

COMPORTAMENTO AO FOGO DOS POLÍMEROS HALOGENADOS (PVC, CPVC, PTFE)

Fire behavior of halogenated polymers (PVC, CPVC, PTFE)

Marina da Fontoura

Soldado do Corpo de Bombeiros Militar de Santa Catarina. Serviço de Segurança Contra Incêndios. Engenheira Eletricista pela Universidade Federal de Santa Catarina. Email: marinaf@cbm.sc.gov.br

RESUMO

O foco do presente artigo é apresentar uma revisão sobre o comportamento dos polímeros halogenados policloreto de vinila (PVC), policloreto de vinila clorado (CPVC) e politetrafluoretileno (PTFE) quando submetidos ao fogo. Dentro deste contexto, os objetivos do trabalho são: apresentar um enquadramento dos polímeros halogenados PVC, CPVC e PTFE, suas propriedades e suas aplicações na indústria e na construção civil e, por fim, analisar como reagem quando submetidos às chamas, como a exemplo de casos de incêndios. Este artigo também cita algumas das principais normativas que regem o uso destes materiais e também alguns testes empregados para determinar suas propriedades de interesse.

Palavras-chave: Polímeros halogenados; PVC; CPVC; PTFE; fogo.

ABSTRACT

This article is a review of the fire behavior of halogenated polymers: polyvinyl chloride (PVC), chlorinated polyvinyl chloride (CPVC) and polytetrafluoroethylene (PTFE). Under this context, the purposes of the article are to: present a framework of the halogenated polymers PVC, CPVC and PTFE, their properties and their applications in industry and civil construction and, finally, analyze how they behave to fire, as in the example of fire cases. This article also points some of the main regulations governing the use of these materials and also some tests used to determine their properties of interest.

Keywords: Halogenated polymers; PVC; CPVC; PTFE; fire.

1 INTRODUÇÃO

Os crescentes avanços nas ciências dos polímeros nas últimas décadas ocasionaram a introdução da presença de um grande número de diferentes polímeros com diferentes aplicações e propriedades na indústria e na construção civil. Esse incremento no volume de polímeros presentes na vida das pessoas vem acompanhado de diversas incertezas quanto a confiabilidade de seu uso. Assim, buscando esclarecer uma parte dessas dúvidas, o presente artigo traz uma breve revisão bibliográfica sobre o comportamento do PVC, CPVC e PTFE quando submetidos ao fogo.

O assunto tratado nesse trabalho tem como foco o comportamento dos polímeros halogenados, que compõem uma grande porcentagem do total dos polímeros utilizados atualmente, principalmente devido ao policloreto de vinila

(PVC), um material utilizado em larga escala em variados setores, em razão do seu custo-benefício. Tratando-se mais especificamente de situações em que os materiais poliméricos são submetidos ao fogo, como a exemplo de incêndios, é necessário que se conheça as propriedades comportamentais desses materiais, para que seja assegurado o seu uso de forma a não trazer maiores prejuízos nessas situações. Deseja-se que esses materiais não se tornem um problema a mais no caso de incêndios, trazendo riscos às pessoas e bens presentes no local.

Neste contexto, os meios de divulgação científica e tecnológica ganham uma significativa importância no sentido de trazer à luz a necessidade do conhecimento do uso correto desses materiais no que tange a prevenção contra incêndios.

2 REVISÃO

2.1 POLÍMEROS

Um polímero é uma macromolécula, cuja estrutura consiste em muitas unidades de repetição, denominadas meros, unidas por ligações covalentes. O monômero, molécula com uma unidade de repetição, é a matéria-prima de um polímero. A depender da estrutura química do monômero, do número médio de meros por cadeia e do tipo de ligação covalente, há a estruturação de diferentes tipos de polímeros, divididos em três classes: plásticos, borrachas e fibras (CANEVAROLO JR, 2006).

Os polímeros halogenados são polímeros compostos por átomos de elementos halogêneos, nesses casos, mais especificamente, o cloro e o flúor. Na seção seguinte serão apresentadas as características dos polímeros halogenados: PVC, CPV e PTFE.

2.1.1 Comportamento térmico dos polímeros

Para o escopo deste trabalho, existem duas temperaturas de transição que os polímeros podem apresentar que são importantes: transição vítrea e fusão cristalina.

2.1.1.1 Temperatura de transição vítrea T_g

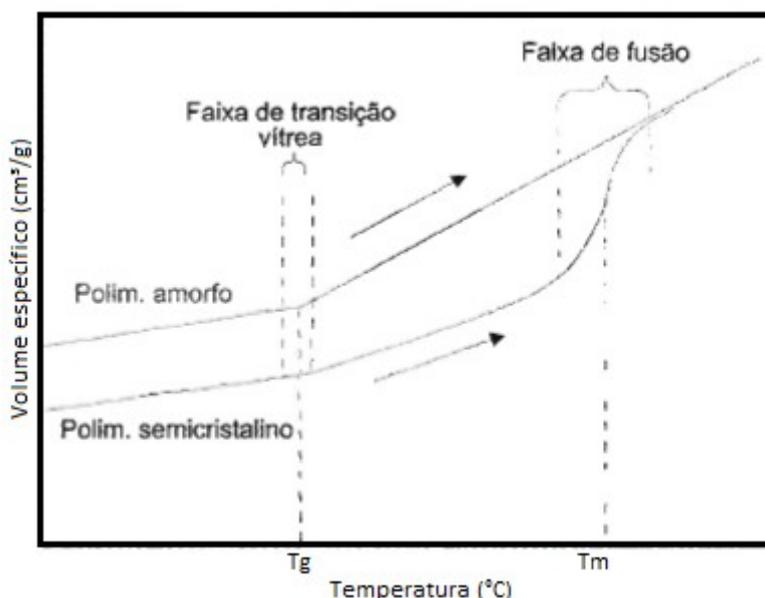
A temperatura de transição vítrea (T_g) é o valor médio da faixa de temperatura que, durante o aquecimento de um polímero, permite que as cadeias poliméricas da fase amorfa adquiram mobilidade, ou seja, tornem o material "maleável". Abaixo da T_g , o material está no estado vítreo, apresentando-se duro, rígido e quebradiço como um vidro. Algumas propriedades são alteradas com a T_g e, dessa forma, podem ser utilizadas para a sua determinação, essas propriedades são: módulo de elasticidade, coeficiente de expansão, índice de refração, calor específico, etc (CANEVAROLO

JR, 2006, p. 149).

2.1.1.1 Temperatura de fusão cristalina T_m

A temperatura de fusão cristalina (T_m) é o valor médio da faixa de temperatura em que desaparecem as regiões cristalinas com a fusão dos cristalitos, durante o aquecimento do material. É a temperatura na qual a energia do sistema atinge o nível necessário para vencer as forças intermoleculares secundárias entre as cadeias da fase cristalina, ocorrendo assim, a mudança do estado borrachoso para o estado viscoso (fundido). Tal transição ocorre apenas na fase cristalina, logo, só tem sentido se aplicada para polímeros semicristalinos. Esta é uma mudança termodinâmica que afeta variáveis como o volume específico, entalpia.

Figura 1 - Variação do volume específico com o aumento da temperatura mostrando as faixas



Fonte: Canevarolo Jr (2006, p. 152).

2.2 POLICLORETO DE VINILA (PVC)

O policloreto de vinila, mais comumente conhecido como PVC, abreviação baseada em sua nomenclatura em inglês, é um polímero de origem sintética e sua fórmula química é a $(C_2H_3Cl)_n$. É extremamente versátil, devido à possibilidade de sua formulação poder incorporar diversos tipos diferentes de aditivos, a depender das características desejadas, tais como rigidez e opacidade.

O PVC é um polímero clorado e em sua forma pura é composto 57% de cloro, oriundo do processo de eletrólise de sal marinho, e 43% de eteno, geralmente, derivado do petróleo. Nessa forma, a resina do PVC é um pó branco sem nenhuma aplicabilidade industrial, sendo necessária a incorporação de produtos químicos, os aditivos, formando o composto de PVC, que assim

pode ser usado na fabricação dos materiais desejados (ARANDA EDITORA TÉCNICA E CULTURAL, 2020).

O cloro presente na estrutura molecular do PVC causa um aumento nas interações intermoleculares entre as cadeias, tornando o polímero rígido. No entanto, a sua polaridade facilita a interação com os aditivos, como plastificantes, que causam uma diminuição nas interações secundárias, tornando possível lhe conferir mais flexibilidade (ARANDA EDITORA TÉCNICA E CULTURAL, 2020).

2.2.1 Propriedades do PVC

O PVC é um material de comportamento mecânico termoplástico, ou seja, possui cadeias poliméricas unidas por forças de atração intermolecular secundárias e relativamente baixas, fazendo com que o polímero amoleça ao ser aquecido e enrijeça ao resfriar. Suas cadeias poliméricas não são ordenadas, sendo classificado como um material de organização molecular amorfa. Outra importante característica do material é seu comportamento antichama, visto que o material tem um baixo potencial inflamável e, no caso de não possuir uma fonte externa de calor, as chamas se extinguem.

2.3 POLICLORETO DE VINILA CLORADO (CPVC)

O policloreto de vinila clorado, também conhecido como CPVC, é o nome dado às resinas termoplásticas produzidas pela pós-cloração de resina de PVC. A pós-cloração é um processo realizado através de reações via radicais livres, tipicamente iniciadas pela aplicação de energia térmica ou ultravioleta. Em geral, o gás cloro é forçado a passar em contra-corrente com a lama de resina de PVC proveniente do reator de polimerização e, uma vez decomposto em radicais cloro, substitui parte dos átomos de hidrogênio presentes nas cadeias do PVC, aumentando o teor de cloro do polímero base de 56,7% para valores tipicamente entre 63% e 68%, podendo atingir até mesmo valores tão altos quanto 73,2%, o máximo teor de cloro teoricamente substituível no PVC.

Como efeito principal do aumento do teor de cloro nas cadeias do PVC, tem-se o aumento das forças de atração intermoleculares, as quais promovem assim aumento das propriedades térmicas, resistindo a temperaturas mais elevadas. O material também significativamente mais flexível que o PVC.

O desenvolvimento do CPVC ocorreu exatamente pela necessidade de obter-se um termoplástico que pudesse ser usado não só para condução de água fria, mas também, de água quente. A utilização do CPVC ocorre desde 1960, na Europa e Estados Unidos da América, onde tem um histórico de sucesso e de grande aceitação desde então.

O CPVC tem como principais aplicações a fabricação de tubos e de conexões para condução de água quente e de fluidos industriais, chapas, tarugos e outros produtos para conformação de tanques, placas, elementos de dutos, filtros, válvulas e bombas, ou mesmo como aditivo em formulações de compostos de PVC, substituindo uma parte da resina convencional, visando

melhoria de propriedades térmicas e resistência química (NUNES *et al.*, 2006).

2.3.1 Propriedades do CPVC

O material possui uma boa inércia química, em especial frente à corrosão galvânica, que, aliada à resistência à temperatura, fazem do CPVC um material bastante utilizado em sistemas de combate a incêndio, tais como aqueles utilizados na alimentação de sistemas de *sprinklers* (NUNES *et al.*, 2006, p. 184).

Figura 2 – Comparativo de propriedades de resinas de PVC versus CPVC

| Propriedade | PVC homopolímero | CPVC (típico) | CPVC (máximo teor de cloro teórico) |
|--|------------------|---------------|-------------------------------------|
| Teor de cloro (%) | 56,8 | 63 - 68 | 73,2 |
| Densidade (g/cm ³) | 1,40 | 1,52 - 1,59 | 1,70 |
| Temperatura de transição vítrea, T _g (°C) | 80 - 84 | 99 - 123 | 175 |
| Temperatura máxima de serviço em uso contínuo (°C) | 65 | 90 | - |
| Temperatura máxima de serviço em uso intermitente (°C) | 80 | 110 | - |

Fonte: Nunes *et al.* (2006, p. 185).

2.4 POLITETRAFLUORETILENO (PTFE)

O politetrafluoretileno, ou PTFE, é um polímero fluorado mais conhecido e empregado, devido às suas características de alta estabilidade térmica, baixo coeficiente de atrito e inércia química. Tais características advêm da presença de grandes átomos de flúor na sua composição, que causam forças intermoleculares altas, promovendo assim rigidez à macromolécula e dificultando mudanças de conformação (CANEVAROLO JR, 2006, p. 48).

O PTFE não só é um polímero adequado para uso em altas temperaturas como também em baixas, tendo propriedades mecânicas úteis em temperaturas criogênicas até -200 °C.

2.4.1 Propriedades do PTFE

Algumas propriedades do PTFE são:

- resistência à agentes corrosivos, pois é quimicamente inerte. Somente os metais alcalinos fundidos e o trifluoreto de cloro ou difluoreto de oxigênio podem alterar sua estrutura físico-química;
- antiaderência: devido à composição do material, nada adere à superfície do PTFE. No entanto, nos casos em que se fizer necessário, pode-se tornar sua superfície aderente a qualquer outro material através de um tratamento superficial;
- atoxicidade: o PTFE é um material atóxico, sendo inclusive apto para contatos com alimentos;

- d) resistência à temperatura: o politetrafluoretileno resiste a temperaturas que variam entre -200°C a 260°C;
- e) isolante elétrico: o material possui propriedades elétricas que o caracterizam como um excelente isolador elétrico
- f) flexibilidade.

O politetrafluoretileno possui diversas aplicações muito úteis em diversas áreas do mercado, as quais cabem destacar: o revestimento de frigideiras, coberturas de estádios esportivos, componentes de graxas, fitas veda-rosca, revestimentos internos de tubulações, entre outros (WIEBECK; HARADA, 2005, p. 232).

2.5 APLICAÇÕES DOS POLÍMEROS

Os materiais plásticos desempenham um papel importante em setores como na indústria e na construção civil, áreas em que têm ganhado cada vez mais espaço nas últimas décadas. Os polímeros já são citados como detentores do segundo maior volume de mercado, quanto à sua utilização como matéria-prima, na área de construção civil, ficando atrás apenas para o mercado de embalagens.

A eficiência desses materiais tem ocasionado uma maior presença dos polímeros em projetos, buscando substituir materiais largamente utilizados nas obras, materiais estes considerados de maior nobreza, como o aço, madeira, barro e até mesmo o concreto.

Os polímeros possuem diversas aplicações na área, como por exemplo: revestimento de pavimentos, acabamento interior de paredes, canalizações, artigos sanitários, colas e mastiques, estores, corrimãos, acessórios de iluminação, puxadores, fechos, caixilharias, cofragens, pisos (HIPOLITO *et al.*, 2013, p. 1).

2.5.1 PVC

As aplicações do policloreto de vinila diretamente ligadas à construção civil, que englobam tubos, conexões, perfis, fios e cabos, somam aproximadamente 64% da demanda total do material no Brasil. Em tais aplicações, o PVC mostra-se uma ótima opção em relação ao custo-benefício quando comparada a outros tipos de materiais como madeira, metais e cerâmicas. O material também possui um tempo de vida útil que varia de 50 a 100 anos.

Além disso, o PVC apresenta vantagens em propriedades de interesse, como por exemplo, comportamento antichama, durabilidade, resistência às intempéries, isolamentos acústico e térmico, fácil instalação e pouca manutenção. Outro fator que contribui para o grande volume de uso do policloreto de vinila na construção civil é a sua baixa propagação de chamas, que ocorre naturalmente devido ao átomo de cloro presente em sua estrutura, tornando o material uma ótima opção para aplicações em fios e cabos

elétricos, eletrodutos, forros e revestimentos (ZAIONCZ, 2004, p. 9).

2.5.2 CPVC

O policloreto de vinila clorado possui aplicações importantes na engenharia, devidas às suas características, como maior resistência à compressão e às variações de temperatura. O CPVC pode ser utilizado para produzir tubos de água quente, tubos de cloro, tubos de ácido sulfúrico, bainhas de cabos elétricos de alta pressão, conexões e válvulas, entre outros.

Dependendo do grau de cloração, o CPVC pode ser alterado para a fabricação de materiais compostos. Além disso, o CPVC também é usado como um modificador para plásticos com uma mistura termoendurecível, que causa uma melhora no desempenho do material (NUNES *et al.*, 2006, p. 184).

O CPVC é um material inerte a diversos produtos químicos que tendem a corroer os metais. Essa resistência química inerente do CPVC, associada à sua resistência à temperatura e à pressão, permite sua utilização em uma grande variedade de aplicações industriais e comerciais.

Tratando-se de aplicabilidade na construção civil, o policloreto de vinila clorado é principalmente utilizado em tubos, conexões, dutos, chapas de revestimento e em um tipo de sistema de segurança contra incêndios em edificações: os chuveiros automáticos, também conhecidos como *sprinklers*. O uso de um polímero em um sistema utilizado no combate à princípios de incêndio pode parecer estranho, mas isso se deve não só à sua maior resistência à pressão, como também ao fato de o CPVC atuar como um retardador de chama, evitando que o material queime, devido à maior concentração de cloro em sua composição (NUNES *et al.*, 2006, p. 185).

2.5.3 PTFE

O politetrafluoretileno possui uma ampla variedade de propriedades que garantem que suas aplicações sejam versáteis. No entanto, dentre todas essas propriedades, as mais populares são as propriedades antiaderentes do material, sendo muito usado como revestimento em painéis, mais conhecidas como painéis de Teflon (marca registrada), ou como fitas de vedação.

Porém, o PTFE também é bastante usado em aplicações industriais: na indústria de alimentos, na indústria química, na construção de máquinas e para aplicações médicas. Na construção civil, o PTFE possui aplicabilidade em coberturas, parafusos, porcas, ruelas, buchas e revestimentos de tubulações (WIEBECK; HARADA, 2005, p. 230).

Outras áreas importantes de aplicação do material PTFE são em equipamentos de processos químicos, isolamento de cabos para altas temperaturas e componentes elétricos moldados. Os compostos de PTFE aditivados são usados como espessadores, anéis e selos em compressores. Também são utilizados em aplicações hidráulicas, sistemas automotivos e blocos de amortecimento para pontes, tubulações, ferramentas, equipamentos para processamento de alimentos e partes de equipamentos para transporte

(WIEBECK; HARADA, 2005, p. 230).

3 COMPORTAMENTO AO FOGO

Para que seja realizada uma análise dos riscos relacionados com determinado material quando submetido ao fogo, devem ser observados diferentes fatores, como propensão à ignição, propagação de chamas, liberação de calor, liberação de gases tóxicos, perda de visibilidade pela fumaça e facilidade e extinção. Nas próximas seções, serão tratados esses fatores para o caso dos polímeros halogenados.

3.1 POLÍMEROS: PROCESSO DE QUEIMA

O processo da queima de um polímero divide-se em cinco etapas, como ilustrado na Figura 2. Na primeira etapa, ocorre o aquecimento. Uma fonte externa fornece calor para o polímero, o qual tem sua temperatura elevada progressivamente. Essa transferência de calor pode ocorrer por contato direto com a chama, por meio do contato com gases quentes ou ainda, por meio de condução. Na segunda etapa, acontece a pirólise, na qual os diferentes componentes do polímero atingem temperaturas de decomposição e começam a liberar substâncias como gases, líquidos, partículas e radicais livres. Essas diferentes substâncias combinadas dão origem à fumaça (GALLO; AGNELLI, 1998, p. 23).

Figura 3 - Curso do fogo



Fonte: Gallo e Agnelli (1998, p. 24).

A terceira etapa do processo de queima do polímero é caracterizada pela ignição. Os produtos liberados na pirólise desprendem-se da superfície do material e encontram o oxigênio ambiente, em uma região conhecida por zona de queima gasosa, na qual as condições de temperatura e o acúmulo de gases possibilitam que ocorra uma ignição por fonte de calor externa ou uma autoignição. A temperatura do primeiro fenômeno é conhecida por ponto de fulgor e a do segundo, ponto de ignição (GALLO; AGNELLI, 1998, p. 24).

Na quarta etapa, ocorre a combustão e a propagação das chamas. Os componentes liberados na pirólise desencadeiam reações de combustão, cujo calor liberado dá início a um processo de retroalimentação térmica. Esse processo sustenta a queima e a pirólise enquanto houver material combustível

disponível, fazendo com que o fogo se propague no ambiente. Por fim, na última etapa, tem-se a extinção da chama. Após o fogo se alastrar por todo o material polimérico, o combustível e o oxigênio vão diminuindo, até o ponto em que a reação de combustão se torna insustentável e o fogo se extingue (GALLO; AGNELLI, 1998, p. 25).

3.2 COMPORTAMENTO AO FOGO DO PVC

Em decorrência da presença do átomo de cloro nas resinas de PVC, esse material possui a característica inerente de inibição da propagação de chamas e de autoextinção (capacidade do material de cessar a combustão logo após a remoção da fonte de calor). Tais características são decorrentes do efeito de captura e de estabilização dos radicais livres formados na etapa de pirólise, por meio da liberação de radicais cloreto no processo de decomposição do polímero PVC, conseqüentemente ocasionando a redução do efeito de propagação da reação de combustão.

Devido à presença de aditivos como óleos plastificantes, as formulações de PVC flexível são mais susceptíveis ao fogo que as formulações rígidas, uma vez que o teor de cloro na massa do produto é menor no primeiro caso. Por outro lado, existem aditivos que podem ser classificados como retardantes de chama ou supressores de fumaça (NUNES *et al.*, 2006, p. 166).

Os aditivos retardantes de chama reduzem a capacidade de propagação da chama e aumentam a tendência do PVC para a autoextinção do fogo. Nessa classe de aditivos, destacam-se os compostos de antimônio, as parafinas cloradas e os plastificantes fosfatados. Todos esses aditivos agem principalmente na etapa de pirólise, capturando e estabilizando os radicais livres formados e evitando a propagação da reação de combustão. Os compostos fosfatados possuem ainda o efeito de formação de uma camada protetora na superfície do material durante o processo de combustão, camada essa que age como barreira de isolamento entre os gases combustíveis provenientes do material polimérico em decomposição e o oxigênio atmosférico, impedindo a continuidade do processo de queima (NUNES *et al.*, 2006, p. 167).

Por sua vez, os aditivos supressores de fumaça atuam na redução da combustibilidade, liberando gases ou vapores que diluem os produtos formados durante a queima do PVC. Os principais aditivos supressores de fumaça empregados em formulações de PVC são a alumina trihidratada (ATH), o borato de zinco e os estانات de zinco (hidratados e anidros), os quais, quando expostos a altas temperaturas, decompõem-se absorvendo grande quantidade de energia da chama, e liberando vapor de água. Esse vapor dilui o oxigênio necessário à manutenção da combustão, bem como os gases de combustão (NUNES *et al.*, 2006, p. 167).

3.2.1 Ignitabilidade

A taxa de liberação de calor de um material em condição de incêndio é a propriedade mais importante para se determinar o risco deste material em iniciar ou sustentar um incêndio real. A técnica de calorimetria de cone (ASTM E1354 ou ISO 5660-1) é a mais completa metodologia disponível atualmente para avaliar as propriedades de combustão. O PVC pode ser considerado um material antichama, pois não entra em ignição por meio de fontes comuns geradoras de incêndios, como fagulhas, faíscas etc. Quanto mais tempo um material levar para entrar em ignição mediante um fluxo de calor incidente mais seguro ele é (INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC, 2018, p. 8).

Tabela 1 – Ignitabilidade de materiais no calorímetro do cone

| MATERIAL | Tempo (s) para ignição sob fluxo de calor | | |
|---------------|---|----------------------|----------------------|
| | 20 kW/m ² | 40 kW/m ² | 70 kW/m ² |
| PVC antichama | 236 | 47 | 12 |
| PVC flexível | 102 | 21 | 15 |
| CPVC | 10.000 | 621 | 372 |
| PTFE | 10.000 | 10.000 | 252 |

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro do PVC (2018).

3.2.2 Facilidade de extinção

Após ter sofrido ignição, o material terá um menor risco de incêndio quanto mais facilmente sua combustão for extinta. A propriedade da facilidade de extinção é determinada, por exemplo, através do ensaio de índice de oxigênio (LOI; ASTM D2863). Sendo que a concentração de oxigênio na atmosfera é de aproximadamente 20%, um material que apresente um índice de oxigênio superior a este valor tenderá a apresentar o comportamento denominado autoextinguível, incapaz de sustentar a combustão uma vez retirada a fonte de calor. Produtos em PVC apresentam a característica de possuírem difícil manutenção da combustão: uma vez cessado o fornecimento de energia, o PVC mostra-se um material incapaz de sustentar a combustão (INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC, 2018, p. 12).

Tabela 2 – Valores de índice de oxigênio (LOI, ASTM D2863)

| MATERIAL | LOI (%) |
|--------------|---------|
| PVC rígido | 47 |
| PVC flexível | 21 - 36 |
| MATERIAL | LOI (%) |
| CPVC | 62,2 |
| PTFE | 95 |

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro do PVC (2018).

3.2.3 Propagação de chamas

Compreender a tendência de propagação de chamas que um material tende a possuir é muito importante para entender o perigo potencial de um incêndio. Os testes de propagação de chama podem ser realizados com os próprios materiais de interesse.

Vários métodos de ensaio são previstos para a avaliação da propagação de chamas, alguns dos métodos mais importantes previstos nas normas são: ASTM E84 (túnel de Steiner), ASTM E162 ou ABNT NBR 9442 (painel radiante) e ASTM E1321 (teste de ignição lateral e propagação de chamas, ou LIFT). Os resultados dos testes são apresentados em índice de propagação de chama (flame spread index, FSI ou I_p).

Os produtos produzidos com materiais em PVC apresentam reduzidos valores de índice de propagação de chamas, logo, reduzida contribuição na propagação de incêndios (INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC, 2018, p. 14).

Tabela 3 – Valores de índice de propagação de chama (I_p , ASTM E162)

| MATERIAL | I_p |
|------------|-------|
| PVC rígido | 10 |
| CPVC | 4 |

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro do PVC (2018).

3.2.4 Liberação de calor

A taxa de liberação de calor está diretamente ligada às proporções de um incêndio, visto que, o fogo só se propagará em um material em combustão, se houver liberação de calor suficiente para promover a combustão de outros materiais. Sua determinação é realizada, por exemplo, via calorimetria de cone (INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC, 2018, p. 16).

Os materiais de PVC, por possuírem taxas de liberação de calor menores do que outros materiais, não contribuem para o aumento da extensão das chamas dos incêndios em que está envolvido. Isto também se dá por dois outros fatores: ele carboniza a superfície que está logo abaixo da chama, isolando o material do oxigênio, e também pelo fato de o cloreto de hidrogênio atuar como um inibidor de combustão (INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC, 2018, p. 16).

Tabela 4 – Valores de calor de combustão

| MATERIAL | Calor de combustão (MJ/kg) |
|------------------------|----------------------------|
| PVC, composto rígido | 10 - 15 |
| PVC, composto flexível | 11 - 27 |
| MATERIAL | Calor de combustão (MJ/kg) |
| CPVC, composto | 6 - 8 |
| PTFE | 7 |

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro do PVC (2018).

3.2.5 Perda de visibilidade pela fumaça

A perda ou diminuição da visibilidade causada pela fumaça em um incêndio é um fator crítico, visto que resulta em uma menor iluminação no ambiente, dificultando tanto a fuga das vítimas quanto o acesso do socorro. O decréscimo da visibilidade se dá principalmente por dois fatores: quantidade de material que está sendo queimada e a quantidade de fumaça que é liberada por unidade de massa do material (INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC, 2018, p. 18).

Logo, ao se avaliar uso do PVC em produtos que ocupem amplas superfícies, isso precisa ser considerado. Visto que estes materiais possuem uma liberação de fumaça relativamente alta.

Um dos ensaios mais comuns para mensurar a perda de visibilidade em uma situação de incêndio é o ensaio prescrito na ASTM E662, em que os resultados são expressos em termos de densidade ótica específica (D_m). O ensaio é conduzido em uma câmara fechada, e a quantidade de fumaça gerada durante a combustão é medida através da atenuação de um feixe de luz (INSTITUTO BRASILEIRO DO PVC, 2018, p. 18).

3.2.6 Liberação de cloreto de hidrogênio (HCl)

A decomposição térmica do PVC durante o processo de combustão desse material resulta na liberação de cloreto de hidrogênio (HCl), um gás tóxico quando em altos níveis, que causa irritação nos olhos, nariz e garganta. Por outro lado, a liberação de HCl possibilita a detecção de seu odor, facilmente perceptível, o que pode contribuir para detecção do incêndio ainda em sua fase inicial (GALLO; AGNELLI, 1998, p. 23).

3.3 COMPORTAMENTO AO FOGO DO CPVC

O CPVC, por pertencer à mesma família do PVC, apresenta diversas propriedades semelhantes ao cloreto de polivinil, porém apresentando a vantagem de uma maior resistência ao calor.

Quando o material composto de CPVC é exposto ao fogo, o cloro presente atua como um retardador de chama, evitando que o material queime, a menos que seja continuamente mantido dentro das chamas. O material, assim como o PVC, se autoextingue logo que a chama é removida. Ademais, a estrutura molecular e a morfologia do CPVC fazem com que ele forme uma camada grossa e isolante no exterior quando queima, protegendo o restante do tubo de danificações adicionais. Isto dá qualidades ao CPVC que permitem a entrega confiável de água, mesmo quando devorada em chamas, característica muito útil quando aplicada ao seu uso nos chuveiros automáticos, os *sprinklers*.

O aumento da presença do cloro nos materiais de CPVC ocasionam um aumento na temperatura de transição vítrea (T_g). Assim, o CPVC mantém suas

características originais, suportando temperaturas mais altas que o PVC comum. Já o CPVC para uso industrial, especificamente, também pode ser projetado para limitar a inflamabilidade e produção de fumaça quando exposto à chama (NUNES *et al.*, 2006, p. 185).

3.4 COMPORTAMENTO AO FOGO DO PTFE

O termoplástico PTFE possui a propriedade de retardar chamas, devido à presença de flúor e de outros elementos do grupo dos halogênios em sua composição. Como se pode notar nos dados apresentados anteriormente, o PTFE possui uma propensão à ignição praticamente irrisória e uma grande facilidade de extinção do fogo, que se deve principalmente ao seu alto índice de oxigênio em sua composição.

O PTFE também possui baixas taxas de liberação de calor e resultados bastante satisfatórios quando se trata de perda de visibilidade pela liberação de fumaça, apresentando em testes uma densidade óptica específica D_m relativamente baixa.

4 CONCLUSÃO

As aplicações dos polímeros são diversas. Eles são empregados como matérias primas em muitos segmentos da indústria e também na construção civil. Por suas características variadas e possibilidade de adequação às diversas necessidades de aplicação, a sua presença tem se tornado cada vez mais visível. A substituição de muitos materiais já amplamente utilizados, como vidros, madeiras e até mesmo os metais, por polímeros vem ocorrendo com frequência, acompanhando as evoluções nas pesquisas de novas tecnologias relacionadas aos polímeros, além de avanços na diminuição dos impactos ambientais causados por esses materiais.

Com o aumento da presença dos polímeros no cotidiano das pessoas, surgem novos questionamentos relacionados às suas aplicações. Um importante questionamento envolve o comportamento dos polímeros quando expostos ao fogo, visto que características indesejáveis desses materiais em uma situação de incêndio podem ocasionar graves consequências, causando danos materiais e à segurança dos indivíduos.

Dessa forma, faz-se necessário que os materiais poliméricos sejam continuamente alvo de estudos e de testes relacionados ao seu comportamento, para que seja assegurada a incolumidade das pessoas e dos locais que fazem uso desses materiais. Analisando os dados apresentados nesse artigo, pode-se concluir que os polímeros halogenados estudados possuem, em geral, características satisfatórias mediante ao fogo. Assim, demonstrou-se que, quando utilizados de forma correta, esses polímeros podem oferecer até mesmo uma contribuição para segurança do local em que se encontram.

REFERÊNCIAS

CANEVAROLO JR., Sebastião Vicente. **Ciência dos Polímeros**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Artliber, 2006.

ARANDA EDITORA TÉCNICA E CULTURAL. **Ficha técnica com as principais características, aplicações e propriedades do poli(cloreto de vinila) (PVC)**. São Paulo, 2020. Disponível em: [https://www.arandanet.com.br/revista/pi/noticia/358-Poli\(cloreto-de-vinila\)-\(PVC\).html](https://www.arandanet.com.br/revista/pi/noticia/358-Poli(cloreto-de-vinila)-(PVC).html). Acesso em: 07 set. 2021.

NUNES, Luciano Rodrigues; RODOLFO JR., Antonio; ORMANJI, Wagner. **Tecnologia do PVC**. 2. ed. rev. e ampl. São Paulo: Braskem, 2006.

ZAIONCZ, Soraia. **Estudo do efeito de plastificação interna do PVC quimicamente modificado**. Curitiba, 2004.

HIPOLITO, Israel da Silva; HIPOLITO, Rafael da Silva; LOPES, Gean de Almeida. **Polímeros na Construção Civil**. Resende, 2013.

WIEBECK, Hélio; HARADA, Júlio. **Plásticos de Engenharia: tecnologia e aplicações**. São Paulo: Artliber. 2005.

GALLO, Jorge B.; AGNELLI, José A. M. **Aspectos do Comportamento de Polímeros em Condições de Incêndio**. 1998.