



**MUNDO DO
ISOPOR**



Rua Paraguai, 05 - Jardim América
Cariacica - ES - Cep: 29140-190
TELEFAX: (27) 3344-4447

Comportamento do Poliestireno Expandido **EPS** ao fogo





Comportamento do **Poliestireno Expandido EPS** ao fogo

INTRODUÇÃO

Algumas observações sobre a proteção contra incêndios em edificações

Basta darmos uma olhada nos objetos que fazem parte do nosso cotidiano para comprovar que grande parte das coisas que torna a nossa vida mais fácil representa, em certos casos, algum tipo de risco.

No entanto, não podemos sequer imaginar o mundo sem aparelhos eletrônicos porque uma simples sobrecarga de energia poderia causar sérios danos à pessoa que recebesse tal choque. Em vez disso, precisamos tomar as devidas precauções, para assegurar a segurança das instalações, respeitando todas as normas de utilização dos objetos.

Seguindo a mesma linha de raciocínio, seria razoável, para prevenir o **risco de incêndio***, achar que seria necessário nos desfazer de nossos livros, móveis, quadros, carpete, cortinas e tapetes, bem como as nossas roupas; se desfazendo também de tantos outros objetos feitos de madeira, papel, fibras naturais ou sintéticas e os diversos objetos de plástico, desde um computador até uma escova de dente, incluindo todos os eletrodomésticos que você possa imaginar; somente porque eles são feitos de materiais **inflamáveis***?

Quase todos os objetos do nosso dia-a-dia que fazem parte de nossa casa apresentam algum tipo de risco que devemos prevenir e controlar, e somente a substituição de alguns deles nos garantiriam um certo grau de segurança necessário.

Para avaliar a segurança contra **incêndio*** das edificações, é importante examinar o comportamento de todos os materiais de construção como um conjunto em condições de uso final: a **resistência ao fogo***, e não somente a **reação ao fogo*** dos materiais que o compõe, sendo considerados como um conjunto.

O objetivo deste trabalho

O objetivo deste trabalho é identificar claramente o comportamento do Poliestireno Expandido (EPS) ao fogo quando usado como material de construção.

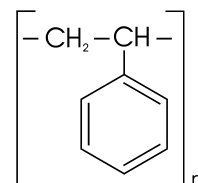
Levamos em consideração todos os aspectos do comportamento desde a **liberação do calor***, **propagação da chama***, produção e toxicidade da **fumaça*** e sua contribuição para propagação de um incêndio. Incluímos informações detalhadas sobre as características do Poliestireno Expandido EPS, para avaliar o seu comportamento quando submetido a fontes de **ignição***. Também avaliamos o comportamento dos aditivos retardantes de chama. Esta informação pode ser utilizada para avaliar o risco levando em consideração a complexidade de um incêndio real e a dificuldade de realizar testes em escala que representem situações reais de incêndio.

GENERALIDADES

O poliestireno expansível (a matéria-prima do Poliestireno Expandido EPS) é um polímero que contém um agente expansivo.

É obtido mediante a polimerização do monômero de estireno [C_8H_8] em conjunto com o pentano [C_5H_{12}]. (Mais adiante analisaremos o comportamento do pentano).

Os plásticos celulares fabricados à base desse polímero possuem uma estrutura formada por milhões de finas células cerradas, cheias de ar e como podemos ver em sua composição molecular, se trata de hidrocarboneto puro, que não tem outros elementos químicos a não ser o carbono [C] e o hidrogênio [H] (que será fundamental na hora de avaliar a toxicidade dos gases de combustão).



poliestireno
expandido



Como já mencionado, quando consideramos o comportamento ao fogo de algum material de construção é fundamental realizar qualquer estudo nas condições finais de uso. O comportamento não somente dependerá da natureza química mas também, até certo ponto, do estado físico e a localização do material.

Assim sendo, os fatores importantes que devem ser levados em consideração na hora de determinar o risco potencial de incêndio do **EPS** são:

- A densidade do material expandido e a forma do produto.
- Sua proximidade a uma possível fonte de ignição.
- As condições de adesão a um substrato ou revestimento.
- A localização do produto (que influirá na transferência do calor).
- Presença de oxigênio (ventilação).

AS FASES DE UM INCÊNDIO EM UM EDIFÍCIO

Os incêndios nos edifícios geralmente começam com uma **ignição***, que poderá ser ocasionada por diversas causas possíveis, de algum tipo de material combustível que existe no local. A partir desse momento ocorre, no geral, um aumento lento na temperatura do local, à medida que o incêndio incipiente (que está em fase de crescimento e propagação de chamas) encontra quantidades suficientes de materiais combustíveis facilmente inflamáveis. O incremento gradual da temperatura em um local facilita a ignição de quantidades cada vez maiores de materiais combustíveis. Alguns destes materiais liberarão gases inflamáveis, os quais queimarão tanto por causa da ignição original ou espontaneamente por causa da temperatura elevada. No caso dos gases, a combustão poderá resultar diretamente em geração de chamas, ao passo que os materiais sólidos, como os móveis, terão que se converter, num primeiro momento, em fontes de ignição **incandescente***.

Na primeira fase de um incêndio, há acúmulo progressivo de energia calorífica em forma de gases combustíveis. Nessa fase a temperatura ainda é relativamente baixa e o fogo ainda está em local concentrado. Com o aumento da temperatura, e o crescimento e propagação das chamas, atinge-se um ponto em que há alastramento repentino, chamado de **flash-over*** ou “inflamação generalizada”, no qual a temperatura aumenta significativamente e o fogo se propaga repentinamente em todo o recinto. O **fogo*** então se propaga em todo o edifício e finalmente a energia produzida pelo incêndio diminuirá até sua extinção completa, mesmo sem intervenção humana, devido à ausência de materiais **inflamáveis***.

CARGA DE INCÊNDIO

A duração e as características de incêndios reais dependem de vários fatores, difíceis de avaliar, no entanto, dois dos aspectos mais importantes são a **carga de incêndio*** e o **grau de inflamabilidade*** dos materiais encontrados no local.

A Norma IRAM 3900-1/95 [1] define a carga de incêndio como a “soma de todas as energias caloríficas passíveis de serem liberadas pela combustão completa de todos os materiais combustíveis contidos em um recinto, incluindo: revestimento de paredes, pisos, tetos e divisórias”.

Pretendemos demonstrar que **o EPS comprovadamente contribui muito pouco para a carga de incêndio de um edifício.**

(1) Podemos estimar o **poder calorífico real*** da madeira em 18,4 MJ/kg [MJ: megajoule. 1 MJ = 10⁶ Joule].

(2) Os valores máximos especificados podem **duplicar** sob determinadas condições.

Esses dados foram extraídos do trabalho elaborado por Paul Ulrich Bittner, [2] que concluiu, após realizar o estudo sobre o tema, que “É impressionante, tendo em vista os valores de cargas de incêndio acima mencionados (nesse relatório somente mencionamos a faixa menor) como o poliestireno expandido EPS

contribui muito pouco, cuja carga de incêndio (em casos de tetos feitos de EPS considerados no mencionado relatório), é de 2850 kcal/m², ou seja, 0,65 kg/m²!”.



LIBERAÇÃO DE CALOR

A taxa de liberação de calor tem sido considerada ultimamente como um parâmetro importante na hora de avaliar o comportamento do fogo nos materiais. (Representa outra maneira de expressar os mesmos conceitos mencionados no parágrafo anterior).

O método de ensaio desenvolvido, ISO 5660, permite queimar provetas a uma faixa surpreendente de fluxos de calor utilizando um cone calorimétrico.

Ensaio realizado em laboratório industrial mostram que as placas de EPS se encolhem rapidamente, eliminando-se como fonte de calor, restando somente uma camada de poliestireno fundido. Não foi observada nenhuma geração de chama para fluxos de calor acima de 20 kW/m².

O poder calorífico dos materiais de Poliestireno Expandido (40 MJ/kg) é aproximadamente duas vezes o da madeira (18,4 MJ/kg), mas levando-se em conta a densidade de ambos os produtos, o volume calorífico para o EPS fica entre 400 e 1200 MJ/m³ (em suas densidades normais de comercialização que variam entre 10 kg/m³ e 30 kg/m³); e em casos de produtos procedentes da celulose, da fibra de madeira ou da madeira em si ficam entre 7150 e 11040 MJ/m³ (o valor mais alto corresponde a uma madeira com peso de 600 kg/m³).

Em outras palavras, o poliestireno expandido somente contém 1,5 a 2,5 % do seu volume, de matéria eventualmente combustível, e sua contribuição à carga de incêndio em casos de incêndios, é de 145 a 240 kcal/dm³, em comparação à carga de 2.400 kcal/dm³ que a madeira apresenta (10 vezes maior).

Desta forma podemos entender que a contribuição energética das quantidades de Poliestireno Expandido EPS em um incêndio normalmente empregadas no isolamento de uma residência está bem abaixo da contribuição energética de uma pequena parte do mobiliário.

O conteúdo global de calor dos materiais influi na severidade do incêndio em termos de aumento do fogo e a taxa de liberação de calor contido é o fator mais importante. Isto depende, em grande parte, das condições de combustão. A liberação de calor por parte dos produtos EPS é aproximadamente três vezes mais rápida do que a de madeira suave, mas tem uma duração muito menor. [3], [4], [5]

Seu alcance e sua taxa de liberação de calor estão fundamentalmente limitados pela ventilação. É importante destacar que o ar contido na estrutura celular do poliestireno expandido não contém oxigênio suficiente para combustão, nem sequer combustão incompleta do material, uma vez que para o EPS a necessidade de ar é 130 vezes maior, em volume, do que o que compõe o material.

Isso significa que não pode haver combustão do material, quando ele está protegido por argamassa ou outro revestimento de construção, que impeça a chegada do oxigênio, ainda que uma chama externa (por exemplo um curto-circuito) seja aplicada ao mesmo.

Por exemplo, uma espuma de 15 kg/m³

Uma capa de 200 mm de espessura de EPS com uma densidade de 20 kg/m³ representa a mesma quantidade de energia que uma capa de 17mm de espessura de madeira de pinho. No entanto, ninguém questiona o uso de um revestimento de madeira de pinho de 17 mm de espessura como superfície desprotegida no teto ou na parede?



requer aproximadamente 150 vezes seu volume em ar para completar a combustão. Ademais, é improvável que ocorra a combustão completa do Poliestireno Expandido EPS, pois ele dificilmente liberará seu potencial de calor completamente.

Geralmente se expressa carga de incêndio em quilogramas de madeira equivalente (kg/m²), adotando um valor de 4400 kcal/kg ⁽¹⁾.

Existe uma classificação padrão dos edifícios de acordo com sua carga de incêndio, considerando uma escala com os seguintes valores, correspondente, em cada caso, ao valor calorífico máximo dos materiais combustíveis no seu interior. ⁽²⁾

- **Baixa carga de incêndio:** 57 kg/m² (de madeira equivalente)
- **Média carga de incêndio:** 114 kg/m² (de madeira equivalente)
- **Alta carga de incêndio:** 227 kg/m² (de madeira equivalente)

CLASSIFICAÇÃO DOS MATERIAIS SEGUNDO SUA REAÇÃO AO FOGO

Os materiais de construção se classificam em **incombustíveis*** ou **combustíveis*** [6] [7]. Sendo que, o último pode ser subdividido segundo seu grau de **inflamabilidade*** ou de **propagação superficial da chama*** dependendo da norma utilizada.

Assim, as normas **DIN** [6] classificam os materiais de construção em:

CLASSE	DENOMINAÇÃO
A	Incombustível
A 1	
A 2	
B	Combustível
B 1	<i>Dificilmente inflamável</i>
B 2	<i>Risco médio</i>
B 3	<i>Facilmente inflamável</i>

Por outro lado as normas **IRAM** [7] classificam os materiais de construção em:

CLASSE	DENOMINAÇÃO	ÍNDICE DE PROPAGAÇÃO DA CHAMA	EQUIVALÊNCIA COM AS NORMAS ABNT ME- 24	UNE 23 - 727
RE 1	Incombustível	-----	-----	M 0*

RE 2	Muito baixa propagação de chama	0 - 25	Classe A	M 1*
RE 3	Baixa propagação de chama	26 - 75	Classe B	M 2*
RE 4	Média propagação de chama	76 - 150	Classe C	M 3*
RE 5	Elevada propagação de chama	151 - 400	Classe D	M 4*
RE 6	Muito elevada propagação de chama	> 400	Classe E	M 5*

* Os métodos de ensaio e classificação das Normas UNE, para as classes M1 a M5 diferem dos métodos adotados por IRAM e ABNT, as equivalências com estes últimos são somente valores de referência da ordem de grandeza e podem divergir significativamente em alguns casos.

E ainda que não abordamos os dois tipos de EPS que se fabricam em nosso meio, podemos antecipar que não existe uma correlação direta entre a classificação dos materiais de construção segundo as Normas DIN ou IRAM, mas que em caso específico do tipo de Poliestireno Expandido **com retardante de chama***, corresponde à classificação **B 1 “difícilmente inflamável”** [6] segundo a norma DIN 4102-1 e **RE 2 “de propagação de chama muito baixa”** [7] segundo a norma IRAM que equivale, por sua vez, à “Classe A” da norma brasileira ABNT ME-24. Ademais, classifica-se como “**M 1**” segundo a norma espanhola UNE 23 -727.

Contribuição para a propagação do fogo. Normas e disposições europeias

As normas que regem as edificações em toda Europa estabelecem requisitos em relação à estrutura completa, e são baseadas em determinar a contribuição para propagação de um incêndio, a partir do comportamento da densidade da carga de incêndio na superfície de um elemento estrutural. Isto é conhecido como: sistema de classificação de “**Reação ao Fogo***”.

Os sistemas de classificação e os métodos de ensaios indicados são diferentes em toda Europa, porém, um sistema de classificação em “Euroclasses” (Norma EN 13163) e métodos de ensaio unificados estão atualmente sendo desenvolvidos e adaptados paulatinamente.

O COMPORTAMENTO DO EPS EM UM INCÊNDIO

Igual a muitos outros materiais de construção orgânicos, como diferentes tipos de plásticos, madeiras, tintas, etc., os plásticos celulares, como o Poliestireno Expandido EPS, são combustíveis.

Não obstante, na avaliação de seu comportamento ao fogo é importante observar que este depende não somente das qualidades específicas do próprio material, mas também, e de forma essencial, das condições de sua aplicação. Também é fundamental considerar a sua combinação com outros materiais de construção e a disposição necessária ou desejada de capas de proteção e revestimentos.

As propriedades inerentes ao material diferem à medida que este possa ter ou não aditivos **retardantes de chama***. Como já mencionado, a adesão de outros materiais ao EPS também afeta consideravelmente o comportamento em relação ao fogo. Por exemplo, os produtos com revestimentos em camadas melhoram o seu comportamento em relação à propagação superficial da chama, por este motivo, **é fortemente recomendado que o Poliestireno Expandido seja sempre protegido por um material de revestimento ou completamente encapsulado**.

Quando instalados corretamente, os produtos de poliestireno expandido não representam risco específico de incêndio.



Porém se ocorrer, o poliestireno expandido se comporta de modo similar a outros hidrocarbonetos como a madeira, o papel, etc. se pegar fogo. Os produtos derivados de sua combustão são basicamente monóxido de carbono e estireno, ainda quando durante um incêndio, o estireno pode decompor se ainda mais, liberando óxidos de carbono, água e uma certa quantidade de fuligem.

a

O EPS é fabricado em dois tipos de qualidade: tipo padrão, identificado pela letra “P” e o aditivado com retardantes de chama, designado: tipo “F”. Este último é muito mais difícil de queimar e contém uma taxa de propagação de chama consideravelmente menor.

Quando o EPS se esquentam, se abrandam e contraem progressivamente a partir dos 100 a 120 °C (110 a 120 °C para o tipo “F”) e finalmente se fundem. A temperaturas mais altas, entre 230 e 260 °C, ambos os EPS tipo “P” ou tipo “F”, liberam gases combustíveis por decomposição da massa fundida.

Esses gases não entram em combustão antes de alcançar, sempre com a ajuda do calor externo, 450 a 500 °C (temperaturas de auto-ignição do EPS fundido, tipos “P” e “F” respectivamente). A possibilidade de esses gases se queimarem por ação de uma chama ou faísca depende em grande parte da temperatura, da duração de sua exposição ao calor e a quantidade de ar disponível em volta do material (a disponibilidade de oxigênio). [8]

*O Poliestireno Expandido EPS instalado **não pode ser inflamado por faíscas ou metais candentes**, provenientes, por exemplo, de soldas elétricas ou por cigarros acesos. Isso se dá por conta da energia contida nesses materiais candentes, a qual é transformada em calor latente necessário para a fusão do EPS quando este passa para a fase líquida, a qual ocorre antes de qualquer possibilidade de queima. Somente as chamas afastadas do material em si, e aplicadas ao mesmo podem chegar a queimá-lo.*

E assim, tampouco o EPS fundido queimará normalmente devido a faíscas de soldas ou de cigarros acesos, no entanto, pequenas chamas o ascenderão facilmente, a não ser que contenha aditivos retardantes de chama.

A temperatura mais baixa de ignição do EPS padrão é 360 °C, e em caso do EPS auto-extinguível é de 370 °C. Esses valores indicam que se o EPS fundido se desintegra, os gases combustíveis somente se formarão aproximadamente a uma temperatura de 350 °C. Depois da ignição do EPS padrão, o fogo se propagará na superfície exposta e continuará até consumir todo o material.

*Se a baixa densidade da espuma contribui para facilitar a ignição devido à maior quantidade de ar (98%) em relação à quantidade de poliestireno (2%), **a massa do material é baixa e assim a quantidade de calor liberada também é menor**; por outro lado, é importante ressaltar o que havíamos falado a respeito da quantidade de ar contida na estrutura celular do poliestireno expandido, i.e.: não possui oxigênio suficiente para a combustão, sequer suficiente para o material, já que ele necessita de uma quantidade de ar de 130 a 150 vezes maior, em volume, do que o material já tem.*

Isso significa que não pode haver combustão do material, quando ele está protegido por argamassa ou outro revestimento de construção, que impeça a chegada do oxigênio, ainda que uma chama externa (por exemplo um curto-circuito) seja aplicada ao mesmo.

A CONTRIBUIÇÃO DO PENTANO

O pentano é utilizado como agente expensor do poliestireno expansível em Poliestireno Expandido (EPS). É um hidrocarboneto puro que, mesmo que inflamável, se altera quando parte do EPS, em um curto período de tempo após sua fabricação.



Ademais, o pentano é instável e se decompõem na atmosfera em dióxido de carbono e água em poucas horas. O pentano, assim sendo, não tem um papel significativo nas propriedades do EPS em relação ao fogo, nem na causa, nem tampouco no alastramento de um incêndio em um edifício.

PROPAGAÇÃO DA CHAMA

*A propagação da chama é um processo de ignição progressiva em cima de uma superfície contínua. O alcance e o grau de propagação da chama dependem, em grande parte, da **inflamabilidade***, e o grau de liberação de calor, de um material combustível. Em casos em que o Poliestireno Expandido está junto a um substrato rígido e está envolto em uma capa de proteção externa, o risco de propagação da chama também é afetado pelas propriedades físicas / térmicas da superfície sobre a qual o Poliestireno Expandido pode ter se fundido.*

A proximidade do substrato e o grau de integridade da capa de proteção (onde permanece), além do desenho das fixações e juntas, regem a distribuição de qualquer poliestireno fundido e a entrada de ar e calor na área de combustão. Caso tenha utilizado um adesivo para fixar o Poliestireno Expandido na superfície de proteção exterior, o material fundido permanecerá unido à referida superfície, em casos onde houve instalação de peças muito espessas, especialmente as horizontais, qualquer falha na superfície de proteção pode ocasionar a formação e queda de gotas de material fundido, levemente inflamadas.

Nos locais em que houve falha na capa de proteção, com ar, assim como a orientação, a superfície exposta do Poliestireno Expandido é fator importante para determinar o risco de propagação de chama (por exemplo, uma fachada com dupla camada e isolamento entre as placas de Poliestireno Expandido), é improvável que a propagação se alastre devido à carência de circulação de ar para a combustão. [9], [10]

Com base em um estudo recente foi possível quantificar a efetiva contribuição ao crescimento do incêndio, separadamente para o isolante, em áreas com livre ventilação, onde o Poliestireno Expandido foi empregado na forma de placas para paredes ou tetos. O grau de contribuição do isolante, entre outros fatores, depende do tipo de falha nas superfícies protetoras.

Com um design adequado e uma boa escolha das capas protetoras, a taxa com que o isolante possa vir a contribuir para o calor, fumaça, etc., o alastramento do incêndio dentro de um recinto pode ser efetivamente reduzido; o tempo de contribuição também pode ser substancialmente retardado. [11], [12]

Com base nos estudos de várias experiências realizadas em grande escala, liderada pelo “Building Research Establishment” (BRE) no Reino Unido, simulando os efeitos de um incêndio completamente alastrado em uma residência sobre uma superfície extensa isolada externamente, foi possível identificar as características no desenho que afetam o seu comportamento em relação ao fogo. [13] No caso de emprego de placas de Poliestireno Expandido, é possível reduzir efetivamente a contribuição feita pelo isolante para a propagação vertical do fogo sobre a capa de proteção final externa ou por meio do isolante ou por sua cavidade; e, mediante uma cuidadosa seleção da capa de proteção, com um desenho adequado e instalação de suporte e instalação correta dos acessórios, aliados a uma adequada proteção contra incêndio, o alcance dos danos do incêndio também podem ser restringidos. , , .

A reação ao fogo da argamassa aplicada de modo homogêneo a qual contém flocos de poliestireno expandido usada como agregado e aplicada externamente a muros de alvenaria sólida tem sido satisfatória.

Resumindo, quando o poliestireno expandido está no interior das paredes, protegido por argamassa, ou entre placas de concreto armado e contra-pisos, valem as observações feitas sobre o enfraquecimento progressivo e a redução de resistência à compressão, na medida em que a temperatura se eleva acima dos valores mencionados,



porém não produzindo a inflamação e combustão do material por não haver oxigênio suficiente.

Um caso especial é o poliestireno expandido utilizado como agregado para concretos celulares preenchidos com poliestireno expandido. Os elementos de construção elaborados com este material têm um excelente comportamento em casos de incêndio, sendo muito adequados inclusive para paredes corta-fogo. Isso é possível pois em caso de incêndio prolongado de um lado da parede, com alastramento a temperaturas elevadas, os flocos de poliestireno pré-expandidos contidos no concreto, próximas ao lado do fogo, se encolhem, sendo que o concreto assume as características de um concreto alveolar, o qual tem ótimas propriedades de isolamento térmico a temperaturas elevadas. E a parte do lado oposto ao fogo, onde as temperaturas não alcançam o nível para sinterizar ou liquidificar o poliestireno expandido, este mantém as suas propriedades isolantes, com o que o concreto de poliestireno expandido conserva suas propriedades de condutividade térmica aproximadamente originais.

Ao analisar o comportamento ao fogo do poliestireno expandido, é muito importante considerar não somente as condições que podem ou não resultar em combustão, mas também avaliar quais são os efeitos desta combustão, quando aplicável.

RETARDANTES DE CHAMA

A presença de aditivos retardantes de chama nos tipos “F” geram melhorias significativas no comportamento do EPS em relação ao fogo. Entretanto, é muito difícil prever o comportamento do EPS dado à complexidade de uma situação de fogo real, baseada em ensaios realizados em laboratório, existem inúmeros ensaios em pequena escala que mostram claramente que é muito mais difícil queimar EPS fabricado com aditivos retardantes de chama do que o EPS fabricado com material padrão.

Na presença de enormes fontes de ignição ou fluxos significativos de calor, e.g. maiores de 50 kW/m², oriundas de incêndios com outro material, o EPS do tipo “F” eventualmente queimará, refletindo a natureza orgânica do poliestireno.

*O EPS tipo “F” contém uma pequena quantidade de agente retardante de fogo (**no máximo de 0,5%**). Trata-se do **hexabromociclododecano (HBCD)**. O HBCD tem um efeito benéfico quando o EPS é exposto a uma fonte de incêndio. A espuma se encolhe rapidamente retirando-se da fonte de calor, dessa forma a probabilidade de ignição é reduzida. Os produtos de decomposição do ativo causam o apagamento da chama, dessa forma **quando retiramos a fonte de ignição, o EPS não continuará queimando.***

O HBCD também é chamado de composto organobromado ciclo-alifático e não é comparável aos retardantes de chama bromados (PBBs e PBBOs), cujo uso já é proibido há algum tempo. Realmente, o HBCD não gera nenhuma dioxina ou furanos tóxicos durante a combustão. Esta foi a conclusão do Ministério do Meio Ambiente alemão em 1990, com relação à combustão de poliestireno com um conteúdo de HBCD cinco vezes maior que o normal (3% do peso).

*Descobriram que o HBCD não é uma fonte de formação de polibromodibenzofuranos nem de dioxinas em diferentes fornos de combustão numa variação de temperatura de 400 °C a 800 °C. [14] O mesmo resultado foi obtido pelo Ministério do Meio Ambiente holandês [15] em 1989 por **pirólise*** de poliestireno com um conteúdo de HBCD equivalente a 10% do peso, (lembramos que o **EPS de classe auto-extinguível só contém 0,5% de HBCD**).*

Um estudo realizado em 1992 pelo conceituado Instituto Alemão Fresenius [16] demonstrou que o mesmo HBCD não continha dioxinas bromadas nem furanos. Uma recente análise no ensaio do incinerador “Tamara”



da Karlsruhe, demonstrou-se que a combustão de poliestirenos em um forno de combustão moderno é um método de reciclagem ambientalmente correto no que se refere a emissões.

Além disso, como o HBCD é insolúvel em água, não existe risco de sua transferência para a água. [17] Finalmente, devemos ressaltar que no nosso meio, o Poliestireno Expandido tipo “F”, com retardante de chamas, vem substituindo o tipo “P” padrão, em quase todas as aplicações de construção civil. Além disso e como veremos detalhadamente adiante, a toxicidade dos gases produzidos em períodos de combustão* e carbonização* lenta é menor quando plásticos celulares EPS tipo “F” são usados, do que os gases produzidos pelo o mesmo volume de madeira.

FUMAÇA

A **fumaça*** é um fator importante em um incêndio. Uma alta densidade de fumaça dificultará a procura de uma saída de emergência, portanto aumentando o risco aos ocupantes. A fumaça pode ser tóxica ou conter baixo nível de oxigênio, além do que, as partículas de **fuligem*** (quentes) podem bloquear ou afetar seriamente os sistema respiratório. Quando avaliamos a potencial emissão de fumaça dos produtos de Poliestireno Expandido em um edifício sob condições de incêndio, devemos considerar fatores essenciais como o possível alcance da propagação das chamas sobre qualquer superfície destinada a proteger os produtos de Poliestireno Expandido, as condições de ventilação e o grau de decomposição do estireno. Uma superfície de proteção eficaz restringirá o alcance das chamas a regiões onde a proteção falhou ou onde o poliestireno fundido ou produtos gasosos da decomposição tenham escapado por meio de juntas e pequenas fissuras.

É difícil prever com precisão a potencial produção de fumaça pelo EPS devido à ampla variação de condições de combustão que podem ocorrer no mesmo incêndio. As conclusões gerais extraídas de ensaios em pequena escala têm sido confirmadas em situações de incêndio reais. Em um incêndio, os produtos de EPS produzem mais fumaça por unidade de massa do que a maioria dos materiais. Não obstante, devemos considerar que **os produtos de poliestireno expandido contêm somente 2% de volume de matéria sólida.**

Em incêndios reais onde muita fumaça é produzida, geralmente pressupomos que foi originado pelo EPS utilizado no isolamento do revestimento. Em casos extremos esta idéia ocorre em edifícios que nem sequer continham o EPS como isolante. Na realidade, a maior parte da fumaça originada provém de materiais como a madeira, filtros asfálticos e móveis, principalmente depois da primeira fase incipiente do incêndio.

As partículas de fumaça produzidas em um incêndio com chamas são grandes, pretas e irregulares. A densidade da fumaça produzida cresce com o aumento da temperatura e com a intensidade do fluxo de calor sobre o material. Em um incêndio sem chamas, por exemplo, quando os produtos de Poliestireno Expandido permanecem corretamente protegidos e a decomposição ocorre em condições de falta de oxigênio, pequenas partículas esféricas cinzas predominam, com valores de densidade inferiores às condições com chamas.

Quando o EPS exposto (sem revestimento) é queimado uma quantidade considerável de fumaça pesada, densa e preta é gerada, a qual é proporcional à massa consumida pelo fogo. Às vezes argumenta-se que a toxicidade da fumaça é proporcional a sua densidade, mas parece que isso não é bem o caso.

Para aplicações em que usamos o EPS sem revestimento, a quantidade de fumaça é limitada pela relação favorável entre a massa e a superfície de um material de baixa densidade.

Mesmo que um produto de EPS de classe padrão sem revestimento produza muita fumaça, a quantidade total de fumaça é pequena devido à baixa densidade do EPS. Dado que este é utilizado com revestimento em praticamente todos os casos, ou melhor em residências sem risco de incêndio ou entre outros materiais formando uma espécie de sanduíche, seria mais realista avaliar a produção de



Normalmente o EPS está protegido do fogo por materiais que o cercam e somente será afetado pelo fogo quando todo o local estiver envolvido em chamas. Nesses casos, o EPS irá se contrair devido ao calor, mas não queima e não contribui para a propagação do fogo e a quantidade de fumaça será limitada. A produção de fumaça será conseqüentemente pequena.

Podemos concluir que o EPS, quando utilizado corretamente nas aplicações recomendadas, não pressupõe risco maior em matéria de densidade de fumaça.

TOXICIDADE

Conforme descrito anteriormente é difícil prever o comportamento em incêndios reais a partir de ensaios em pequena escala. As mesmas considerações devem ser aplicadas na hora de avaliar o risco de emissões gasosas de materiais em combustão. Na prática, seguimos dois enfoques; primeiramente, determinamos a decomposição térmica dos produtos e a seguir, estudamos seus efeitos biológicos.

É necessário combinar todos os enfoques para termos um quadro global e realista dos riscos.

Mesmo que a combustão do EPS produza fumaça preta, a toxicidade da fumaça liberada é consideravelmente menor do que aquela liberada por outros materiais comumente utilizados. Chegaram-se a essas conclusões em 1980 no Centro de segurança de incêndios do TNO Delf, Centrum voor Brandveiligheid da Alemanha, para as classes de EPS (padrão e tratado com ignífugantes). A toxicidade da fumaça foram medidas para madeira, lã, seda, algodão, algodão tratado com retardantes de chama, e dois tipos de EPS. No caso do EPS, a toxicidade da fumaça foi consideravelmente menor do que aquela liberada por outros materiais.

Uma pesquisa mais detalhada da toxicidade de fumaça de EPS também foi realizada de acordo com o método DIN 53436, um ensaio de toxicidade em pequena escala, o qual demonstrou resultados relevantes para incêndios em escala real.

Nesses ensaios as provetas foram aquecidas a 300, 400, 500 e 600 °C. Além de diversos tipos de EPS, produtos naturais como a madeira de pinho, aglomerado, cortiça expandida e "triplex", cauchu, feltro e couro também foram analisados. Os resultados estão resumidos na tabela a seguir.

TOXICIDADE DE FUMAÇA DO EPS E VÁRIOS MATERIAIS "NATURAIS"

Tipo de Amostra		Composição do gás de combustão em ppm (partes por milhão) a diferentes temperaturas de ensaio			
		300 °C	400 °C	500 °C	600 °C
EPS tipo "F" (com retardante de chama)	Gases despreendidos				
	Monóxido de carbono	10*	50*	500*	1000*
	Estireno monômero	50	100	500	50
	Outros componentes aromáticos	traços	20	20	10
EPS tipo "P" (padrão)	Brometo de Hidrogênio	10	15	13	11
	Monóxido de carbono	50*	200*	400*	1000*
	Estireno monômero	200	300	500	50
	Outros componentes aromáticos	traços	10	30	10
Madeira de pinho	Brometo de Hidrogênio	0	0	0	0
	Monóxido de carbono	400*	6000**	12000**	15000**
Placas de cortiça expandida	Componentes aromáticos	não detectado	não detectado	não detectado	300
	Monóxido de carbono	1000*	3000**	15000**	29000**
Madeira aglomerada	Componentes aromáticos	traços	200	1000	1000
	Monóxido de carbono	14000**	24000**	59000**	69000**

*queimando sem chama

**queimando com chama

Nota: Condições de teste de acordo com norma DIN 53436

Índice de fluxo de ar: 100 l/h. Provetas de: 300x15x20 mm comparadas em condições normais de uso final



Os gases do EPS apresentam, quando muito, um nível de toxicidade equivalente ou inferior à fumaça gerada por produtos naturais em todas as variações de temperatura analisadas.

O resultado do EPS é muito bom baseado no volume das provetas, devido à densidade extremamente baixa e leveza do EPS (98% de ar). Além disso, nenhum efeito negativo foi detectado na presença de retardantes de chama no EPS com ignífugante.

A tabela mostra que quantidades significativas de monóxido de carbono e estireno monômero que são liberadas quando se queima o EPS. Sua toxicidade relativa pode ser estimada a partir dos níveis do seu valor de toxicidade por inalação aguda (L/C_{50} , período de inalação de 30 minutos) sendo que 0,55% v/v para o monóxido de carbono e 1,0 v/v para o estireno.

Portanto, a toxicidade por inalação aguda do estireno é menor que a toxicidade do monóxido de carbono e sua concentração na composição dos produtos de EPS também é menor nas temperaturas elevadas que encontramos durante um incêndio.

O monóxido de carbono pode ser fatal se for inalado a concentrações de 10000 ppm a 15000 ppm durante 1 a 3 minutos. O estireno tem um odor característico que pode ser detectado em concentrações entre 25 ppm a 50 ppm, o qual chega a ser insuportável entre 200 ppm e 400 ppm. O que nos avisa da necessidade de evacuar o local imediatamente. A irritação dos olhos e náuseas podem ocorrer a 600 ppm e alguns danos neurológicos podem ocorrer a 800 ppm. Em um incêndio o estireno provavelmente irá se decompor e formará monóxido de carbono, dióxido de carbono e água.

Para o EPS com retardantes, foram detectados traços de Bromuro de hidrogeno (10 – 15 ppm) pelo método DIN 53436. O valor de LC_{50} do HBr é parecido com o do monóxido de carbono. Como a concentração é tão baixa, em comparação ao monóxido de carbono, sua presença nos gases liberados durante a combustão do EPS com retardantes que são queimados não aumentam significativamente o risco contra a Devido às pequenas quantidades de HBr geradas, não se espera efeitos significativos de corrosão.

A combustão de EPS com retardantes sob as condições prescritas na DIN 53436 não produz traços de dibenzodioxinas bromadas, nem na fase gasosa nem no resíduo sólido, só fornece traços desprezíveis de dibenzofuranos bromados, nenhum dos quais são substâncias tóxicas.

A conclusão após a realização de todos os ensaios é clara e contundente: os gases e a fumaça expelidas durante a combustão do EPS (tanto padrão como aqueles tratados com retardantes) são menos tóxicos do que aqueles expelidos de materiais “naturais”, como a madeira, lã e cortiça, e que na maioria dos plásticos.

FUSÃO E QUEDA DE GOTAS

Conforme exposto anteriormente, **o EPS só deve ser utilizado de forma protegida em locais com risco de incêndio.** Nesse caso, o EPS sempre deve ser tratado com retardantes. Por este motivo, os principais fabricantes de EPS especificam as condições de trabalho e utilização de seus produtos. Além disso, outro fator que poderá contribuir para um incêndio é a posição dos equipamentos, que podem gerar faíscas, causas do incêndio, portanto deve-se sempre manter uma certa distância de segurança (nunca deverá haver contato direto). Somente assim podemos ter segurança com relação ao fogo e reduzimos consideravelmente a possibilidade de gotejamento de EPS fundido.

REVESTIMENTOS PROTETORES



Conforme exposto anteriormente, o EPS, assim como a maioria dos plásticos, é inflamável. **Como regra geral o EPS nunca deve ser instalado de forma desprotegida, caso o local tenha algum risco de incêndio. Portanto recomenda-se que as placas de poliestireno expandido sejam sempre cobertas por uma capa de proteção, adequadamente fixadas para prevenir queda em caso de incêndio.** A proteção da superfície de Poliestireno Expandido com 9mm de espessura de gesso cartonado ou 10 mm de espessura de gesso tem se apresentado adequadamente resistente a flamabilidade, se a capa de proteção for fixada mecanicamente. Em caso de capas sem esse tipo de suporte mecânico, ou seja, simplesmente aplicadas diretamente no EPS, com um isolamento adequado que mantenha a temperatura de interface abaixo dos 100 °C durante um certo tempo, essas capas estarão protegidas desde que sejam mantidas íntegras. Acabamentos finos, como uma camada de gesso, lâmina de alumínio, tintas tratadas com ignifugantes ou capas intumescentes, aplicadas diretamente sobre o EPS podem retardar a ignição até um certo limite, mas uma vez que o material se amolece devido ao efeito do calor, a chama pode penetrar e haverá deterioração progressiva do revestimento.



MUNDO DO ISOPOR



Rua Paraguai, 05 - Jardim América
Cariacica - ES - Cep: 29140-190
TELEFAX: (27) 3344-4447

CONCLUSÕES

Muitos objetos de uso cotidiano que nos rodeiam e fazem parte do nosso conforto diário, representam, em determinadas condições, algum tipo de risco. Não obstante, não prescindimos deles sendo que ao usarmos eles adotamos as medidas de segurança necessárias.

Na segurança contra incêndio em construções devemos avaliar a “**resistência ao fogo**” dos elementos construtivos completos em suas “**condições de uso final**” e não somente a “**reação ao fogo**” de seus componentes de forma isolada.

Esta é a filosofia de segurança com relação ao fogo da União Européia, uma das mais modernas, já que realizaram recentemente a revisão e adequação das normas dos diversos países; com o objetivo de avaliar e estabelecer requisitos para uma estrutura completa em “**condições de uso final**”, para especificar a **contribuição à propagação de incêndio**, a partir da resposta da densidade da carga de fogo sobre a superfície de um componente estrutural. O qual é conhecido como: “Sistema de Classificação de Reação ao Fogo” e substitui as chamadas “**Euroclasses**”.

Dentre os principais fatores, dos quais dependem a duração e a intensidade dos incêndios, podemos citar: “**a carga do fogo**” e “**o grau de inflamabilidade dos materiais**”

O **EPS** contém uma carga de fogo extremamente reduzida devido a sua baixa densidade aparente. Uma unidade de volume de EPS contém de 1,5 a 2,5 % de material plástico e 90% de ar. A igualdade de volume **da quantidade de madeira num eventual incêndio, é 10 vezes maior do que de EPS**, e isso considerando combustão completa, para a qual um EPS de 15 kg/m³ precisaria de **150 vezes seu próprio volume em ar**, com o qual dificilmente liberaria seu potencial de calor completamente.

O **EPS com retardante de chama** é classificado por normas distintas, nacionais e internacionais, como “**difícilmente inflamável**” ou “**de propagação de chama extremamente baixa**”.

Quando o EPS está dentro do interior das paredes, protegido por capas de reboque, ou colocado entre placas de concreto armado e contra-pisos, não produz queima e combustão do material enquanto não houver oxigênio suficiente. Os elementos construtivos elaborados com **concreto celular** com EPS mostram comportamento excelente em casos de incêndio, sendo muito adequados, inclusive para **muros corta-fogo**.

Recomenda-se fortemente que o Poliestireno Expandido esteja sempre protegido por revestimento, ou totalmente encapsulado.

O EPS não pode ser inflamado por faíscas ou metal candente de soldas elétricas, curto-circuito ou cinzas acesas de cigarros.

A **fumaça** é um fator importante em um incêndio. De acordo com as condições do próprio **EPS**, pode-se produzir mais fumaça por unidade de massa do que outros materiais no entanto deve-se levar em conta que **os produtos de EPS contém somente 2% de matéria sólida**.

Em termos de toxicidade em caso de incêndio, a conclusão a partir de estudos realizados é clara e contundente: os gases e fumaça liberados durante a combustão do **EPS** (tanto padrão como aqueles tratados com retardantes) **são menos tóxicos** do que aqueles liberados na combustão de materiais “naturais”, como a madeira, linho, lã e cortiça, e do que na maioria dos plásticos.

Quando consideramos todos esses fatores, podemos concluir que os produtos de Poliestireno Expandido EPS, quando instalados corretamente nas aplicações recomendadas, não representam um particular risco de incêndio, nem tampouco se destacam como incremento significativo na densidade da fumaça, nem pela toxicidade das mesma.



CUIDADOS GERAIS NA ARMAZENAGEM DE EPS

Conforme já mencionado sob determinadas circunstâncias, os produtos de poliestireno expandido podem queimar rapidamente se forem expostos diretamente a uma chama. Devemos tomar as devidas precauções para evitar esse contato direto com diferentes fontes de ignição enquanto manipulamos ou armazenamos o material antes e depois da sua instalação. O EPS com retardantes de chama estão disponíveis quando necessário, particularmente quando devemos considerar os requisitos em matéria de propagação da chama.

Com relação à geração de pó durante a produção e processo de transformação de EPS, por exemplo no tratamento mecânico da espuma, devemos observar os mesmos procedimentos de segurança, os quais observamos para o pó dos demais materiais orgânicos.

BIBLIOGRAFIA E REFERÊNCIAS

1. Norma IRAM 3900-1. FOGO E INCÊNDIO. Definições básicas. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, Junho 1995.
2. "La seguridad contra incendios: Cielorrasos Suspendidos con Alma de Poliestireno Expandido". Bittner Paul U. Ficha técnica para Horn y Cía S.R.L.. Santa Fé, Argentina (sem data determinada)
3. 'Heat release rates from samples of polymethylmethacrylate and polystyrene burning in normal air', Tewarson, A., *Fire and Mat.* 1976:90-96.
4. 'Flammability of Polymers and organic liquids, Part 1, Burning intensity' Tewarson, A., *Factory Mutual Research Corp.* Fevereiro 1975. Serial No. 22429.
5. 'Stored Plastics test program', Dean, R.K., *Factory Mutual Research Corp.* junho 1975. Serial No. 20269.
6. Norma DIN 4102-1: Materiais de Construção; Definições, Requisitos e Ensaios. Editorial Beuth GMBH, Berlín, maio 1981.
7. Norma IRAM 11910-1: Materiais de Construção. Reação ao fogo. Classificação de acordo com a Combustibilidade e com o Índice de Propagação Superficial da chama. Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires, maio 1994.
8. 'Fire behaviour of expanded polystyrene (EPS) foam', 18.12.1992, APME Association of Plastics Manu facturers in Europe.
9. 'Fire tests on expanded polystyrene lined cavity walls for EPPMA.', Redland Research and Development Ltd., agosto 1974. Report No. 775-01.
10. 'Fire performance of combustible insulation in masonry cavity walls.' Rogowski, B. F. W., *Fire Safety Journal*, Vol 8, pgs. 119 – 134.
11. 'Investigating the contribution to fire growth of combustible materials used in building components', Rogowski, B. F. W., *New Technology to Reduce Fire Losses and Costs* (Grayson and Smith Ed). Elsevier Applied Science Publishers 1986.
12. 'Fire performance of building elements incorporating cellular polymers.' Rogowski, B. F. W., *Polímeros Celulares* 4 (1985)325-338
13. Fire performance of external thermal insulation for walls of multi-storey buildings. Rogowski, B. W. F., Ramaprasad, R. e Southern J. R., *BRE Report* 1988.
14. 'Forschungsberich nr. 104-03-362, Untersuchung der möglichen Freizsetzung von polybromierten Dibenzodioxinen und Dibenzofuranen beim Brand flammgeschützter Kunststoffe' april 1990, Umweltbundesamtes.
15. Hoechst, informatie aangaande HBCD, 19 mei 1992, met bijlage 'Sachstand polybromierte Dibenzodioxine (PBDD) polybromierte Dibenzofurane, februari 1989, Umweltbundesamt.
16. Eurobrom bv, informatie aangaande FR-1206 HBCD/milieuaspecten en bijlage Bromine Ltd. FR-1206, Hexabromocyclododecane HBCD, 4 juni 1992.
17. 'Lebenswegbilanz von EPS-Dämmstoff', 1 September 1993, Interdisziplinäre Forschungsgemeinschaft Info – Kunststoff e.V., Berlin.

Referência geral: "**Behaviour of EPS in case of fire**". European Manufacturers of EPS (EUMEPS). Agosto, 2002. Versão original em PDF: <http://www.eumeps.org/literat.htm>. Versão em espanhol "Comportamento do EPS em caso de incêndio". Versão em PDF no site: www.aape.com.ar, na página "Biblioteca".

GLOSSÁRIO



**Fonte: Norma IRAM 3900-1. FOGO E INCÊNDIO. Definições básicas. Instituto Argentino de Racionalização de Materiais. Buenos Aires, junho 1995.*

calor de combustão (J / kg) (também: poder calorífico). Energia calorífica total por unidade de massa, que pode ser gerada pela combustão completa de um material.

carbonização. Formação de um resíduo carbonoso durante pirólise ou pela combustão incompleta.

carga de incêndio (J). Somatória das energias caloríficas que podem aumentar durante a combustão completa de todos os materiais combustíveis em um local, incluindo: revestimento de muros, pisos, tetos e divisórias.

combustível. Material suscetível a entrar em combustão.

combustão repentina generalizada (“flash over”). Transição súbita ao estado de combustão generalizada de toda superfície do conjunto dos materiais combustíveis incluídos dentro de um recinto.

combustão sem chama. A combustão que é produzida de forma lenta no material sem emissão visível de luz e geralmente percebida pela elevação de temperatura ou liberação de fumaça.

densidade da carga de incêndio (J / M²). Carga de incêndio por unidade de superfície.

acender. Iniciar uma combustão.

fogo. Processo de combustão caracterizado pela emissão de calor acompanhado por fumaça, chama ou ambos.

fonte de ignição. Utilizada para acender materiais ou produtos combustíveis.

frente da chama. Limite da zona de combustão na fase gasosa, na superfície de um material.

fuligem. Partículas basicamente carbonosas, produzidas ou depositadas no transcurso da combustão incompleta de materiais orgânicos.

fumaça. Suspensão de partículas sólidas e/ou líquidas na forma de gases, visíveis, resultantes de uma combustão ou pirólise.

ignição. Início da combustão.

ignição. (do latim *ignire*, acender) – s.f. Ação ou efeito de um corpo inflamado, se for inflamado, ou aquecido por forte calor, se for incombustível. // 2. Ação e efeito de se iniciar uma combustão. (Definição do dicionário da Real Academia da Língua Espanhola).

incandescência. Emissão de luz produzida por um material quando ele é aquecido intensamente. Pode ser produzido com ou sem combustão.

incêndio. Combustão rápida que se desenvolve sem controle de tempo e espaço.

não-inflamável. Material incapaz de manter uma combustão.

inflamabilidade. Habilidade que um material tem de queimar com chama.

inflamável. Material capaz de queimar com chama.

chama. Zona de combustão em fase gasosa caracterizada pela emissão de luz.

não inflamável. Material não-suscetível à queima com chama.

pirólise. Decomposição química irreversível de um material devido a um aumento de temperatura na ausência de oxigênio.

poder calorífico inferior (PCI). Quantidade de calor gerado pela combustão completa da unidade de massa do material, devendo causar a produção de água em estado de vapor.

Nota: O poder calorífico inferior é determinado pelo cálculo a partir da medição do poder calorífico superior. Pode ser utilizado diretamente nas condições normais de combustão, designando a menor Calor de combustão. Caso o produto da combustão não contenha água, o poder calorífico inferior coincide com o valor do*.

poder calorífico superior (PCS). Utilizar valor calorífico real.

propagação de chama. A frente da chama*. (Segundo a norma IRAM 11910-3/94; no item 3 “Definições”):

índice de propagação de chama. Função do produto entre o fator de evolução de calor e o fator de propagação da chama.



fator de evolução de calor. *Relação entre a variação de temperatura em um ensaio, devido à combustão do material e à função do progresso do calor.*

fator de propagação de chama. *Velocidade com que a chama cobre a superfície do material em condições de ensaio.*

queimar. *Entrar em estado de combustão.*

reação ao fogo. *Comportamento de um material perante o fogo a que está exposto e ao que contribui de acordo com sua própria decomposição.*

resistência ao fogo (min). *Habilidade de um elemento de construção, componente ou estrutura, de conservar durante um certo tempo à carga necessária, a estanquidade e/ou isolamento térmico, especificados em ensaios de resistência ao fogo específicos da norma correspondente (IRAM 11950).*

retardo de chama. *Propriedade inerente ou obtida de um material, pela adição de produto ou de um tratamento aplicado que permite suprimir, reduzir, retardar sensivelmente a propagação de chamas ou aumentar a temperatura de ignição.*

retardantes de chama. *(retardante de chama) Produto agregado ou tratamento aplicado a um material para suprimir, reduzir, retardar sensivelmente a propagação de chamas ou aumentar a temperatura de ignição.*

retardador de combustão. *Produto agregado ou tratamento aplicado a um material para suprimir, diminuir, retardar significativamente ou atrasar a sua combustão.*

temperatura de ignição (°C). *A temperatura mínima de um material ao qual se inicia uma combustão obtida por meio de uma fonte auxiliar de ignição.*

temperatura de ignição espontânea (°C). *A temperatura mínima pelo qual se obtém a ignição por aquecimento, na ausência de uma fonte auxiliar de ignição.*

Nota: *Também chamada de “temperatura de auto-ignição”.*

tempo de propagação de chama(s). *Aquele que dá origem à chama de um material em combustão, para se propagar sobre uma distância ou superfície estabelecida.*

tratamento retardador de chama. *Procedimento que melhora o retardo da chama de um material.*

valor calorífico real; liberação de calor (J/kg). *Energia calorífica por unidade de massa liberada durante a combustão.*

velocidade de propagação da chama (m/s). *Distância percorrida, em uma unidade de tempo, pela frente da chama durante sua propagação.*

velocidade linear de combustão (m/s). *A extensão do material queimado por unidade de tempo.*

velocidade superficial de combustão (m²/s). *A superfície do material queimado por unidade de tempo.*