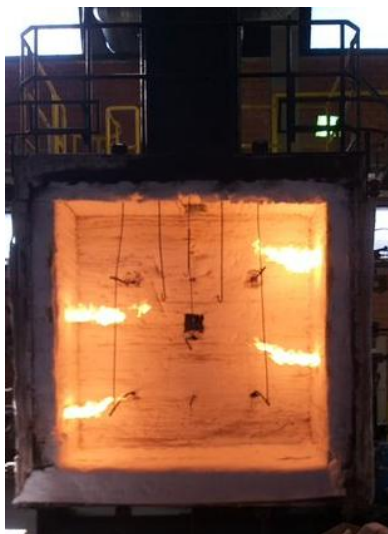


Figura 1 - Forno empregado para a elevação de temperatura de sistemas de parede

A área de exposição da amostra deve possuir dimensões de, no mínimo, 2,50 x 2,50 m. Já a profundidade não é definida por norma, mas é recomendado ter um valor mínimo de 1 m, havendo uma certa distância, também não definida em norma, entre os queimadores e a amostra, evitando que as chamas fiquem em contato direto com o elemento ensaiado.

Para o sistema de aquecimento, recomenda-se que deve haver, no mínimo, quatro queimadores. É necessário haver um sistema de controle de entrada de gases que seja manual ou automático, possibilitando o controle de temperatura no interior do forno, para que atenda as curvas de aquecimento.

4.1. Termopares internos

A NBR 16965:2021 especifica que a temperatura interna do forno deve ser medida com termopares do tipo K (cromel/alumel), existindo dois formatos possíveis: sensor de placas ou feito com fios nus. Sendo que para ambos os casos os termopares devem ser protegidos por tubos metálicos de inconel ou em dispositivos similares.

Os termopares são distribuídos no interior do forno de tal maneira que seja previsto pelo menos um termopar a cada 1,50 m² de área exposta e devem ser posicionados a 100 mm de distância da amostra e a, no mínimo, 450 mm das paredes internas do forno. O posicionamento dos termopares para medida de temperatura interna em um forno com área de exposição de 2,50 x 2,50 m está exemplificado na Figura 2

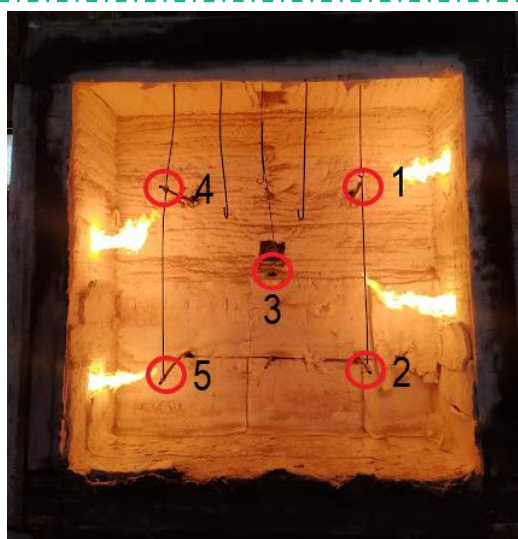


Figura 2 - Posicionamento dos termopares para medida de temperatura interna em um forno

4.3. Termopares externos

A medição de temperatura da superfície não exposta da amostra deve ser realizada com termopares tipo K (cromel/alumel), com diâmetro inferior a 0,65 mm, e chapa de cobre, de 12 mm de diâmetro e 0,20 mm de espessura, soldada na ponta.

Os termopares externos são posicionados de acordo com a sua finalidade, sendo discutidos a seguir.

4.3.1. Medição da elevação média de temperatura

Os termopares devem ser posicionados no centro da amostra e no centro de cada quarto de seção. Deve-se ter o cuidado para que os termopares fiquem com 50 mm de distância de pontes térmicas, juntas, junções, conexões e fixações. Além de evitar locais em que possam estar expostos a gases que passem pela amostra.

4.3.2. Medição da elevação máxima de temperatura

Os pontos de medição da elevação máxima de temperatura da face externa dependem se a amostra possui função estrutural ou não.

Em amostras sem função estrutural, os termopares devem ser posicionados nos seguintes pontos:

- a 20 mm da borda superior da amostra, a meia largura;
- a 20 mm da borda, alinhado com um perfil da estrutura da parede eventualmente existente;
- no encontro entre um perfil da estrutura e um trilho, ou no encontro entre juntas horizontais e verticais;
- a meia altura da borda vinculada;
- a meia altura e a 150 mm da borda livre;
- a meia largura, quando possível, adjacente a uma junta horizontal;
 - a meia altura, quando possível, adjacente a uma junta vertical.

Para amostras com função estrutural, os termopares devem ser alocados nas seguintes

posições:

- a 20 mm da borda superior da amostra, a meia largura;
- a 20 mm da borda superior do corpo de prova, alinhados com montantes eventualmente existentes;
- na junção de montantes e travessas eventualmente existentes no corpo de prova;
- a meia altura, a 150 mm das bordas;
- a meia largura, quando possível, adjacente a uma junta horizontal;
- a meia altura, quando possível, adjacente a uma junta vertical.

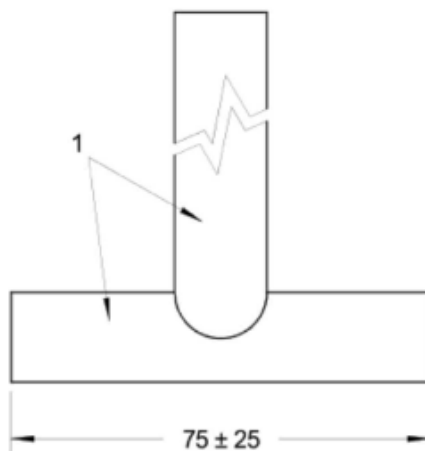
Nenhum termopar deve ser posicionado a menos de 100 mm de qualquer área discreta que não esteja sendo avaliada. Havendo instalações elétricas, caixas e outros acessórios, deverão ser previstos termopares, de acordo com as normas NBR 16636:2022 e NBR 5628:2022.

Além dos termopares fixos, a ABNT NBR 16965:2021 prevê a utilização de dois termopares extras, sendo um destinado à medição de elevação máxima de temperatura (termopar móvel) e outro para a medição da temperatura ambiente. O termopar móvel deve possuir fio com 1,0 mm de diâmetro e cobre, soldado na ponta, com 12 mm de diâmetro e 0,5 mm de espessura, além de estar instalado em um instrumento capaz de alcançar qualquer ponto da superfície não exposta. Já o termopar para a medição da temperatura ambiente deve ser do tipo K, com bainha de aço inoxidável com 3 mm de diâmetro, posicionado nas proximidades da amostra.

4.4. Pressão interna do forno

A pressão interna do forno possui influência no comportamento da amostra ensaiada, por isso deve ser monitorada e controlada após 5 min de ensaio. Para isso, devem ser instalados medidores de pressão (Figura 3) em dois pontos, para obter-se um gradiente de pressão interna. O

primeiro é posicionado a 500 mm acima da parte interna inferior do forno, sendo considerado como plano de pressão nula, e o segundo no topo da amostra. No entanto, se a pressão superior ultrapassar 20 Pa, a altura do plano de pressão neutro deve ser ajustada.



Legenda:

1 Tubo de aço inoxidável, com diâmetro interno de $7,5 \pm 2,5$ mm

Figura 3 - Modelo de medidor de pressão, sensor tipo “T”, dimensões em mm

Fonte: ABNT NBR 16965:2021

4.5. Deformações

As medições da deformação da amostra podem ser realizadas com equipamentos mecânicos, ópticos ou elétricos. Deve-se proteger o equipamento a fim de evitar que haja desvio nas leituras devido ao aumento de temperatura. Tanto as amostras sem função estrutural quanto as com capacidade portante devem ter suas deflexões medidas e registradas, em intervalos adequados, possibilitando a criação de um histórico das deflexões acima de 5 mm. Em amostras sem função estrutural devem ser realizadas medições nos seguintes pontos:

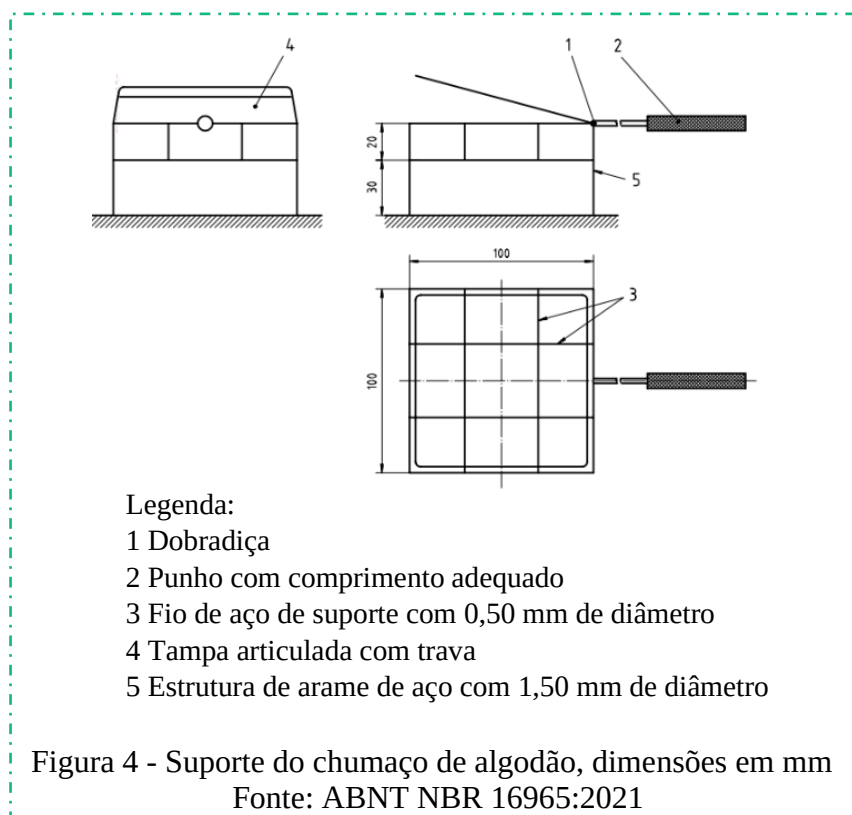
- Centro da amostra;
- A $\frac{1}{4}$ e $\frac{3}{4}$ da largura, a meia altura da amostra;
- A $\frac{1}{4}$ e $\frac{3}{4}$ da altura, a meia largura da amostra.

Para amostras com função estrutural, as deflexões deverão ser medidas no centro da amostra e a meia altura de qualquer borda vertical, a uma distância de 50 mm a partir da borda. Além da deflexão, amostras com função estrutural deve ter sua contração axial registrada em ambos os lados.

4.6. Chumaço de algodão

Uma das verificações do critério de integridade da amostra, como será discutido no item 7.3.4, é o teste de ignição de um chumaço de algodão. Para isso, é empregado um chumaço de algodão quadrado, com 100 ± 5 mm de lado e 20 ± 1 mm de espessura, constituído por fibras de algodão novas, não tingidas, macias e sem adição de outras fibras, pesando entre 3 e 4 g.

Previamente ao ensaio, o chumaço de algodão deve ser condicionado em estufa a 100 ± 5 °C, por, pelo menos, 30 min, sendo mantido em recipiente fechado até o momento de sua utilização. Para sua utilização, o chumaço é posicionado em uma estrutura de arame, como apresentado na Figura 4.



4.7. Medidores de largura de fendas

Outra forma de verificar a integridade da amostra é a medição da largura de fendas. Os medidores devem ser fabricados em aço inoxidável, com $6,0 \pm 0,1$ mm e $25,0 \pm 0,2$ mm de diâmetro, e fixados em alças isoladas termicamente com comprimento adequado.

4.8. Medidor de radiação térmica

Na maioria dos casos, não há necessidade de medir a radiação térmica de uma superfície com temperatura inferior a 300°C , pois, segundo a ABNT NBR 16965:2021, a radiação emitida, nessa condição, é normalmente baixa. Entretanto, se houver necessidade, deverá ser posicionado um medidor de fluxo de calor a 1 m superfície não exposta ao fogo.

4.9. Esferas de aço

Amostras sem função estrutural que necessitam de classificação relativa à ação mecânica (M), devem ser submetidas a aplicação de três choques mecânicos sucessivos no elemento, logo após cada tempo de classificação, atestando sua capacidade de suportar impactos. O teste é realizado na superfície da amostra não exposta ao fogo, causando impacto de uma esfera de aço, com massa entre 15 e 25 kg, em movimento

pendular, com energia de 20 J. Os impactos são realizados a 1,40 m da borda inferior do corpo de prova. Salienta-se que a norma não obriga a realização desse teste, devendo a parte solicitante do ensaio indicar ao laboratório se precisará da classificação quanto à ação mecânica. Entretanto, recomenda-se a sua realização para que os resultados obtidos sejam os mais completos possíveis.

5. CONCEPÇÃO DA AMOSTRA

As amostras ensaiadas devem ser projetadas de maneira que sejam representativas do uso final do sistema, incluindo revestimento, instalações e componentes que possam influenciar em seu comportamento durante o ensaio (ex.: caixas elétricas embutidas), possibilitando a obtenção mais ampla do campo direto de aplicação dos resultados.

Neste item, são apresentadas as exigências da construção das amostras, segundo as ABNT NBR 10636:2022 e ABNT NBR 5628:2022.

5.1. Amostras sem função estrutural

A amostra sem função estrutural deverá ter dimensões mínimas de 2,50 x 2,50 m. Se o sistema possuir juntas verticais, estas devem ser previstas na maior quantidade possível e devem ser dispostas seguindo as configurações apresentadas na Figura 5.

Legenda:

1 Painel de largura total

2 Borda livre

3 Junta vertical

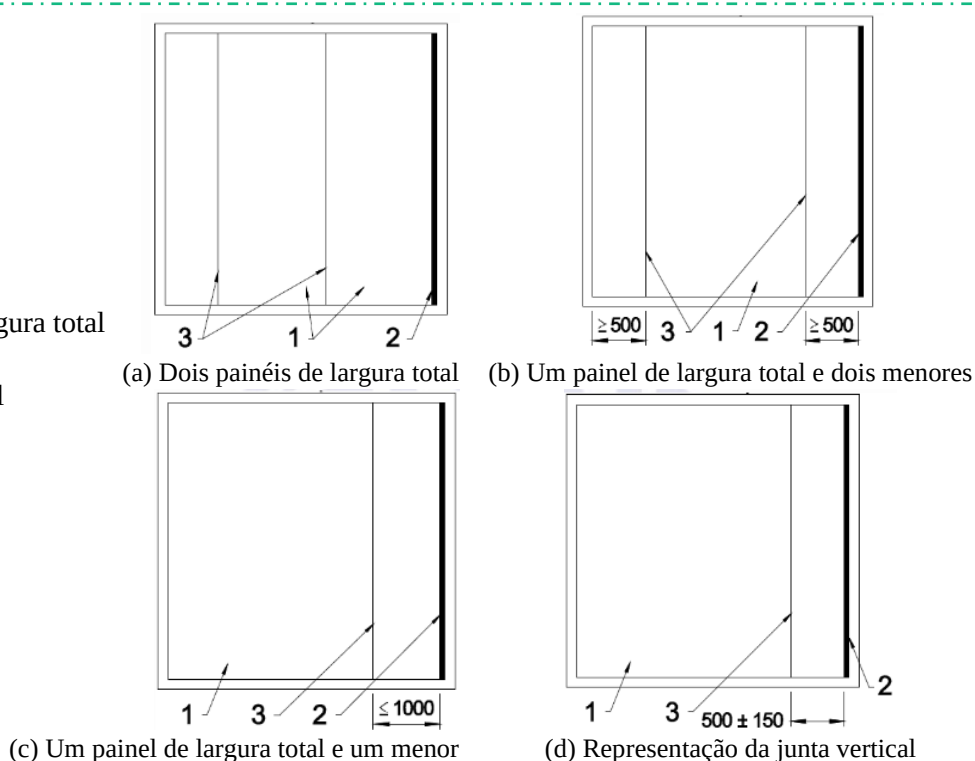
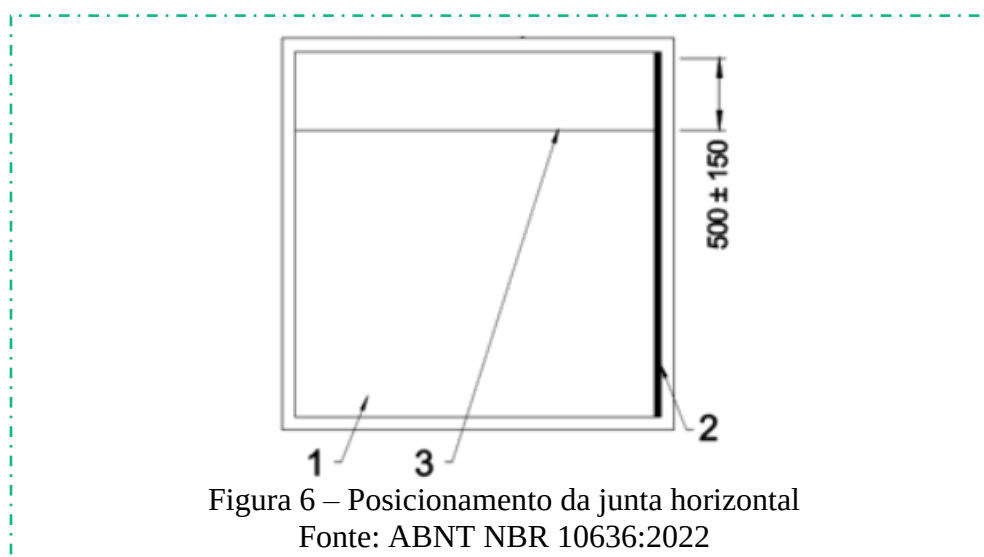


Figura 5 - Configurações possíveis de posicionamento de juntas verticais (dimensões em mm)
Fonte: ABNT NBR 10636:2022

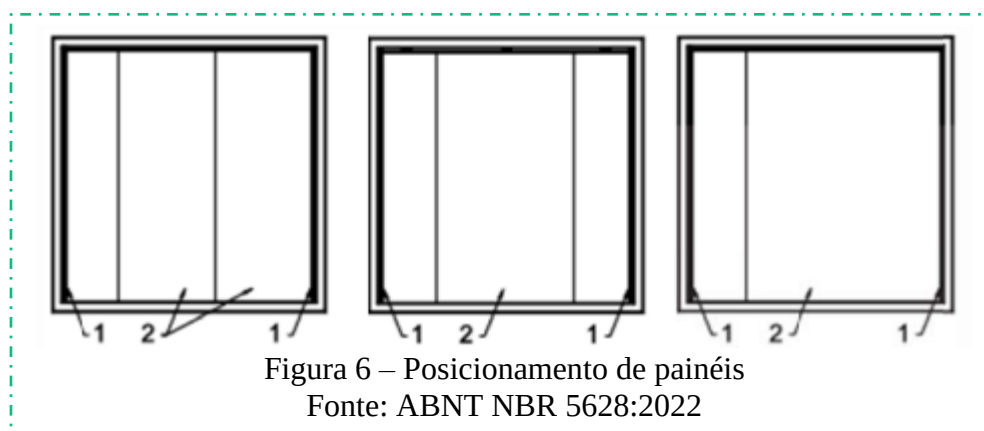
Assim como juntas verticais, se no sistema for previsto a presença de juntas horizontais, deve ser prevista na amostra uma junta horizontal localizada a 500 ± 150 mm da borda superior, conforme apresentado na Figura 6.



As juntas vertical e horizontal podem ser incorporadas na amostra simultaneamente. Caso o elemento real possua painéis com dimensões superiores a 2,7 m e o forno não possua dimensões suficientes para ensaiar o painel de tamanho real, a ABNT NBR 10636:2022 obriga a realização de pelo menos dois ensaios, um para avaliar o efeito das juntas e outro(s) para avaliar o efeito da altura total do painel. A ABNT NBR 10636:2022 proíbe a utilização de diferentes componentes ou construções variadas, como, por exemplo, tijolos cerâmicos e blocos de concreto, a menos que isso seja totalmente representativo da aplicação de uso final do sistema.

5.2. Amostras com função estrutural

A amostra com função estrutural deverá ter dimensões mínimas de 2,50 x 2,50 m. Se o sistema for composto por painéis, a amostra deve possuir pelo menos dois, posicionados conforme a Figura 7, sendo que os painéis menores deverão ter, no mínimo, 500 mm de largura.



Além das juntas verticais, se houver juntas horizontais no elemento, deverá ser prevista uma junta horizontal localizada entre 350 e 650 mm da borda superior. Outro detalhe importante quanto à concepção da amostra, é a impossibilidade de haver aberturas que contenham outros elementos como portas, vidros ou dutos resistentes ao fogo.

5.3. Condicionamento das amostras

Para a realização do ensaio, a resistência mecânica e o teor de umidade da amostra devem ser próximas aquelas esperadas durante o período de uso do elemento. Caso a amostra seja susceptível a absorção de umidade, a ABNT NBR 16965:2021 impossibilita a realização do ensaio se a amostra não tiver atingido a condição de secagem ao ar. Essa condição é considerada como aquela que seria estabelecida em equilíbrio resultante do armazenamento em uma atmosfera ambiente de 50% de umidade relativa e 23 °C de temperatura.

Um método para obtenção da condição de secagem ao ar é armazenar o corpo de prova em um local com temperatura mínima de 15 °C e umidade relativa máxima de 75%, pelo tempo necessário para se atingir o equilíbrio de umidade. Isso é confirmado quando duas pesagens sucessivas, realizadas em um intervalo de 24h, não diferirem entre si em mais de 0,1% da massa total do corpo de prova. Esse método pode ser realizado em um corpo de prova representativo, de menor tamanho, armazenado junto da amostra que será submetida aos ensaios.

5.4. Verificação da amostra

A parte solicitante do ensaio deve fornecer ao laboratório todos os detalhes construtivos, desenhos e arranjo dos principais componentes e informações sobre seus fabricantes ou fornecedores, bem como o procedimento de montagem do elemento no laboratório antes do ensaio. O laboratório deverá averiguar a conformidade da amostra com as informações fornecidas.

6. CONDIÇÕES DE ENSAIO

A seguir, são apresentadas as condições de realização de ensaio de resistência ao fogo de paredes.

6.1. Temperatura do forno

A ABNT NBR 16965:2021 prevê três curvas de aquecimento: padrão (Equação 1), simulando incêndios em locais confinados; exposição pelo lado externo de fachadas (Equação 2), simulando condições menos severas que incêndios em locais confinados; e crescimento lento (Equações 3 e 4), simulando um cenário no qual há baixo aumento de temperatura.

$$T = 345 \log_{10}(8(t - 20) + 1) + 20 \quad \text{(Equação 1)}$$

$$T = 660[1 - 0,687e^{-0,32t} - 0,313e^{-3,8t}] + 20 \quad \text{(Equação 2)}$$

$$T = 154e^{0,25t} + 20 \quad \text{para } 0 < t \leq 21 \quad \text{(Equação 3)}$$

$$T = 345 \log_{10}(8(t - 20) + 1) + 20 \quad \text{para } t > 21 \quad \text{(Equação 4)}$$

Sendo que:

T é a temperatura média do forno, expressa em °C

t é o tempo medido a partir do início do ensaio, expresso em min

A medição de temperatura, utilizando os termopares descritos em 4.2, possuem os seguintes limites de desvio, segundo a ABNT NBR 16965:2022:

$de \leq 15\%$	para	$5 < t \leq 10$
$de = 15 - 0,5(t - 10)\%$	para	$10 < t \leq 30$
$de = 5 - 0,083(t - 30)\%$	para	$30 < t \leq 60$
$de = 2,5\%$	para	$t > 60$

Sendo:

$$de = \frac{\text{Área da curva de temperatura medida} - \text{Área da curva normativa}}{\text{Área da curva normativa}} \times 100$$

Sendo que:

de é o desvio percentual

t é o tempo, em min

Além dos desvios, não é permitido que a temperatura interna do forno registrada por qualquer termopar difira mais de 100 °C em relação à temperatura esperada no instante avaliado, após 10 min de ensaio. Caso a amostra incorpore uma quantidade significativa de material combustível, o desvio pode ser excedido por um período não superior a 10 min, desde que esse seja associado à ignição repentina de quantidades significativas de materiais combustíveis.

6.2. Pressão interna do forno

A pressão interna do forno deve ser de ± 5 Pa da pressão nominal, a partir de 5 min de ensaio, e de ± 3 Pa após 10 min.

6.3. Carregamento

O carregamento aplicado na amostra deverá ser condizente com as condições de serviço da estrutura, corrigido devido eventuais alterações do índice de esbeltez da amostra, ocasionados pela diferença de dimensões da amostra em relação ao elemento. Para isso, a parte solicitante do ensaio deverá informar ao laboratório a carga a ser aplicada no ensaio. O documento encaminhado deverá conter informações relevantes para a determinação da carga de ensaio, utilizando normas pertinentes, além de ser assinado pelo responsável técnico.

6.4. Restrição

A amostra deve ser montada em uma estrutura de apoio e contenção, com rigidez apropriada, para que sejam geradas restrições nas laterais representativas daquelas sofridas por um elemento similar em serviço. Amostras com e sem função estrutural possuem condições diferentes de restrições, de acordo com as ABNT

NBR 10636:2022 e ABNT NBR 5628:2022.

Para amostras sem função estrutural, quando a largura do elemento real for superior à largura da área de exposição do forno, uma borda vertical deverá ser deixada livre, havendo uma folga de 25 a 50 mm entre a amostra e a estrutura de apoio e contenção. Já as amostras com função

estrutural, deverão ser instaladas de forma que ambas as bordas verticais sejam mantidas livres. Na execução das restrições, a ABNT NBR 10636:2022 obriga a ter os seguintes cuidados:

- Evitar o vazamento de gases quentes do interior do forno para o interior da amostra;
- Evitar o vazamento de gases quentes oriundos da amostra;
- Interferir o mínimo possível nas deformações

da amostra;

- Interferir o mínimo possível no isolamento térmico da amostra;

Caso a solicitante do ensaio necessite condições de restrição, deverá ser encaminhado ao laboratório documento assinado pelo responsável técnico informando os motivos da condição de restrição aplicada.

6.5. Condições do ambiente

O local em que o forno está instalado deve ter tamanho suficiente para evitar que a temperatura do ar nas proximidades aumente mais de 10 °C. Sendo que a temperatura ambiente deve ser de 20 ± 15 °C no início do ensaio e deve ser monitorada a uma distância de $1,0 \pm 0,5$ m da face não exposta. Além disso, não pode ser permitida a formação de correntes de ar no local.

7. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

7.1. Aplicação do carregamento

Para as amostras com função estrutural, o carregamento deve ser aplicado com pelo menos 15 min de antecedência ao início do ensaio, evitando a ocorrência de efeitos dinâmicos. Caso ocorra deformações consideráveis, estas deverão ser registradas. Anteriormente e durante a realização do ensaio, a carga aplicada deverá ser mantida constante, considerando as deformações sofridas.

7.2. Início do ensaio

No início do ensaio, a ABNT NBR 16965:2021 exige que a temperatura média interna do forno e a temperatura da superfície não exposta devem ser de 20 ± 15 °C e não devem destoar em mais de 5 °C com relação ao termopar de medição da temperatura ambiente.

7.3. Medições e observações

Deve-se proceder com as ações apresentadas na sequência.

7.3.1. Temperaturas

As temperaturas dos termopares internos do forno e da superfície não exposta ao fogo devem ser medidas e registradas em intervalos de no máximo 1 min.

A medição de temperatura, com auxílio do termopar móvel, deve ser realizada em pontos suspeitos de possuírem elevadas temperaturas.

7.3.2. Pressão

A pressão interna do forno deve ser medida e registrada em intervalos não superiores a 5 min, na posição indicada no item 4.4.

7.3.2. Deformações

As deflexões devem ser medidas em intervalos de no máximo 5 min e capazes de registrar deflexões acima de 5 mm, independente se a amostra possui ou não função estrutural. Já a deformação axial das amostras com função estrutural deve ser medida em intervalo de, no máximo, 1 min.

7.3.4. Integridade

Durante o aquecimento da amostra, o critério de integridade deve ser avaliado utilizando o chumaço de algodão, medidores de abertura de fendas e a pela ocorrência de chamejamentos.

7.3.5. Redução de radiação térmica

Quando for necessária a verificação da redução de radiação térmica, esta deve ser realizada em intervalos de no máximo 1 min.

7.3.6. Cargas e restrições

Em ensaios de amostras com função estrutural, deve ser registrado o tempo em que houver variações na carga aplicada ou quando a amostra se tornar incapaz de suportar o carregamento.

7.3.7. Ação mecânica

Quando for solicitado, a amostra deverá sofrer o impacto das esferas metálicas, logo após o período de classificação.

7.3.8. Comportamento geral

Todo e qualquer acontecimento da amostra, durante o aquecimento, deverá ser registrado.

7.4. Encerramento do ensaio

Segundo a ABNT NBR 16965:2021, o ensaio deve ser encerrado por um ou mais dos seguintes motivos:

- Prejuízos a segurança do pessoal ou danos iminentes ao equipamento de ensaio;
- Verificação do atendimento dos critérios selecionados, pelo tempo necessário. Podendo o ensaio ser prolongado para que se obtenha dados adicionais;
- Pedido do solicitante do ensaio.

8. CRITÉRIOS DE DESEMPENHO

Nesta seção, são descritos os critérios de desempenho a serem considerados na avaliação da resistência ao fogo da amostra.

8.1. Capacidade portante (R)

A capacidade portante é o tempo em que a amostra manteve a sua capacidade de suportar o carregamento durante o seu aquecimento. Para a determinação do atendimento ou não desse critério, a ABNT NBR 16965:2021 estabelece os seguintes limites para contração axial e taxa de contração axial:

$$C = \frac{h}{100}$$
$$\frac{dC}{dt} = \frac{3h}{1000} \quad \text{para } t \geq 10\text{min}$$

Sendo que:

C é a contração axial limitante, dada em mm;

dC/dt é a taxa de contração axial limitante, dada em mm/min;

h é a altura inicial da amostra, dada em mm;

t é o tempo de ensaio, dado em min;

8.2. Integridade (E)

A integridade é o tempo durante o qual o corpo de prova continua a manter a sua função de compartimentação durante o ensaio, não permitindo a ocorrência dos seguintes eventos:

- Ignição de um chumaço de algodão quando posicionado sobre a amostra por pelo menos 30 s, ou até sua ignição, a uma distância de 30 mm da superfície da amostra;
- Passagem do medidor de fenda com diâmetro de 6 mm, sem a aplicação de força indevida, pela amostra, de modo que o medidor se projete no forno e ainda ser deslocado por uma distância de 150 mm ao longo da fenda;
- Passagem do medidor de fenda com diâmetro de 25 mm, sem a aplicação de força indevida, pela amostra, de modo que o medidor se projete no forno;
- Aparecimento de chamas na superfície não exposta do corpo de prova que durem mais de 10 s.

8.3. Isolação térmica (I)

A verificação da isolamento térmica consiste na análise das temperaturas registradas na superfície da amostra não exposta às altas temperaturas. Como limite, a norma especifica que a temperatura média (média aritmética dos 5 termopares na superfície não exposta) não pode ser superior a 140°C e ultrapassar 180°C em nenhum dos termopares, sendo estas temperaturas acrescidas da temperatura ambiente.

8.4. Ação mecânica (M)

A classificação quanto ao critério de ação mecânica é o tempo em que se observou falha dos outros critérios ou o colapso da amostra, após a aplicação dos impactos mecânicos.

8.5. Redução de radiação térmica (W)

A avaliação da redução de radiação térmica é feita pela mediação do valor máximo de radiação, na superfície não exposta da amostra, durante o ensaio. Sendo considerado falho o critério o tempo em que a radiação térmica ultrapassa o valor limite de 15 kW/m².

9. CLASSIFICAÇÃO, CLASSES DE CLASSIFICAÇÃO E CAMPOS DIRETO DE APLICAÇÃO DE RESULTADOS

9.1. Classificação

A classificação quanto a resistência ao fogo de paredes é realizada com base na ABNT NBR 16945:2021, a partir dos resultados obtidos nos ensaios. A referida norma instrui que identificação da classificação seja feita combinando siglas dos critérios avaliados e o respectivo tempo obtido.

Para paredes sem função estrutural, se tem os seguintes modelos possíveis de classificação:

- EI t: sendo t o período de classificação, em minutos, durante o qual os critérios de integridade e isolamento térmica são atendidos;
- EW t: sendo t o período de classificação, em

minutos, durante o qual os critérios de integridade e redução de radiação térmica são atendidos;

- E t: sendo t o período de classificação, em minutos, durante o qual o critério de integridade é atendido;

Para paredes com função estrutural:

- REI t: sendo t o período de classificação, em minutos, durante o qual os critérios de capacidade portante, integridade e isolamento térmica são atendidos;
- REW t: sendo t o período de classificação, em minutos, durante o qual os critérios de capacidade portante, integridade e redução de radiação térmica são atendidos;
- RE t: sendo t o período de classificação, em minutos, durante o qual os critérios de capacidade portante e integridade são atendidos;
- R t: sendo t o período de classificação, em

minutos, durante o qual o critério de capacidade portante é atendido;

Quando houver combinação de critérios: REI, REW, RE, EI e EW, o tempo a ser definido deverá ser aquele referente ao critério mais crítico, ou seja, o que possui a menor resistência. Além das classificações acima apresentadas, a norma ainda possibilita as seguintes classificações:

- M, quando a amostra for submetida ao teste de impacto e ela atender ao requisito; exemplo: EI t-M;
- cl, quando a amostra for avaliada, não só pela curva-padrão de temperatura, mas também pela curva de crescimento lento; exemplo: REI t-cl;
- ef, quando a amostra for avaliada e aprovada pela curva de exposição pelo lado externo de fachadas; exemplo: REI t-ef;

9.2. Classes de resistência ao fogo

As classes de resistência ao fogo permitidas pela NBR 16945:2021 para paredes sem e com função estrutural estão apresentadas nos Quadros 1 e 2, respectivamente.

Quadro 1 – Classes de resistência ao fogo para paredes sem função estrutural

E	-	-	30	-	60	90	120	-	180	-
EI	15	20	30	45	60	90	120	150	180	240
EI-M	-	-	30	-	60	90	120	150	180	240
EW	-	-	30	-	60	90	120	-	180	-

Fonte: NBR 16945:2021

Quadro 2 – Classes de resistência ao fogo para paredes com função estrutural

RE	30	-	60	90	120	150	180	240	360
REI	30	45	60	90	120	150	180	240	360
REI-M	30	-	60	90	120	150	180	240	360
REW	30	-	60	90	120	150	180	240	360

Fonte: NBR 16945:2021

9.3. Campo direto de aplicação

De acordo com a NBR 10636:2022 e a NBR 5628:2022, o campo direto de aplicação estabelece as alterações no elemento que são permitidas após os ensaios de resistência ao fogo bem-sucedidos, sem a necessidade de realização de avaliação, cálculo ou aprovação adicional.

Entretanto, deverá ser realizado um relatório técnico a parte informando as permissões.

9.3.1. Amostras sem função estrutural

Os resultados de um ensaio de resistência ao fogo são aplicáveis a uma parede sem função estrutural que não foi ensaiada, caso todas as seguintes considerações sobre essa parede não ensaiada sejam verdadeiras, quando esta for comparada a outra que foi ensaiada e ela continue atendendo aos critérios de dimensionamento apropriados:

- A altura não é maior;
- A espessura da parede e de seus componentes não é menor;
- As dimensões lineares dos painéis, exceto a espessura, não são maiores;
- Os espaçamentos dos fixadores nos painéis e dos centros de fixação não são maiores;
- O número de juntas horizontais não é menor, quando ensaiado com uma das juntas a não mais que 500 ± 150 mm da borda superior;
- O número de juntas verticais não é menor;
- Todas as juntas permanecem sendo do mesmo tipo daquelas ensaiadas;
- Podem ser feitas alterações no posicionamento de instalações elétricas, desde que o ensaio tenha sido realizado conforme recomendação da NBR 10636:2022, e as alterações no posicionamento se limitem à área compreendida entre a borda superior do corpo de prova e uma distância de 500 mm dessa borda;
- Para paredes que possuam perfis estruturais internos ou visíveis do lado não exposto ao fogo e que sejam classificadas como EI, nenhum aumento na largura ou na altura desses perfis é permitido, caso a temperatura não tenha sido medida no lado não exposto dos perfis durante o ensaio.

Em relação ao aumento da largura da parede sem função estrutural, a norma permite desde que a amostra ensaiada tenha no mínimo 2,70 m de largura e com uma borda vertical livre. Para paredes classificadas como EW, o aumento de largura é permitido desde que a temperatura média da superfície não exposta não ultrapasse 300 °C ou a radiação térmica medida for inferior a 6 kW/m².

Além da largura, é permitido o aumento da altura da parede em até 1 m em relação à altura do

elemento ensaiado, se as seguintes condições forem atendidas:

- A altura ensaiada for de no mínimo 2,5 m para os corpos de prova;
- A deflexão máxima medida no corpo de prova não for superior a 100 mm;
- As juntas de expansão no elemento com altura maior forem aumentadas proporcionalmente.

Para paredes classificadas como EW, o aumento na altura só é permitido se atendido os mesmos critérios para aumento de largura.

9.3.2. Amostras com função estrutural

Os resultados de um ensaio de resistência ao fogo são aplicáveis a uma parede com função estrutural que não foi ensaiada, caso todas as seguintes considerações sobre essa parede não ensaiada sejam verdadeiras, quando esta for comparada a outra que foi ensaiada e ela continue atendendo aos critérios de dimensionamento apropriados:

- A largura é maior quando o ensaio for realizado com um elemento de largura real ou igual a 2,5 m, o que for maior;
- A altura não é maior;
- A carga não é maior, sua excentricidade não é maior e a posição de aplicação do carregamento não é alterada;
- As condições de extremidade permanecem inalteradas;
- A espessura da parede e de seus componentes não são menores;
- A resistência característica e densidade de quaisquer materiais presentes permanecem inalteradas;
- O isolamento térmico não é menor em ponto algum;
- Não há mudança no projeto da seção transversal (por exemplo, localização das barras de reforço etc.);
- O número de juntas horizontais não é menor, quando ensaiado com uma das juntas a não mais que 500 ± 150 mm da borda superior;
- A largura não é maior quando o corpo de prova ensaiado incluir bordas verticais restringidas.

Caso o elemento possua painéis ou placas é

- necessário que se atinja as seguintes condições:
- As dimensões lineares das placas ou painéis, exceto espessura, não são maiores;
 - O espaçamento dos fixadores nos painéis não é maior;
 - A distância dos centros de fixação não é maior.

10. BIBLIOGRAFIA

Os documentos descritos a seguir são auxiliares para a aplicação deste documento, devendo este prevalecer sobre os demais. Na ausência de qualquer informação constante neste material, os documentos abaixo podem ser consultados.

1. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 119: Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials.
2. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 605: Standard Test Methods for Thickness and Density of Sprayed Fire Resistive Material Applied to Structural Members.
3. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM E 736: Standard Test Method for Cohesion/Adhesion of Sprayed Fire Resistive Materials Applied to Structural Members
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5628: Componentes construtivos estruturais - Determinação da resistência ao fogo.
5. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 10636: Paredes divisórias sem função estrutural - Determinação da resistência ao fogo.
6. BRITISH STANDARDS INSTITUTION. BS 476-1: Fire Tests on Building Materials and Structures.
7. DEUTSCHE NORM. DIN 4102: Fire behavior, building materials and elements. Part 1: classification of building materials, requirements and testing.
8. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design.
9. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO 834-1: Fire-resistance tests - Elements of building construction - Part 1: General requirements.
10. INDIAN STANDARD. IS 1642: Fire safety of buildings: details of construction – code of practice.
11. JAPANESE STANDARDS ASSOCIATION. JIS A 1304: Method of fire resistance test for structural parts of buildings.
12. NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY. Fire Resistance Testing for Performance-based Fire Design of Buildings.
13. STANDARDS ASSOCIATION OF AUSTRALIA. Methods for fire tests on building materials,

components and structures. Part 4: Fire-resistance test of elements of construction.

14. UNDERWRITERS LABORATORIES OF CANADA. CAN/ULC S101: Standard Methods of Fire Endurance Tests of Building Construction and Materials.