



DESEMPENHO TÉRMICO *VERSUS* REAÇÃO AO FOGO: O EQUÍVOCO NO USO DAS EMBALAGENS LONGA-VIDA

Júlia dos Santos Beck Schultz (1); Nicolas Gomes Laurentino (2); Maria Fernanda de Oliveira (3); Roberto Christ (4);

(1) Graduanda em Arquitetura e Urbanismo da Unisinos, estagiária itt Performance, schultzjulia15@gmail.com

(2) Graduando em Engenharia Civil da Unisinos, laboratorista itt Performance, livenicolass@gmail.com

(3) Professora Doutora do Departamento de Arquitetura e Construção da Unicamp, maria.fernanda@unicamp.br

(4) Dr., Coordenador do itt Performance, rchrist@unisinos.br

RESUMO

Embalagens do tipo “longa-vida” estão sendo utilizadas como alternativa para melhorar o desempenho térmico em edificações residenciais unifamiliares comuns de madeira. Sua utilização nessas residências é amparada por questões ambientais, a fim de reaproveitar estes resíduos sólidos urbanos, buscando utilizá-los como barreira radiante na transmissão de calor. Sob esses aspectos, o uso desse material passou a ser considerado como uma alternativa viável, economicamente e ambientalmente correta nas edificações de interesse social. Porém, os estudos publicados analisaram apenas a eficiência no isolamento térmico desse material, sem considerar análises relacionadas aos aspectos de segurança contra de incêndio. Sendo assim, o objetivo deste trabalho é entender o comportamento desse material quando exposto à situação de incêndio. Para tanto, por se tratar de um material combustível, realizou-se os ensaios de reação ao fogo, conforme ABNT NBR 16626:2017. Os resultados evidenciaram que o material é combustível, possuindo classe de reação ao fogo VI pela metodologia de materiais especiais. Sendo assim, com base nos resultados encontrados, pode ser evidenciado que o uso deste material na construção civil não deve ser realizado.

Palavras-chave: desempenho térmico, segurança contra incêndio, embalagens cartonadas, reuso.

ABSTRACT

“Longa-vida” packages are being used as an alternative to improve thermal performance in single-family wooden houses. Their usage is backed by environmental matters, to reuse these solid residues, attempting to use them as a radiant barrier for heat transmission. Because of that, using this material for that purpose became a viable alternative, both economically and environmentally for low-cost edifications. Although, published studies analyzed just the thermal insulation efficiency of the material, leaving matters, such as fire safety, unattended. Regarding that, the objective of this research is to understand the behavior of this material when exposed to a fire situation. For such, since this is a combustible material, fire reaction tests were conducted, following the parameters from the Brazilian standard ABNT NBR 16626:2017. The results showed that the material is indeed combustible, being evaluated as a class VI material by the methodology of special materials. Therefore, based on the found results, it is evident that "Longa-Vida" packages shouldn't be used in civil construction.

Keywords: thermal performance, fire safety, carton packaging.

1. INTRODUÇÃO

O custo relativo ao isolamento térmico de edificações frequentemente é classificado como um item opcional, sendo que pouca atenção é dada quando as edificações são destinadas às famílias de baixa renda e/ou em situação de vulnerabilidade social. No entanto, o desconforto térmico faz parte da realidade de usuários de muitas edificações residenciais no Brasil, e são, muitas vezes, sujeitos a implementação de soluções improvisadas pelos próprios moradores após a ocupação do imóvel.

Dessa forma, tem-se um cenário em que pessoas sem responsabilidade técnica adequada tomam decisões sobre a instalação de materiais que podem não ter indicação para o uso em edificações. Nesse contexto, a utilização de embalagens Tetra Pak® em residências, como uma forma de compensar a falta de isolante térmico, é algo facilmente encontrado em bairros mais humildes. Além de ser comprovada essa melhora no conforto térmico interno (SEBEEN, 2021), esse tipo de embalagem é também um material acessível, barato e considerado ambientalmente correto, pois seu reuso é caracterizado como reaproveitamento de resíduos sólidos urbanos. A sua aplicação é desempenhada e incentivada por ONGs de voluntários, no projeto Brasil sem frestas, e sua visibilidade está presente em diversas mídias (GZH, 2019; ECYCLE, 2018; MANUAL DO MUNDO, 2017).

Esse tipo de embalagem foi lançado no Brasil em 1957 pela empresa Tetra Pak®, quando se instalou comercialmente com a função de ampliar a distribuição de alimentos industrializados e de aumentar a vida útil em prateleira dos produtos. É constituída por camadas de papel cartão e de folhas de alumínio intercaladas e finalizadas tanto na parte interna como externa por camadas de polietileno (TETRA PAK, 2022). A parte interna com aparência metálica, funciona como barreira radiante, fundamentado na baixa emissividade de 0,04 (KREITH, 2003) e na alta refletância de sua superfície (VITTORINO *et al*, 2003), o que poderia qualificar o desempenho térmico de edificações se houvesse a comprovação de segurança de seu uso. Destaca-se que a empresa fabricante do produto indica o uso das embalagens somente para fins alimentícios.

Devido ao fato de o material possuir camadas aderidas com propriedades distintas, a reciclagem dessas embalagens se torna mais complexa. É necessário utilizar o hidrapulper para separar o polietileno e alumínio, além dos processos de incineração, pirólise, termoinjeção ou plasma térmico, dependendo do seu uso final. Dessa forma, acaba-se gerando uma alta quantidade de resíduos (NASCIMENTO *et al*, 2007). De acordo com o relatório da Tetra Pak®, foram vendidas 192 bilhões de embalagens no ano de 2022, sendo 50 bilhões destinadas à reciclagem.

Sua utilização como revestimento interno em residências é feita a partir da união das caixas abertas por grampeadores ou com costura para que assim se formem placas que são fixadas por parafusos em superfícies internas de paredes e/ou coberturas das casas (CAMOZZATO, 2016). Quando a parte aluminizada se encontra voltada para dentro do ambiente, esse sistema funciona como uma barreira radiante, sendo indicado para o aumento da resistência térmica em regiões com ocorrência tanto de dias frios quanto de dias quentes. Há também, a possibilidade da utilização de dois sistemas em conjunto, formando então um “sanduiche”, composto por duas camadas de caixas abertas, ambas com a face aluminizada exposta para fora. Assim tem-se, teoricamente, uma barreira radiante que reduz a transmissão do calor.

Estudos que evidenciam a eficiência energética desse material estão presentes em diversas publicações científicas, datados desde os anos 2000 (VITTORINO *et al*, 2003; FIORELLI, 2009), e presente até os anos atuais (ZANELLA, 2022). Há dois métodos principais que são utilizados para analisar a eficiência desse material: por simulações computacionais com o programa Energy Plus (SEBEEN, 2021), ou por protótipos de escala reduzida com a extração de dados de temperatura, mais comumente utilizado para estudos na utilização em sistemas de coberturas na forma de telhas (ZANELLA, 2022).

Apesar de existirem pesquisas que indicam o desempenho térmico e a eficiência energética de sistemas construtivos com camadas de embalagens Tetra Pak®, foram encontrados poucos estudos que analisam os demais requisitos de desempenho, já que camadas dessa embalagem são compostas por materiais caracterizados pela elevada propagação de chamas. O polietileno, sendo o polímero que apresenta maior capacidade de propagação de chamas, segundo Gallo (1998), e o papel cartão. Ou seja, trata-se de um material que é composto por camadas combustíveis e que está sendo indicado para revestir casas que, na maioria das vezes, são construídas com madeiras reutilizáveis. Pode-se citar também que a segurança nessas residências fica ainda mais comprometida nos casos em que não são respeitados alinhamentos, recuos e afastamentos que permitam o acesso do corpo de bombeiros, pois a proximidade entre as unidades habitacionais pode favorecer a propagação de um possível incêndio para outras residências.

Um incêndio é caracterizado pela presença de chamas, fumaça, gases e liberação de calor consequente da queima de materiais, o que acarreta reações químicas que podem ser de difícil previsão quando se trata de materiais compostos. Além disso, o desenvolvimento e a propagação de um incêndio estão relacionados com fenômenos físicos básicos de transferência de energia térmica dos processos de condução, convecção e

radiação, sendo ainda importante considerar a influência de materiais e produtos de revestimento que definem o quanto um incêndio poderá se desenvolver (SILVA, 2018). Essa resposta dos materiais numa situação de incêndio é denominada de reação ao fogo, sendo que a classificação dos produtos utilizados na construção civil, é feita com base em resultados de ensaios laboratoriais para se estabelecer os limites de utilização, conforme padrões de uso de ambientes internos.

No caso de revestimentos compostos por placas, os ensaios de reação ao fogo devem considerar o método de instalação para que sejam consideradas as diferentes faces do material que podem ficar expostas à incidência das chamas (CORPO DE BOMBEIROS DO ESTADO DE SÃO PAULO, 2019). Cabe destacar que um mesmo material pode ter classes de reação ao fogo distintas, que dependem da forma como são instalados em um sistema construtivo. Nesse sentido, os ensaios que caracterizam a segurança contra incêndio de materiais de revestimento são essenciais para a especificação segura dos materiais de revestimento e acabamento utilizados no interior de edificações.

2. OBJETIVO

Esse trabalho foi formulado a partir de um problema real de utilização de embalagens como revestimento para qualificar o isolamento térmico em residências, sem que seja considerado o devido cuidado em relação a sua segurança contra o incêndio. Sendo assim, este artigo tem como objetivo apresentar a análise e classificação da reação ao fogo de caixas de embalagem do tipo Tetra Pak®.

3. MÉTODO

Para o alcance do objetivo, foram realizados os ensaios prescritos na norma ABNT NBR 16626:2017 para a classificação de reação ao fogo. Conforme o texto da norma, os produtos a serem classificados são inicialmente identificados conforme três categorias de uso final: produtos de construção de forma geral (excluindo revestimentos de pisos e produtos de isolamento térmico de tubulações); revestimentos de pisos; e produtos de isolamento térmico de tubulações. A norma também caracteriza uma subcategoria de “produtos de construção geral” denominada “produtos de construção com características especiais” que especifica características para essa classificação.

Para fins deste estudo, as embalagens foram consideradas no grupo “características especiais” por atenderem ao critério de que “em condições reais de instalação, formam juntas através das quais o fogo pode propagar ou penetrar” (ABNT, 2017), o que ocorre por causa da fixação entre caixas, que é feita com grampeadores ou costura, conforme indicado em Brasil sem Frestas (2017). Para tal, a classificação quanto à reação ao fogo é realizada mediante os ensaios de incombustibilidade, ignitabilidade e SBI (*single burning item*). Foram realizados também os ensaios de painel radiante de parede e densidade ótica para uma melhor caracterização do material.

Todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Segurança Contra Incêndio (LSCI) do itt Performance da Unisinos.

3.1. Incombustibilidade

O primeiro ensaio realizado foi de incombustibilidade, seguindo o método proposto pela norma ISO 1182:2020. O teste consiste na determinação das características de não-combustibilidade da amostra quando exposta a uma temperatura constante de 750°C. Verifica-se, durante o ensaio, a liberação de calor, o desenvolvimento de chamas e a perda de massa da amostra. O teste utiliza um forno cilíndrico com 150 mm de altura, diâmetro interno de 75 mm e espessura de parede de 10 mm, aquecido internamente por resistências elétricas e envolto externamente por material isolante térmico (Figura 1).

Foi utilizado um corpo de prova cilíndrico com dimensões de 45 mm de diâmetro por 50 mm de altura. Para atender estas dimensões, as embalagens foram cortadas no diâmetro especificado, empilhadas e pressionadas uma sobre a outra, sem a utilização de material colante (Figura 1a). Antes do ensaio, o corpo de prova foi condicionado em uma estufa ventilada na temperatura de $60 \pm 5^\circ\text{C}$ por 24 horas e, posteriormente, resfriado em um dessecador com temperatura externa de $23 \pm 2^\circ\text{C}$, até ser obtida constância de massa.

As amostras cilíndricas são inseridas dentro do forno e acoplados em um suporte. São realizados monitoramentos contínuos com 3 termopares posicionados no interior do forno, no centro e na superfície da amostra. A Figura 1b apresenta um esquema do posicionamento do corpo de prova no interior do forno.

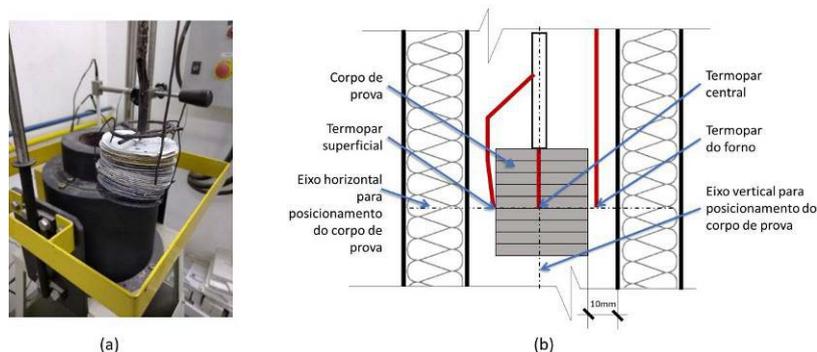


Figura 1:Ensaio de incombustibilidade: (a) corpo de prova montado com as placas empilhadas e (b) esquema gráfico do posicionamento da amostra e dos termopares no interior do forno do ensaio.

Para ser classificado como incombustível, Classe I conforme ABNT NBR 16626:2017, a perda de massa após o ensaio deve ser menor que 50%, o aumento da temperatura do forno não pode ultrapassar 30 °C e/ou o tempo de flamejamento não pode exceder 10 segundos.

3.2. Ignitabilidade

Os testes de ignitabilidade seguiram as diretrizes da norma ISO 11925-2:2020. O ensaio consiste na determinação das características de ignitabilidade da amostra em contato intermitente com uma chama produzida por um queimador padrão deslizante. A chama é aplicada na amostra de forma intermitente, sendo utilizados gabaritos espaçadores para definição do ponto de aplicação da chama.

São realizados dois testes com a chama aplicada na borda inferior da amostra (Figura 2a) e dois testes com a chama aplicada na superfície da amostra (Figura 2b).

Durante o teste são avaliadas a resistência à ignição, velocidade de propagação de chamas e liberação de partículas inflamáveis. Após a definição da situação crítica entre os dois pontos de aplicação de chama, são realizados seis testes com a incidência da chama na pior situação.

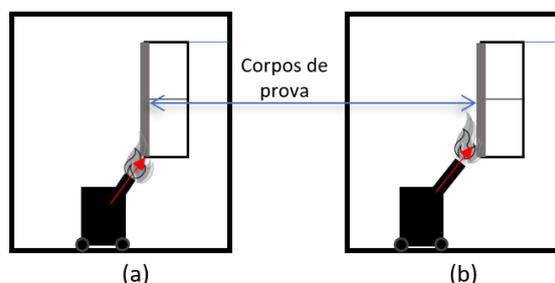


Figura 2: Esquemas gráficos da aplicação da chama na (a) borda inferior e (b) na superfície dos corpos de prova.

Para o ensaio utilizou-se uma câmara de ignitabilidade, com manômetro de pressão, suporte para corpo de prova, anemômetro, gabaritos para medição da chama e cronômetro conforme indicações da norma ISO 11925-2. O combustível utilizado foi o gás propano com 99,5% de pureza na pressão de 50 kPa.

Para a confecção dos corpos de prova o material foi cortado em peças nas dimensões de 90 x 250 mm que foram, posteriormente, acondicionadas em ambiente com temperatura e umidade controlada em $23 \pm 2^\circ\text{C}$ e $50 \pm 5\%$, respectivamente, por 48 horas.

Para fins de classificação, é medido o tempo em que da frente da chama (F_s) leva para alcançar uma marca de 150 mm de altura no corpo de prova durante os primeiros 30 segundos de contato com a chama, nas duas situações de aplicação da chama. Se a frente de chama não atingir a marca em 60 segundos, o material é enquadrado como Classe II, III ou IV. Caso a marca seja atingida em 60 segundos ou menos, sua classe é V ou VI, devendo-se fazer o teste novamente, com 15 segundos de aplicação da chama. Nesse teste, se a frente de chama chegar na marca de 150 mm em menos de 20 segundos, a classe do material é definida como VI.

3.3. Painel radiante de parede

Esse ensaio avalia a propagação da chama, ocorrência de picos de luminosidade (flashing), gotejamentos em chama, liberação de fumaça e quaisquer outros acontecimentos relevantes.

O ensaio de painel radiante de parede seguiu as diretrizes da ABNT NBR 9442:2019, sendo utilizado um equipamento com fornecimento de ar e gás propano, montado verticalmente em uma estrutura metálica, com superfície radiante de 305 mm de largura e 460 mm de altura, com reguladores de pressão, filtro de ar, válvulas de controle, chaminé para exaustão, queimador-piloto fabricado em aço inoxidável e 8 termopares tipo K, com isolamento resistente à 1200 °C, em atendimento à ABNT NBR 9442: 2019.

O corpo de prova é instalado em um suporte com inclinação de 60°, para incidência da chama piloto na parte superior da amostra (Figura 3), e marcações a cada 76 mm. Foi utilizado um termo-higrômetro para monitoramento da temperatura ambiente, cronômetro para controle do tempo e de ocorrências de queima durante o ensaio, anemômetro para verificação da velocidade da exaustão, balança para verificação da massa dos exemplares, paquímetro e régua metálica. O ambiente do ensaio é livre de correntes de ar, possuindo apenas exaustão com fluxo de ar a uma velocidade de 0,4 m/s a 0,5 m/s, tem temperatura e umidade relativa controladas, com registros antes do início do ensaio.

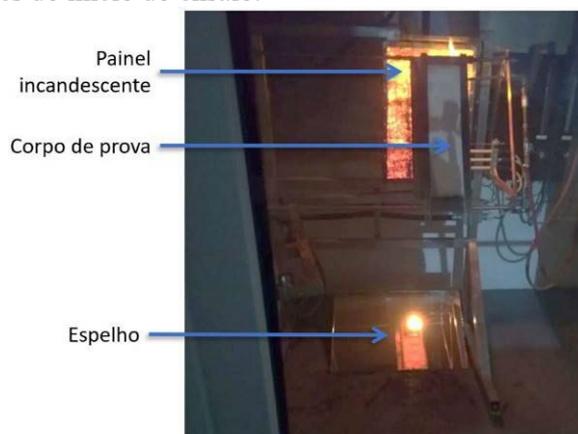


Figura 3: Corpo de prova instalado no equipamento para o ensaio no painel radiante.

Durante o ensaio se verifica a propagação da chama com o auxílio de duas régua posicionadas ao lado da amostra, avaliando a chama com precisão de 10 mm, e a temperatura máxima nos termopares da chaminé. Considera-se o ensaio encerrado quando ocorrer primeiro uma das três situações: a temperatura máxima dos termopares da chaminé não variar mais do que 5 °C em 5 minutos, a frente da chama atingir todas as marcas do suporte-padrão ou após um período de ensaio de 15 minutos. Durante o ensaio, é observado a ocorrência de flashing que, segundo a norma, são frentes de chama sob a superfície do exemplar, com duração de 3s ou menos.

Para fins de classificação, esse ensaio fornece o índice de propagação de chama (I_p), que é o produto do fator de propagação da chama pelo fator de evolução de calor, sendo o resultado expresso por número inteiro múltiplo mais próximo de 5, conforme a ABNT NBR 9442:2019.

3.4. Densidade ótica de fumaça

Com esse ensaio os materiais são classificados em A ou B, quanto à densidade específica de fumaça, sendo obtido o parâmetro de desenvolvimento de fumaça máximo (D_m). Os corpos de prova são ensaiados com dimensões de 76,2 mm x 76,2 mm, e o método de ensaio utilizado é o prescrito pela ASTM E662:2010.

A densidade específica da fumaça é avaliada a partir da análise da atenuação de um feixe de luz que se propaga através da fumaça gerada pela queima da amostra. O material é exposto à uma fonte radiante de calor com temperatura de $93 \pm 3^\circ\text{C}$ e ao contato de uma chama produzida por um queimador padrão pelo período máximo de 20 minutos. A câmara de ensaio utiliza gás propano com 99,5% de pureza na pressão de 50kPa e tem temperatura de superfície interna da parede em $35 \pm 2^\circ\text{C}$. A fonte de calor radiante é aplicada em frente à superfície da amostra, utilizando-se, para isso, gabaritos espaçadores, sendo o ponto de aplicação da chama na parte inferior do corpo de prova.

O material é considerado classe A se $D_m < 450$ e classe B se $D_m \geq 450$.

3.5. Single Burning Item (SBI)

O ensaio de SBI é obrigatório para materiais caracterizados como especiais e, conforme recomendações da norma EN 13823:2020, a amostra é construída dentro de uma câmara para representar o encontro de duas paredes formando um canto em ângulo reto de um ambiente interno. Uma das paredes tem largura de 500 mm (+/- 5mm) e altura de 1.500 mm (+/- 5mm) e a outra, largura de 1.000 mm (+/-5mm) e altura de 1.500 mm (+/- 5mm). A chama para esse ensaio é produzida por um queimador padrão, por meio da combustão de gás propano e ignição de 30,7 kW (\pm 2,0 kW) e difuso em uma caixa triangular com areia localizada na aresta das duas paredes. A Figura 4 mostra a união das placas para o atendimento às dimensões requeridas para o ensaio e o corpo de prova instalado.

O ensaio tem duração total de 26 min e, nesse tempo, é verificada também a propagação lateral da chama (LFS), caracterizada pelo alastramento de chamas sustentadas (mínimo 5s) até a borda da parede maior entre as alturas de 500 mm e 1.000 mm. Também são obtidos com esse ensaio o Índice da taxa de desenvolvimento de calor (FIGRA), o máximo do quociente de produção de fumaça do corpo de prova e o tempo de sua ocorrência (SMOGRA), e a produção total de fumaça do corpo de prova nos primeiros 600 s de exposição às chamas (TSP_{600s}).

O material é considerado classe A se o SMOGRA \leq 180 m²/s² e TSP_{600s} \leq 200 m²; e classe B se SMOGRA > 180 m²/s² e TSP_{600s} > 200 m².

Observa-se, ainda, se ocorre a liberação de partículas flamejantes e a desintegração da amostra.



Figura 4: Ensaio de SBI: (a) união das embalagens e (b) corpo de prova instalado para o ensaio de SBI.

4. RESULTADOS

4.1. Incombustibilidade

No ensaio de incombustibilidade, a temperatura no equipamento teve um aumento de 114 °C, gerou uma redução na massa do material de 34 para 4 gramas, e teve um tempo máximo de chama de mais de 2 minutos.

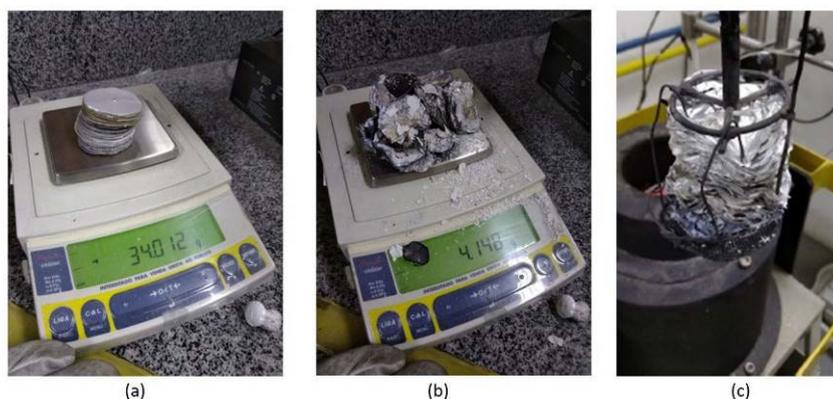


Figura 5: Ensaio de incombustibilidade: medição da massa (a) antes e (b) após o ensaio, e (C) aspecto geral do corpo de prova após a combustão.

Este resultado classifica o material como combustível, pois a perda de massa foi superior a 50%, a temperatura de aumento do forno foi acima de 30 °C e o tempo máximo de chama excedeu 10 segundos. Sendo assim, o material foi reprovado nos 3 critérios normativos. Na Figura 5 pode-se conferir o momento de verificação da massa antes e após o ensaio, e o aspecto final do material após o ensaio de incomcombustibilidade.

4.2. Ignitabilidade

O ensaio de ignitabilidade, que caracteriza a propagação superficial das chamas, resultou na reprovação no material a partir de 14 segundos de ensaio em situação de borda, já que a norma estabelece no mínimo 1 minuto de contenção da chama até a marca de 150 mm. No entanto, no ensaio de superfície, manteve-se o tempo mínimo exigido. Este resultado mostra a importância de se considerar corretamente a forma de instalação do material para fins de classificações de reação ao fogo.

Nas Figura 6 e 7 pode-se observar alguns dos momentos do ensaio para as duas situações de aplicação da chama. Aos 5 segundos, pode-se visualizar a diferença de resposta do mesmo material com a incidência da chama em partes diferentes da amostra. No ensaio de borda, aos 14 segundos, pode-se verificar que além da propagação na parte frontal da amostra, há também a queima da superfície posterior, que pode ser vista por meio do espelho posicionado no fundo do equipamento de ensaio. Aos 30 segundos a chama já alcança a borda superior da amostra (Figura 6), enquanto com a chama aplicada na superfície, o material não alterou a resposta, não ocorrendo a propagação do fogo (Figura 7). Após os 30 segundos, com o queimador afastado, o fogo se extinguiu quando a chama foi aplicada na superfície, e o corpo de prova continuou em combustão na situação de colocação inicial do queimador na borda inferior.



Figura 6: Andamento do ensaio de ignitabilidade com a incidência da chama na borda inferior.



Figura 7: Andamento do ensaio de ignitabilidade com a incidência da chama na superfície da amostra.

4.3. Painel radiante de parede

O teste realizado mostrou os resultados de acordo com a Tabela 01.

Tabela 1: Resultados do ensaio de painel radiante de parede

	Lado aluminizado	Lado com papel cartão
Fator de propagação da chama (adimensional)	7,87	19,83
Fator de evolução de calor (adimensional)	7,82	8,75
Índice de propagação da chama (adimensional)	60	175

Os resultados expressam uma propagação da chama e uma evolução de calor baixas em relação aos demais resultados, como ignitabilidade. Este fator pode ser justificado devido ao lado exposto do material. As embalagens longa-vida foram expostas com o lado de alumínio para fora, em vez do lado com o papel cartão. Esta mudança, somada ao fato de o ensaio de painel de parede não considerar juntas, levou a uma redução dos valores em comparação aos demais ensaios. Para verificar este comportamento, foi o ensaio repetido, com a troca do lado do material exposto. Como esperado, devido à alta propagação da chama do papel cartão, os valores aumentaram, como pode ser visto na Tabela 1 e na Figura 8.



Figura 8: Amostras após o ensaio de painel radiante de parede: (a) com a face aluminizada aparente e (b) com papel cartão aparente.

4.4. Densidade ótica de fumaça

No ensaio de densidade ótica de fumaça não ocorreu aumento de fumaça, mantendo-se estável em todo o período de ensaio. Isto ocorre, pois, o material queima logo no início do ensaio gerando um aumento de pressão e depois uma estabilização. Devido à baixa densidade do material queimado, não existiu fumaça suficiente para o tubo fotomultiplicador registrar da diferença.

4.5. Single Burning Item (SBI)

Na Figura 9 pode-se verificar 3 momentos do ensaio de SBI. Imediatamente após a ignição do queimador as chamas já alcançam uma altura correspondente a metade da altura da amostra, sendo que, após 2 segundos o material inicia o processo de desintegração das placas posicionadas no canto. O resultado após os 26 segundos de ensaio é a destruição total da área de incidência do fogo.



Figura 9: Amostra no ensaio de SBI: momento de ignição do queimador, após 2 segundo e no término do ensaio.

Foram obtidos resultados do ensaio de *Single Burning Item* de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2: Resultados obtidos no ensaio de SBI

FIGRA _{0,2}	866,278 W/s
FIGRA _{0,4}	866,278 W/s
LSF	Não
Evolução de calor	12,236 MJ
SMOGR	0
TSP _{600s}	17,779 m ³

O resultado mais significativo no ensaio foi FIGRA obtido, que revelou uma alta contribuição para o desenvolvimento de calor. Este valor ocorre devido ao aumento súbito nos primeiros momentos de ensaio, gerando um pico de temperatura. Os demais valores mostram que não foi gerado fumaça em grandes quantidades, e que a forma de fixação na placa cimentícia evitou a propagação lateral da chama.

4.6. Classificação

Os resultados dos ensaios permitiram a caracterização completa do material, sendo enquadrado como Classe V, pois os ensaios foram conduzidos em atendimento ao quarto quesito da ABNT NBR 16626, sendo o material testado conforme as condições reais de instalação.

Classe	Método de ensaio	ISO 1182	EN 13823 (SBI)	EN ISO 11925-2 (exp. = 30 s)
I		Incombustível $\Delta T \leq 30^\circ\text{C}$; $\Delta m \leq 50\%$; $t_f \leq 10$ s	-	-
II	A	Combustível	FIGRA ≤ 120 W/s LSF < canto do corpo de prova THR600s $\leq 7,5$ MJ SMOGR ≤ 180 m ² /s ² e TSP600s ≤ 200 m ²	FS ≤ 150 mm em 60 s
	B	Combustível	FIGRA ≤ 120 W/s LSF < canto do corpo de prova THR600s $\leq 7,5$ MJ SMOGR > 180 m ² /s ² ou TSP600s > 200 m ²	FS ≤ 150 mm em 60 s
III	A	Combustível	FIGRA ≤ 250 W/s LSF < canto do corpo de prova THR600s ≤ 15 MJ SMOGR ≤ 180 m ² /s ² e TSP600s ≤ 200 m ²	FS ≤ 150 mm em 60 s
	B	Combustível	FIGRA ≤ 250 W/s LSF < canto do corpo de prova THR600s ≤ 15 MJ SMOGR > 180 m ² /s ² ou TSP600s > 200 m ²	FS ≤ 150 mm em 60 s
IV	A	Combustível	FIGRA ≤ 750 W/s SMOGR ≤ 180 m ² /s ² e TSP600s ≤ 200 m ²	FS ≤ 150 mm em 60 s
	B	Combustível	FIGRA ≤ 750 W/s SMOGR > 180 m ² /s ² ou TSP600s > 200 m ²	FS ≤ 150 mm em 60 s
V	A	Combustível	FIGRA > 750 W/s SMOGR ≤ 180 m ² /s ² e TSP600s ≤ 200 m ²	FS ≤ 150 mm em 20 s
	B	Combustível	FIGRA > 750 W/s SMOGR > 180 m ² /s ² ou TSP600s > 200 m ²	FS ≤ 150 mm em 20 s
VI		-	-	FS > 150 mm em 20 s

Figura 11: Classificação de acordo com a tabela ABNT NBR 16626 para materiais especiais

5. CONCLUSÕES

A utilização de materiais reaproveitados e/ou reciclados na construção civil pode ter inúmeros benefícios, mas os critérios de segurança devem sempre preceder quaisquer intenções de uso.

A utilização de embalagens cartonadas como revestimento e isolante térmico em habitações de baixa renda é algo que, em um primeiro momento, pode ser considerado como solução para a precariedade desses ambientes e uma prática sustentável pela reutilização desse material. No entanto, por sua composição ter em sua maioria materiais combustíveis que em contato com a chama, tendem a ignizar rapidamente, é uma opção muito perigosa para esse fim.

Com os resultados obtidos, ficou comprovada a elevada propagação de chama nos ensaios de ignitabilidade e painel radiante de parede, alta decomposição com o ensaio de incombustibilidade e grande

influência no aumento de temperatura no ambiente, mas o material apresentou baixa propagação lateral e pouca produção de fumaça das amostras de embalagens.

Pode-se ainda destacar que, com as diferenças de incidência das chamas no ensaio de ignitabilidade, é possível entender que a resposta ao fogo de um material em situação real de incêndio é uma combinação de diversos fatores. Especificamente nesse ensaio, a situação de contato da chama com a borda inferior do material resultou na rápida propagação do fogo, pois com suas camadas expostas, aumentou a contribuição da queima do material no desenvolvimento de um incêndio.

Tendo todos esses resultados produzidos em laboratório, de acordo com a norma ABNT NBR 16626:2017, o material é classificado V, pois reprovou em ignitabilidade com 14 segundos, sendo assim, não é possível a sua utilização na construção civil, segundo a Instrução Técnica nº 10/2019 do Corpo de Bombeiros (2019).

Todos esses ensaios foram feitos para entender o comportamento das caixas tipo longa-vida quando na presença de fogo, ou seja, segundo a norma ABNT NBR 16626:2017

Isto é, caso ocorra um descuido ou incidente dentro dessas casas como, por exemplo, uma chama entrar em contato com a borda das caixas, a propagação será muito rápida, com enormes dificuldades de impedi-la. Como foi analisado neste trabalho, é na borda que a propagação chega a ser mais rápida e agressiva e, conseqüentemente, a chama transitaria para outros materiais com maiores massas e carga de incêndio (como as paredes de madeira, estofados, colchões etc.), formando-se assim uma reação em cadeia.

Sendo assim, é comprovado o elevado risco que o uso desse material proporciona dentro das habitações.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16626**: Classificação da reação ao fogo de produtos de construção. Rio de Janeiro, p. 35. 2017.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9442**: Materiais de construção - Determinação do índice de propagação superficial de chama pelo método do painel radiante. Rio de Janeiro, p. 20. 2019.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E662**: Standard Test Method for Specific Optical Density of Smoke Generated by Solid Materials. Estados Unidos, p. 26. 2021.
- BRASIL SEM FRESTAS. **Tutorial para revestimento interno com embalagens Tetra Pak**. Disponível em: <http://caixadeleite-brasilsemfrestas.blogspot.com/2017/07/tutorial-para-revestimento-de-casas-de.html>. Acesso em: 30 jul. 2022.
- BRITISH STANDARDS INSTITUTION. **BS EN 13823**: Reaction to fire tests for building products. Building products excluding floorings exposed to the thermal attack by a single burning item. Reino Unido, p. 108. 2020
- CORPO DE BOMBEIROS DA POLÍCIA MILITAR DO ESTADO DE SÃO PAULO. Controle de materiais de acabamento e de revestimento – Instrução Técnica nº 10. São Paulo, 2019.
- ECYCLE. **Iniciativa reutiliza embalagem Tetra Pak para restaurar casas precárias**. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/brasil-sem-frestas-embalagem-tetra-pak/>. Acesso em: 31 jul. 2022.
- IORELLI, Juliano; MORCELLI, J. A. B; DIAS, R. I. V. & A. A. **Avaliação da eficiência térmica de telha reciclada à base de embalagens longa vida**. AGRIAMBI, Campina Grande, PB, UAEA/UFCG, v. 13, n. 2, p. 204-209, dez./2009.
- GALLO, Jorge B.; AGNELLI, J. A. M. **Aspectos do Comportamento de Polímeros em Condições de Incêndio**. Revista Polímeros, Poços de Caldas, MG, v. 8, n. 1, p. 23-38, dez./1998. Disponível em: <https://revistapolimeros.org.br/journal/polimeros/article/doi/10.1590/S0104-14281998000100005>. Acesso em: 31 jul. 2022.
- GZH. **Conheça o projeto que transforma caixa de leite em isolante térmico para casas**. Disponível em: <https://gauchazh.clicrbs.com.br/comportamento/noticia/2019/04/conheca-o-projeto-que-transforma-caixa-de-leite-em-isolante-termico-para-casas-cju35rhrp00z301nvwzwyf8a5.html>. Acesso em: 31 jul. 2022.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 1182**: Reaction to fire tests for products - Non-combustibility test. Suíça, p.31. 2020.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 11925-2**: Reaction to fire tests — Ignitability of products subjected to direct impingement of flame — Part 2: Single-flame source test. Reino Unido, p.27. 2020.
- KREITH, Frank. **Princípios da Transferência de Calor**. Pioneira Thomson Learning, São Paulo, SP, 2003.
- NASCIMENTO, R. M. de M., Viana, M. M. M., Silva, G. G., & Brasileiro, L. B. (2007). **Embalagem cartonada longa vida: Lixo ou luxo**. Química Nova na Escola, 25, 3-7.
- SEBEEN, T. *et al.* **Análise de desempenho térmico de uma moradia informal revestida com embalagens cartonadas**. ENCAC, ELACAC, Palmas, TO, v. 1, n. 16.12, p. 539-548, out./2021.
- SILVA, V. P. **Segurança Contra Incêndio em Edifícios: Considerações para o Projeto de Arquitetura**. Brasil: Blucher, 2020.
- TETRAPAK. **Material das embalagens cartonadas da Tetra Pak**. Disponível em: <https://www.tetrapak.com/pt-br/solutions/packaging-packaging-material/materials>. Acesso em: 30 jul. 2022.
- VITTORINO *et al.* **Desempenho térmico de isolantes refletivos e barreiras radiantes aplicados em coberturas**. ENCAC, Curitiba – PR, v. 1, n. 7, p. 1277-1284, nov./2003.
- ZANELLA, Kelen; FOIATO, Maiara; CARELLI, Jhulis Marina. **Avaliação do desempenho térmico de coberturas com a substituição de manta térmica por embalagens Tetra Pak®**. Conhecimento em Construção, Joaçaba, SC, v. 9, n. 1, p. 53-74, jun./2022. Disponível em: <https://unoesc.emnuvens.com.br/conhecconstr/article/view/30070>. Acesso em: 31 jul. 2022.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos alunos e professores da Escola Politécnica da Unisinos pelo engajamento e doação das embalagens para este estudo.