

# **ENSAIOS PARA AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE MATERIAIS EXPOSTOS AO FOGO: RESISTÊNCIA E REAÇÃO**

**Edna Moura Pinto**

Doutoranda - Área interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais - EESC - USP. E-mail: emoura@sc.usp.br

**Carlito Calil Junior**

Prof. Dr. do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET) - EESC – USP.  
E-mail: calil@sc.usp.br

## **Resumo**

A severidade de um incêndio é influenciada pelas propriedades e o desempenho dos materiais ao serem expostos a elevadas temperaturas, por isso, critérios de reação e resistência ao fogo auxiliam na regulamentação e escolha de produtos adequados a segurança contra incêndio. Realizados através de ensaios normalizados, alguns procedimentos para determinação das características de reação e desempenho dos materiais seguem normas brasileiras, por vezes na ausência de textos nacionais são adotadas normas estrangeiras. As informações obtidas do comportamento através dos ensaios de reação e resistência auxiliam na avaliação e regulamentação de materiais, produtos e sistemas construtivos por meio de códigos construtivos, seguradoras e órgãos governamentais, atualmente o Instituto de Pesquisas Tecnologias realiza os procedimentos de ensaio. O incremento de novos critérios de julgamento, novos procedimentos de ensaios e a formação de uma base de dados para a elaboração de pesquisas, determinação do comportamento de reação e resistência dos materiais, impedindo a freqüente recorrência à normalização estrangeira.

**Palavras-chave:** segurança contra incêndio, resistência ao fogo, reação ao fogo.

## **Abstract**

The materials properties and behaviour has significant influence on fire severity. The fire endurance and reaction measure helps to select materials and products according to fire safety. Performed according standards tests some fire exposure follow Brazilians norms and the outputs assist to evaluate the use of these products by building codes, legislative body, security agencies. Nowadays this procedures are made by IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas, but is recommended the assessment of new judgement and standardized methods likewise create a performances data to aid researchs and to determine materials behaviour to prevent the usually turn to foreign norms.

**Keywords:** fire safety, fire resistance, fire reaction.

## 1. Introdução

O incêndio é uma combustão incontrolada que para se desenvolver e completar suas fases necessita entre outros, da presença de materiais combustíveis. É o conteúdo da edificação, geralmente composto de materiais heterogêneos e combustíveis, que responde com grande parcela para sua evolução antes que a estrutura da edificação, como é comum se pensar.

O começo do incêndio é marcado pela ignição do material contido no ambiente, resultado de seu lento aquecimento até a temperatura de combustão, em função da quantidade de calor recebida pelo início da ignição. A ventilação do ambiente, a natureza e fonte da ignição e os fatores intimamente relacionados às propriedades dos materiais e desempenho destes ao serem expostos a elevadas temperaturas (inflamabilidade, liberação de calor, combustibilidade, propagação de chamas, entre outros) conhecidos como a reação ao fogo, interagem na fase inicial.

Após atingirem um nível suficiente de radiação, todos os materiais combustíveis do compartimento se ignizam rapidamente envolvendo todo o compartimento, configurando o ponto mais crítico do incêndio: a inflamação generalizada, transição entre a fase de aquecimento e a fase de queima.

Nesta segunda fase, a temperatura se eleva de forma brusca e o incêndio se propaga rapidamente. A combustão pode ser controlada pela ventilação onde a queima é regulada pelo suprimento de ar ou pode ser controlada pelas propriedades dos materiais combustíveis contidos no local, na qual a queima é determinada pela quantidade, porosidade e forma. O combate de um incêndio nesta fase torna-se mais difícil porque a energia térmica liberada é alta, o que torna geralmente os recursos e esforços de combate insuficientes, exigindo a resistência da edificação para prevenir o alastramento do fogo e o colapso estrutural no período posterior a esta fase.

A segurança a vida “é mais afetada no período anterior a inflamação generalizada e a proteção do patrimônio pelo período após sua ocorrência, muito embora ameace tanto a segurança à vida, a construção e as construções vizinhas” BUCHANAN [2].

A terceira fase de um incêndio é a sua extinção. Com a queima do combustível não há mais o fornecimento de energia térmica para o ambiente, a temperatura decai e a cadeia dos elementos necessários para que ocorra o fogo: o calor, o combustível, o comburente e a reação, conhecidos como tetraedro do fogo, se rompe. Na fase final, a resistência dos materiais ao fogo é de extrema importância, visto que os elementos e componentes devem desempenhar a função para a qual foram projetados (figura 1) e manterem-se estáveis durante determinado período de tempo.

No Brasil o dimensionamento de elementos estruturais em situação de incêndio é previsto por norma. Para o aço recomenda-se que a temperatura crítica do aço seja tomada como um valor máximo de 550° C para os aços convencionais ou calculada para cada elemento estrutural de acordo com a norma NBR-14323 - Dimensionamento de Estruturas de Aço em Edifícios em situação de incêndio. Estruturas de concreto são calculadas de acordo com a norma NBR-6118 –

Projeto e execução de obras de concreto – Procedimento. A madeira assim como demais materiais estruturais, devido a ausência de normas nacionais, poderão ser dimensionados utilizando normas ou especificações estrangeiras internacionalmente reconhecidas.

A concepção do incêndio em fases e sua estreita relação com comportamento dos materiais contribuindo para sua evolução possibilita eleger e regulamentar a utilização dos materiais, assim como projetar estruturas em função de seu comportamento ao fogo. Fica notório que o desempenho dos materiais exerce influência no progresso de um incêndio e que a correta utilização destes pode minimizar sua severidade, informações sobre o desempenho são obtidas através dos ensaios de resistência ao fogo e reação ao fogo.

Na seqüência serão apresentados definições e alguns procedimentos de ensaios normalizados para caracterização de resistência e reação ao fogo.

## 2. Resistência ao fogo

A resistência ao fogo é a capacidade dos materiais, elementos e componentes construtivos atenderem, por um período de tempo predeterminado às suas funções de estabilidade, estanqueidade e isolamento térmico.

Os ensaios podem ser realizados em três diferentes fornos adequados ao elemento ou componente construtivo reproduzindo assim diferentes tipos de exposição (figuras 1,2 e 3). Os resultados são usados para avaliar e descrever a resposta dos materiais, produtos ou componentes ao aquecimento sob condições controladas e podem fornecer informações tais como a temperatura no interior da peça, a taxa de carbonização, a perda de massa, o tempo de colapso entre outras, possibilitando a comparação de desempenho dos elementos construtivos.

Há similaridades entre as diferentes normas que orientam estes ensaios, marcadas principalmente pela adoção da curva de aquecimento em função do tempo (1), a citar: ASTM E-119 - (*standard test methods for fire tests of building construction and material*) Estados Unidos; ISO 834 – *Fire resistance tests – elements of building construction*; CAN/ULC S101- Canadá.

$$\Theta - \Theta_0 = 345 \log(8t + 1) \quad (1)$$

Onde:

$\Theta$  = temperatura do forno em um tempo  $t$

$\Theta_0$  = temperatura inicial do forno

$t$  = tempo de exposição

Embora no Brasil o forno de ensaio não permita a aplicação de carregamento durante o proceder de ensaio, são realizados ensaios para determinação de resistência aplicados em paredes estruturais, lajes, pilares e vigas, através da NBR 5628 – Componentes construtivos estruturais,

determinação da resistência ao fogo e através da NBR-10636:1989 - Paredes divisórias sem função estrutural – Determinação da resistência ao fogo – Método de ensaio.

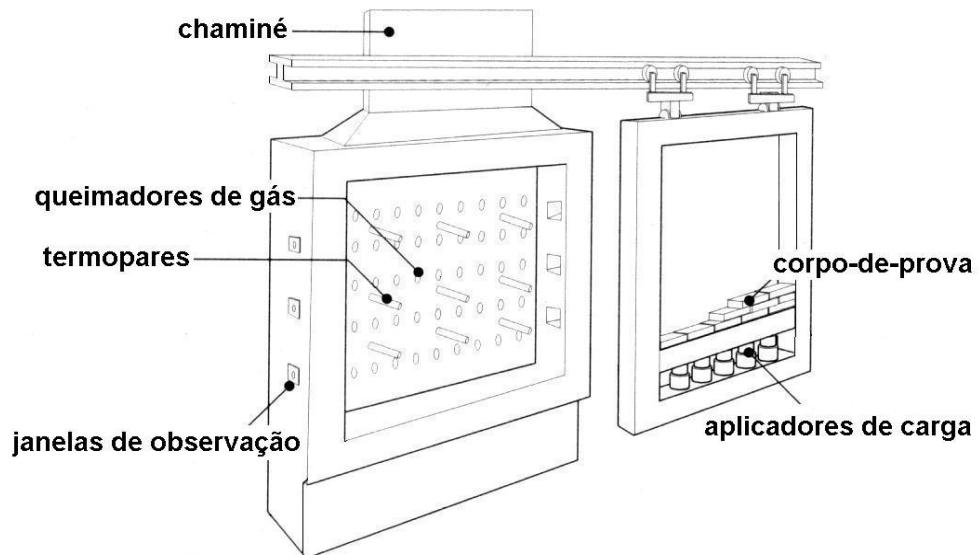


FIGURA 1. Forno de ensaio vertical, para paredes. Fonte: Canadian Wood Council [1]

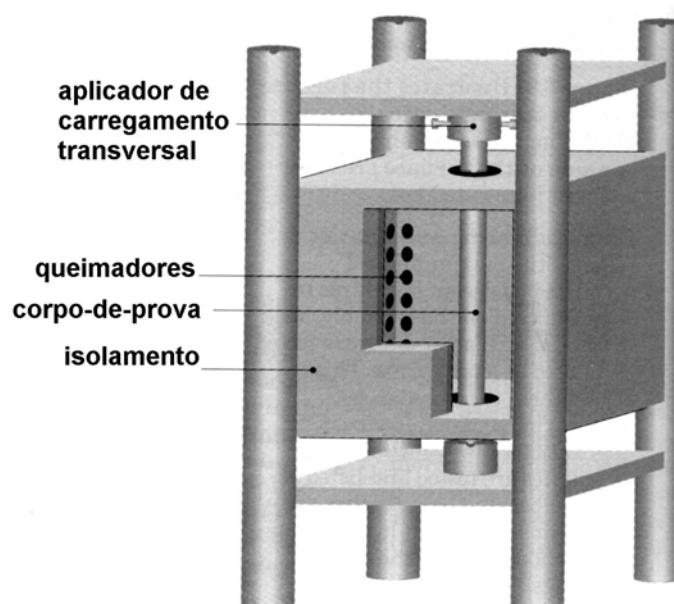


FIGURA 2. Forno de ensaio de pilares. Fonte: Canadian Wood Council [1].

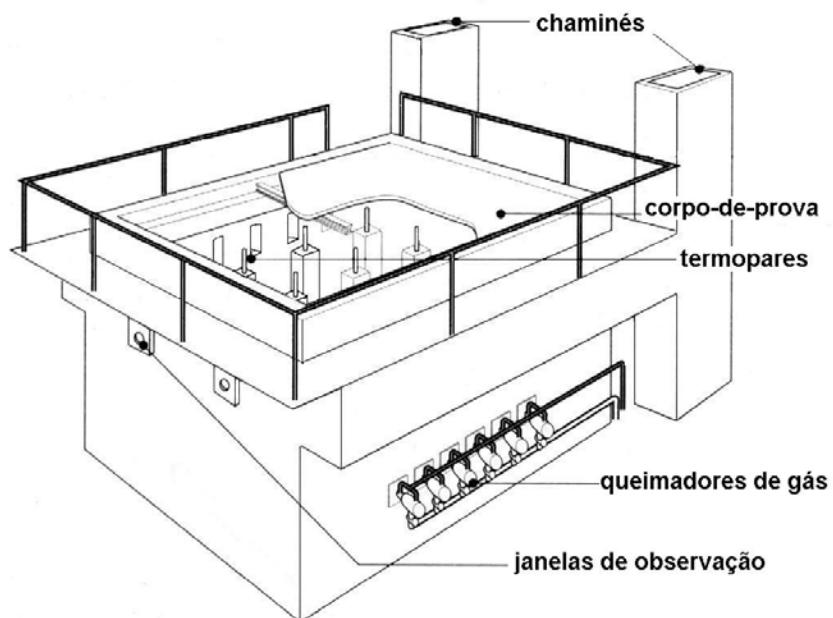


FIGURA 3. Forno de ensaio horizontal, vigas, cobertura e pisos.

Fonte: Canadian Wood Council [1].

### 3. A reação ao fogo

A reação ao fogo é definida como todas as transformações físicas e químicas sofridas por um material exposto a um fogo incontrolado. É avaliada através de um diverso e grande número de ensaios padronizados, muitas vezes sem correlação entre si. Entre eles:

#### 3.1. Propagação superficial de chamas

Mede o avanço do fogo na superfície do material através do índice de propagação superficial de chamas, obtido por meio de ensaio padronizado.

O ensaio ASTM E-84-97a [7] (*standard test method for surface burning characteristics of building materials*) é um ensaio que permite obter índices de propagação. O corpo-de-prova é ensaiado em um túnel retangular e horizontal de 7,62 m de comprimento e dimensões internas de 45,08 de largura por 30,5 cm de altura. Este túnel é equipado com dois queimadores a gás, posicionados em uma das extremidades, que direcionam a chama para a superfície do material sob um fluxo de ar controlado. A distância de alcance da chama ao longo da superfície do material e a taxa na qual ela avança durante o período de 10 minutos de exposição determinam o cálculo do índice de propagação de chamas. Visando proporcionar condições padronizadas para os ensaios, o túnel é calibrado para um índice zero correspondente ao índice do amianto, considerado não combustível e cem, correspondente ao assoalho de madeira de Carvalho vermelho (*Quercus* sp.).

No Brasil, o ensaio para determinação de propagação superficial de chamas é realizado pelo IPT, segundo a NBR 9442 – *Materiais de construção – ensaio de propagação superficial de chama –*

*método do painel radiante*, que é baseado em outra norma norte-americana a ASTM E 162 – “*Surface flammability of materials using a radiant energy source*”. Este ensaio permite medir e comparar as propriedades relacionadas com a propagação superficial de chamas dos materiais, quando expostos a um nível de energia radiante emitido por um painel poroso, na frente do qual o corpo-de-prova de pequena dimensão é exposto em posição inclinada.

### **3.2. Combustibilidade**

Permite estabelecer a classificação de um material como combustível ou não combustível, avaliando o calor produzido pelo material. No Brasil este ensaio é realizado pelo IPT, segundo a norma de ensaio ISO 1182 – *Fire tests – Building materials: non-combustibility test*.

### **3.3. Poder calorífico**

Quantidade de calor que o material libera por unidade de peso quando submetido à combustão completa. Por meio deste ensaio pode-se determinar a quantidade de calor potencial através do método estabelecido pela ISO 1716 – “*Building materials – Determination of calorific potential*”, realizado pelo IPT.

### **3.4. Densidade ótica específica de fumaça**

Mede a densidade de fumaça produzida por um corpo de prova de uma determinada amostra de material ou produto. Obtida através do ensaio ASTM E 662 [6] (*standard test method for specific optical density of smoke generated by solid materials*). Neste ensaio, o corpo de prova é submetido a uma radiação de  $2,5 \text{ W/cm}^2$ , uma queima com chama e a outra sem chama produzindo fumaça. A densidade é medida pela determinação da intensidade de um feixe de luz que atravessa uma atmosfera de fumaça.

### **3.5. Toxicidade da fumaça**

A fumaça é responsável por 80% dos óbitos em situações de incêndio, isto justifica a preocupação em conhecer as características dos materiais com relação à produção e composição da fumaça, uma vez que os gases tóxicos produzidos em um incêndio não levam apenas à intoxicação e a asfixia, eles também provocam lesões nas vias respiratórias através de sua composição e temperaturas elevadas. Os índices de toxidez produzidos por materiais decompostos dependem das condições do experimento, o índice de toxidez máximo fornecerá o potencial de perigo de um material gerar produtos de combustão perigosa à vida humana. É determinado por meio da ISO 13344 – *Determination of the central toxic potency of the fire effluents*.

#### 4. Regulamentações baseadas em ensaios de reação e resistência ao fogo

Critérios de reação e resistência ao fogo são utilizados em regulamentações estaduais e municipais. E ainda que insuficientes, o município de São Paulo apresenta critérios regulamentadores para a segurança contra incêndio, baseados de forma complementar no código de obras e edificações (COE), Instruções Técnicas do Corpo de Bombeiros, Decreto Municipal (regulamentando o COE) e Decreto Estadual (especificando instalação e proteção contra incêndio), os quais têm o embasamento de normas técnicas.

Com relação a utilização da madeira, o COE [4] estabelece que as edificações que possuírem estrutura e vedação em madeira deverão garantir padrão de desempenho mínimo exigido, quanto ao isolamento térmico, isolamento e condicionamento acústicos, estabilidade e impermeabilidade.

Ficam condicionadas aos seguintes parâmetros:

- a) máximo de 2 (dois) andares;
- b) altura máxima de 8,00m (tomada entre o pavimento inferior e o teto do andar superior, excluído o telhado.);
- c) afastamento mínimo de 3,00m (poderão ser alterados por solução que, comprovadamente garanta a segurança dos usuários e seu entorno) de qualquer ponto das divisas ou outra edificação;
- d) afastamento mínimo de 5,00m (poderão ser alterados por solução que, comprovadamente garanta a segurança dos usuários e seu entorno) de outra edificação de madeira.

Atendidas as disposições anteriores, serão permitidas edificações de madeira para qualquer uso ou atividade, desde que garantida a segurança de seus ocupantes. Caso possuam população superior a 100 (cem) pessoas, deverão atender ao Sistema Básico de Segurança, constituído por:

- a) iluminação de emergência
- b) sinalização de rotas de saída
- c) equipamentos móveis e semifixos de operação manual para combate a incêndio, de acordo com a legislação estadual específica.

A distância máxima a se percorrer até a saída da edificação é reduzida a 1/3 (um terço) do estabelecido na tabela 1.



Tabela 1. Distância máxima horizontal a percorrer, visando a segurança contra incêndio.

Andar	Percorso	Distância máxima horizontal a percorrer (m)		
		Aberto ou coletivo		Coletivo protegido
		Coletivo ou aberto	Com chuveiro automático	
De saída da edificação	De qualquer ponto até o exterior	45	68	68
	Da escada até o exterior	25	38	45
Demais andares	De qualquer ponto até a escada	25	38	45

Fonte: Código de Obras e edificações de São Paulo [4].

A Instrução Técnica nº 08/01, Segurança Estrutural nas Edificações-Resistência ao Fogo dos Elementos de Construção [5], prevê as seguintes metodologias para comprovar os tempos de resistência ao fogo:

- Execução de ensaios específicos de resistência ao fogo em laboratórios;
- Atendimento a tabelas elaboradas a partir de resultados obtidos em ensaios de resistência ao fogo;
- Modelos matemáticos (analíticos) devidamente normatizados ou internacionalmente reconhecidos.

Outro exemplo de regulamentação é a adotada pela Caixa Econômica Federal, que estabelece critérios para avaliação de propostas de inovações tecnológicas para fins de emissão da *Aceitação Técnica FDS*<sup>1</sup>, atendendo ao Programa de Apoio à Utilização de Material ou Sistema de Construção Alternativo,

A *Aceitação Técnica FDS* é baseada na metodologia de avaliação de desempenho das edificações desenvolvida pelo CIB (*International Council for Building Research and Information*), e pela Norma ISO 6241 "*Performance standards in building - principles for their preparation and factor to be considered*".

Para a avaliação foram utilizadas como referências diversas publicações técnico-científicas especializadas, incluindo as normas técnicas da ISO. O Manual de Avaliação de inovação tecnológica [3], adota cinco critérios para a avaliação de sistemas construtivos, quanto à segurança ao fogo:

- Propagação superficial de chamas, avaliado através do ensaio NBR 9447 – Determinação da propagação superficial de chamas pelo método do painel radiante;
- Desenvolvimento de fumaça, avaliado através do ensaio ASTM E 662 – Determinação da densidade ótica específica de fumaça;
- Segurança para evacuação. Avaliação através do ensaio NBR 5628 – Componentes construtivos estruturais – Determinação da resistência ao fogo;

<sup>1</sup> Fundo de desenvolvimento social, objetiva melhoria da qualidade de vida da população de baixa renda financiando projetos de interesse social.

4. Compartimentação, avaliado através de análise do projeto;
5. Distanciamento entre as unidades, avaliação feita através do estabelecimento de distâncias mínimas entre unidades definidas pela expressão:

$$D_{\min} = \frac{3,35 - \sqrt{BH} + 0,8H}{\sqrt{Q}} \quad (2)$$

Onde:

$D_{\min}$  = distância mínima entre unidades;

$B$  = largura de janela, em metros;

$H$  = altura de janela (máximo 2 m), em metros;

$Q$  = intensidade de radiação crítica, máximo 1,5 W/cm.<sup>2</sup>

## 5. Considerações finais

A determinação das características de resistência e reação ao fogo fornece informações sobre o comportamento dos materiais, elementos e componentes construtivos úteis para a regulamentação de práticas construtivas por códigos de edificações, escolha de sistemas, componentes e materiais construtivos por órgãos públicos, agentes financiadores, seguradoras, código de defesa do consumidor, etc. Aliada da segurança contra incêndio, a avaliação ocorre em laboratório capacitado para a realização de ensaios. O Instituto de Pesquisas Tecnologias atende a esta finalidade no Brasil.

Constatou-se a ausência de uniformidade nas exigências de segurança contra incêndio. Normalmente as regulamentações abrangem a esfera estadual, ainda assim, ponderada a grande diversidade e desatualização das prescrições dos códigos construtivos praticados pelas municipalidades. Diferente por exemplo de países como EUA e Canadá, os quais adotam uniformidade em âmbito nacional, proporcionando melhor controle da atividade construtiva, da qualidade dos produtos entre outros.

Com base na relação dos procedimentos de ensaios possíveis de realização no país, nota-se que o incremento de novos critérios de julgamento, novos procedimentos de ensaios e a formação de uma base de dados para a elaboração de pesquisas, determinação do comportamento de reação e resistência dos materiais permitirá ao país maior independência tecnológica, prevenindo a freqüente recorrência à normalização estrangeira e implementando o mercado com produtos e sistemas construtivos melhor avaliados.

## 6. Bibliografia

1. CANADIAN WOOD COUNCIL (1996). *Fire safety design in buildings*. Canada.
2. BUCHANAN, A.H. (1999). Burning issues In timber engineering. In: PACIFIC TIMBER ENGINEERING CONFERENCE, Rotorua, New Zealand, 1999. *Proceedings*. Rotorua, New Zealand Forest Research Institute. v.3, p.1-11. (Forest Research Bulletin, 212).
3. CAIXA ECONÔMICA FEDERAL. Manual de Avaliação de produtos Inovadores. São Paulo. 2000.
4. BLOCH, L. L., BOTELHO, M. H. C. (org.) Código de Obras e edificações do Município de São Paulo: Comentado e Criticado. São Paulo, PINI, 1992, p.111-125.
5. A Instrução Técnica nº 08/01, Segurança Estrutural nas Edificações-Resistência ao Fogo dos Elementos de Construção. SECRETARIA DE ESTADO DOS NEGÓCIOS DA SEGURANÇA PÚBLICA.
6. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1995). ASTM E662-95 – *specific optical density of smoke generated by solid materials* (CD ROM). Philadelphia.
7. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (1997). ASTM E84-97a – *surface burning characteristics of building materials* (CD ROM). Philadelphia.