

# Reação ao fogo, isolamento térmico e desempenho acústico de aglomerados de poliuretano rígido com adição de fibras naturais

Marcos Rizzo\*, Mara Zeni\*, Maria Fernanda de O. Nunes<sup>†</sup> e Ana Maria C. Grisa\*

## Resumo

O presente trabalho tem como objetivo a reutilização de resíduos de poliuretano rígido na elaboração de compósitos com a adição de fibras de bananeira e de celulose visando a qualificação do desempenho acústico, do isolamento térmico e da reação ao fogo do material com adição de 7% de polisulfona. Aglomerados com 100% de poliuretano e com adição de 20% de fibras de bananeira e ou 20% de celulose foram caracterizados na perda de transmissão sonora e condutividade térmica e a reação ao fogo levando em consideração as variações na granulometria dos sólidos de poliuretano e o tipo de prensagem. Os compósitos com fibras naturais apresentaram menor condutividade térmica, maior isolamento acústico nas médias frequências e a adição de polisulfona retardou o tempo total de queima do material.

## Palavras-chave

Poliuretano, fibras naturais, isolamento de edifícios, reação ao fogo.

# Fire response, thermal insulation and acoustic performance of rigid polyurethane agglomerates with addition of natural fiber

## Abstract

This paper aims to reuse rigid polyurethane waste in the preparation of composites with the addition of banana fibers and cellulose in order to qualify the acoustic performance, thermal insulation and reaction to fire the material with the addition of 7% of polysulfone. Agglomerated with 100% of polyurethane and either with 20% of banana fiber or 20% of cellulose were characterized in the sound transmission loss, thermal conductivity and reaction to fire, take into account variations in the granulometry of the solid polyurethane and type of pressing. Natural fiber composites had lower thermal conductivity, higher acoustic insulation in medium frequencies and the addition of polysulfone delayed the total time of firing the material.

## Keywords

Polyurethane, natural fibers, building insulation, fire response.

## I. INTRODUÇÃO

A utilização de materiais e produtos com baixo impacto ambiental constitui um problema contemporâneo, que envolve o desenvolvimento de estudos para avaliar a substituição ou redução do uso de materiais sintéticos por outros, com menor impacto ao meio ambiente.

Os materiais a base de poliuretano (PU) têm sido desenvolvidos em produtos comerciais desde 1937, criando uma relevante rede de aplicações, com a demanda anual de

16.907 toneladas em 2010. Por ser um polímero termofixo, o PU não pode ser facilmente reciclado, criando um problema ambiental quando se trata de seu destino final. Nesse contexto, uma alternativa útil é reutilizar estes materiais como isolante térmico ou acústico na composição de fechamentos em edifícios [1]–[3].

As espumas rígidas de PU já são amplamente empregadas no mercado da construção civil para isolamento acústico, sendo que algumas placas também são constituídas de outros materiais poliméricos como espuma rígida ou expandida de poliestireno (PS); terpolímero de acrilonitrila, butadieno e estireno (ABS); polietileno (PE), borrachas de baixa densidade, além de fibras naturais de madeira ou cortiça [4]–[6].

As fibras naturais, além de serem biodegradáveis, apresentam viabilidade econômica na sua aplicação em materiais compósitos, e pesquisas destacam as fibras de bananeira e de madeira [7]–[9]. Destaca-se também que

\* Laboratório de Pesquisa de Química dos Materiais - CCET - Universidade de Caxias do Sul; <sup>†</sup> Laboratório de Tecnologia Construtiva - CEA - Universidade de Caxias do Sul.

mfnunes@ucs.br,marcosvrizzo@gmail.com,mzandrad@ucs.br,  
amcgrisa@ucs.br

Data de envio: 24/09/2014

Data de aceite: 08/12/2014

<http://dx.doi.org/10.18226/23185279.v3iss1p17>

essas fibras exibem boas propriedades mecânicas para sua utilização como reforço em compósitos poliméricos [4], [10]. Em termos gerais, as fibras naturais apresentam uma ampla gama de aplicações, como reforço e em matrizes poliméricas, termoplásticas e termofixas, aplicações na indústria automobilística ou na construção civil em isolamentos térmico e acústico [11]–[13].

A combinação de diferentes materiais para composições de elementos construtivos deve atender aos critérios de viabilidade técnica e, além das atuais questões ambientais, novos materiais com propostas de reuso e reciclagem devem também respeitar exigências específicas, conforme sua indicação de aplicação.

No caso da construção civil, os materiais precisam atender vários requisitos como de segurança estrutural e contra o fogo, de desempenho térmico, acústico e lumínico, de durabilidade e de funcionalidade.

Na maior parte das aplicações de compósitos poliméricos na construção civil, há uma forte exigência para um desempenho adequado em caso de incêndio. Em termos qualitativos, a reação ao fogo de materiais compósitos é semelhante à da madeira, ou seja, quando o material é relativamente fino a queima ocorre rapidamente. Por outro lado, quando o material compósito é relativamente espesso, forma-se uma camada de proteção que pode prolongar o tempo de integridade estrutural sem perder parte significativa de sua resistência mecânica [14].

A degradação da madeira pelo fogo, assim como de outros materiais celulósicos ocorre em etapas, sendo que, até 200 °C a madeira libera inicialmente vapor de água e gases, perdendo massa de modo uniforme. Acima de 95 °C a madeira carboniza e, nessa condição, não igniza. A formação de carvão na superfície da madeira atua como um isolante, retardando a saída de gases inflamáveis e a propagação do calor no interior da seção, resultando em uma degradação mais lenta do material [15].

As variações na flamabilidade de fibras naturais são, pelo menos em parte, devido a diferenças na composição química. As fibras com elevado teor de celulose tendem a ser mais inflamáveis do que aquelas com maior teor de hemicelulose, e a formação de carvão é geralmente melhor com maior conteúdo de lignina [16].

Nesse sentido, a composição percentual dos componentes macromoleculares celulose, hemicelulose e lignina apresentam diferentes proporções para diferentes espécies de lignocelulósicos. Kimo [17] caracterizou a composição macromolecular do *Eucalyptus grandis* com 7,67% de lignina, 73,71% de celulose e 18,62% de hemicelulose. Para o pseudocaule de bananeira *Musa sp.*, Mukhopadhyay et al. [4] encontraram 24,58% de lignina, 50,99% de celulose, 24,43% de hemicelulose.

Atualmente, a resistência ou reação ao fogo de materiais podem ser melhoradas com a utilização de revestimentos ou aditivos. Os revestimentos, também denominados de barreiras corta-fogo, podem ser feitos de cerâmica, tintas intumescentes, silicone, revestimentos ablativos ou de um dos vários aditivos químicos. O uso de revestimentos como barreiras corta-fogo consiste na utilização de camadas protetoras com maior estabilidade nas altas temperaturas que podem proporcionar menor deformação ao fogo de materiais mais combustíveis [16].

As fibras naturais têm sido amplamente usadas em compósitos para melhorar propriedades mecânicas e aumentar a sua biodegradabilidade por um baixo custo, com a vantagem de não ser abrasiva, ter baixa densidade e estar disponível em grande escala [18].

Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento de aglomerados de poliuretano rígido com adição de partículas de celulose e de fibras de bananeira quanto ao isolamento acústico ao ruído aéreo, condutividade térmica e reação ao fogo.

## II. MATERIAL E MÉTODOS

### A. Material

Os solados de calçados de PU rígido foram cedidos pelo Sindicato da Indústria de calçados de Três Coroas/RS; o pré-polímero com base de resina poliéster saturado e difenilmetano de diisocianato (MDI) foi fornecido pela BASF Poliuretanos Ltda.; o desmoldante Spray de Silicone Jimo® e a polisulfona fornecida por Sigma-Aldrich. Os pseudocaules de bananeira *Musa sp.* foram coletados no Município de Mata/RS e as tábuas de madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden foram doadas pela FEPAGRO FLORESTAS no município de Santa Maria/RS.

### B. Moagem dos materiais

Os solados de sapatos de PU foram moídos em um moinho de facas marca Marconi, modelo MA 580 e após, o ensaio granulométrico foi realizado utilizando-se um peneirador vibratório PRODUTEST®, segundo a norma NBR 7217 [19]. Os grãos maiores que 1,41 mm foram considerados de granulometria grossa e os grãos menores que 1,41 mm de granulometria fina.

Os pseudocaules da bananeira foram reduzidos em seções de menor tamanho e as bainhas mais externas dos pseudocaules foram retiradas e descartadas. A obtenção das fibras foi realizada com o auxílio de um moinho de martelos sem peneira. Posteriormente as fibras foram submetidas à secagem em estufa com circulação forçada de ar, a 60 °C, por um período de 24 horas. Em seguida as fibras secas foram novamente moídas em moinho de martelos, equipado com peneira de orifícios de 8,0 mm. Após foram selecionadas as fibras retidas nas peneiras entre 0,84 e 3,36 mm.

As tábuas de madeira foram serradas, obtendo-se blocos com 15 x 7 x 5 cm, as quais foram mantidas submersas em água por 15 dias e então processadas com o auxílio de um moinho de facas (*flaker*) ajustado para um corte de 0,55 mm de espessura. O material foi seco ao ar por 20 dias e reprocessado em um moinho de martelos com peneira de 8 mm de diâmetro. Posteriormente as partículas obtidas foram reduzidas com um moinho de facas, equipado com peneira de orifícios de 4 mm de diâmetro. Para a confecção das placas foram separadas as partículas retidas nas peneiras entre 0,84 e 2,38 mm.

Os filmes de polisulfona (Psf) foram preparados pela dissolução de polisulfona em clorofórmio (20% m/v). Posteriormente a solução foi espalhada em uma placa de vidro com o auxílio de um espécimetro de espessura de 0,3 mm e os filmes obtidos foram processados num moinho criogênico.

TABELA I: Proporções em massa dos materiais utilizados na confecção dos aglomerados

Amostra	Resíduo de PU (kg)	Fibra de bananeira (kg)	Celulose (kg)	Pré-polímero (kg)	Água (kg)
BANGq	2-2,5	0,5-0,6	-	0,5-0,8	0,05-0,08
BANFq	2-2,5	0,5-0,6	-	0,5-0,8	0,05-0,08
CELFq	2-2,5	-	0,5-0,6	0,5-0,8	0,05-0,08
CELGq	2-2,5	-	0,5-0,6	0,5-0,8	0,05-0,08
CELGf	2-2,5	-	0,5-0,6	0,5-0,8	0,05-0,08
CELFf	2-2,5	-	0,5-0,6	0,5-0,8	0,05-0,08
PUGf	2,5-3	-	-	0,5-0,8	0,05-0,08
PUFq	2,5-3	-	-	0,5-0,8	0,05-0,08

BAN = fibra de bananeira; CEL = partículas de madeira; G = maior granulometria; F = menor granulometria; q = prensagem a quente; f = prensagem a frio.

### C. Preparação dos aglomerados

Os aglomerados foram obtidos pela mistura de resíduo de PU, a fibra natural de bananeira ou partícula de celulose, pré-polímero com base de resina poliéster saturado e difenilmetano de diisocianato (MDI), 7% de Psf e água em uma argamassadeira eletromecânica CONTENTCO® por três minutos.

Após homogeneização, as misturas foram vertidas em moldes com diferentes tempos e temperatura de prensagem. A prensagem na temperatura ambiente foi realizada durante 24 horas com pressão de  $264780 \text{ N/m}^2$  e a prensagem quente ocorreu no tempo de 2 horas e 20 minutos, com pressão de  $2066 \text{ N/m}^2$ , à temperatura de  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

A Tabela I apresenta a composição dos aglomerados e as respectivas codificações utilizadas.

Os ensaios foram realizados em cinco corpos de prova e o ensaio de reação ao fogo foi realizado nas amostras com menor granulometria de PU e prensagem a quente, por apresentarem menor quantidade de vazios e menor velocidade de combustão.

### D. Isolamento acústico ao ruído aéreo

O ensaio para determinação do isolamento acústico ao ruído aéreo foi realizado em duas câmaras em escala reduzida, seguindo modelo utilizado por Bertolli [19].

Os procedimentos seguiram as recomendações da ISO 140-3 [20], com duas posições de fonte sonora na câmara de emissão e três posições de microfones na câmara de recepção. As fontes sonoras utilizadas têm resposta de frequência de 90 Hz a 20000 Hz e foram posicionadas inclinadas nos cantos da câmara emissora, para evitar a emissão do som em linha direta (Fig. 1).

Nas medições também foram utilizados um pré-amplificador *Power Amplifier Type 2716* B&K e um analisador sonoro Quest classe de precisão 1 com filtro de frequência de 1/3 de oitava.

### E. Condutividade térmica

A condutividade térmica foi determinada segundo a norma ISO 8302 [21], para determinação da resistência térmica em regime permanente de transferência de calor.

O ensaio é realizado com um dispositivo composto, basicamente, por um sistema com placa aquecedora, placa de resfriamento, dois sensores de temperatura e um corpo de prova (Fig. 2). Depois de sobrepor cada parte, o sistema

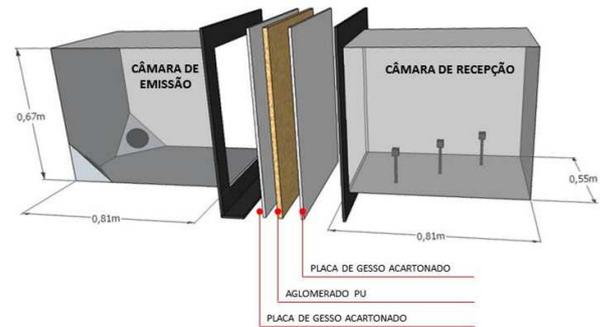


Fig. 1: Câmaras em escala reduzida para os ensaios de isolamento acústico.

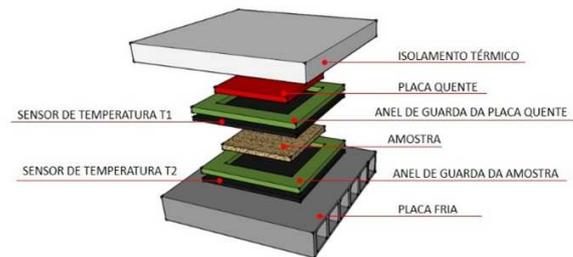


Fig. 2: Aparato para determinação da condutividade térmica.

é protegido por um invólucro com isolamento térmico. O equipamento foi ligado a uma temperatura de  $70 \text{ }^\circ\text{C}$  e após 30 minutos, o registro das temperaturas foi realizado a cada 60 segundos até a estabilidade da temperatura da placa fria durante cinco medições.

### F. Reação ao fogo

Os ensaios foram realizados conforme a norma ASTM D3801 [22], que determina reações ao fogo de materiais poliméricos rígidos que, em seu escopo, indica que os resultados obtidos apresentam potencial para a seleção comparativa de materiais.

A Fig. 3 ilustra o aparato utilizado para o ensaio de reação ao fogo.

Foram ensaiadas cinco amostras de cada material, com corpos de prova prismáticos nas dimensões de  $135 \times 20 \times 20 \text{ mm}$ .

O ensaio consiste em proporcionar o contato de uma pequena chama com um corpo de prova, com uma angulação de  $45^\circ$ . Após o tempo de contato de 10 segundos a chama é afastada e tempo de extinção do fogo no corpo de prova é cronometrado.

Abaixo das amostras foi colocada uma base de algodão com a finalidade de amparar gotas e/ou partículas incandescentes resultantes da queima dos materiais.

Na Tabela II, pode-se verificar os valores limites em tempo de queima para a classificação da reação ao fogo de materiais rígidos em contato com a chama.

## III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### A. Isolamento ao ruído aéreo

A análise dos resultados do teste acústico foi realizada pela comparação entre a curva de diferença de nível sonoro das

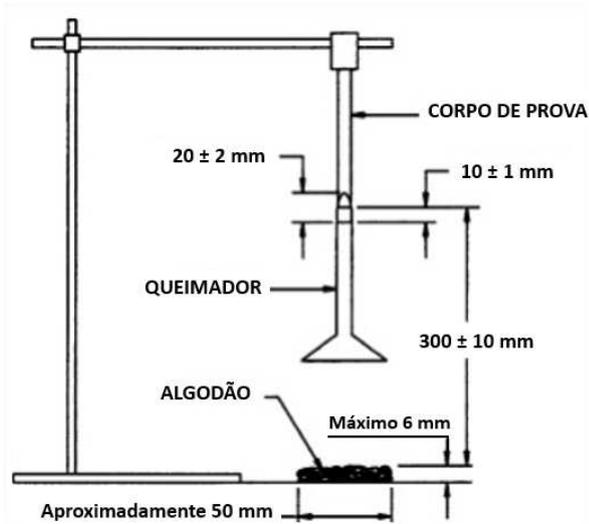


Fig. 3: Aparato utilizado nos ensaios de reação ao fogo.

TABELA II: Categorias para classificação da reação ao fogo segundo a ASTM D3801-10

Critério	V-0	V-1	V-2
C1 – Valores individuais de $t_1$ ou $t_2$ para os cinco corpos de prova	$\leq 10$ s	$\leq 30$ s	$\leq 30$ s
C2 – Somatória de $t_1 + t_2$ para os cinco corpos de prova	$\leq 50$ s	$\leq 250$ s	$\leq 250$ s
C3 – Valores individuais de $t_3$	$\leq 30$ s	$\leq 60$ s	$\leq 60$ s
C4 – Queima com chama ou incandescência até o suporte do corpo de prova	Não	Não	Não
C5 – Queima do algodão por gotas ou partículas do corpo de prova	Não	Não	Sim

$t_1$  = tempo de extinção da chama no corpo de prova após o primeiro contato da chama, em segundos;  $t_2$  = tempo de extinção da chama no corpo de prova após o segundo contato da chama, em segundos;  $t_3$  = tempo de incandescência do corpo de prova, em segundos.

câmaras sem divisória e das câmaras com cada aglomerado testado.

A Fig. 4 ilustra a diferença de nível de nível sonoro entre as placas de aglomerado com diferentes granulometrias e temperaturas de prensagem. As amostras com prensagem a quente apresentaram maiores diferenças de nível sonoro, resultando no maior isolamento acústico do material.

A adição de fibras naturais nos aglomerados promoveu aumento do isolamento acústico ao ruído aéreo, sendo que, nas médias frequências entre 315 e 1000 Hz as diferenças foram mais acentuadas. Esse intervalo de frequências corresponde à tonalidade da voz humana [23], o que indica o uso para locais nos quais a comunicação verbal é predominante.

**B. Condutividade Térmica**

Os compósitos com fibras naturais apresentaram condutividade térmica menor que os compósitos confeccionados exclusivamente com PU (Fig. 5).

Nos compósitos com fibras naturais observou-se que a temperatura de prensagem influenciou.

O menor valor nas placas com fibras de bananeira foi na prensagem a quente, enquanto que, nas placas com celulose a prensagem a frio reduziu a condutividade térmica.

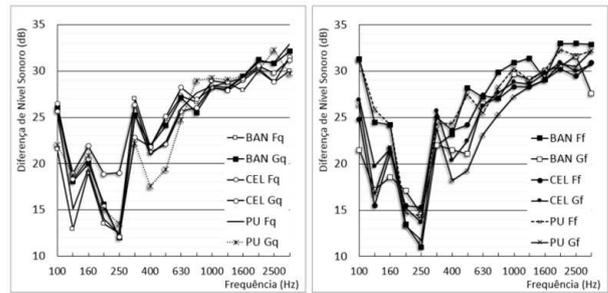


Fig. 4: Diferenças de nível sonoro dos aglomerados com granulometria (a) grossa e (b) fina.

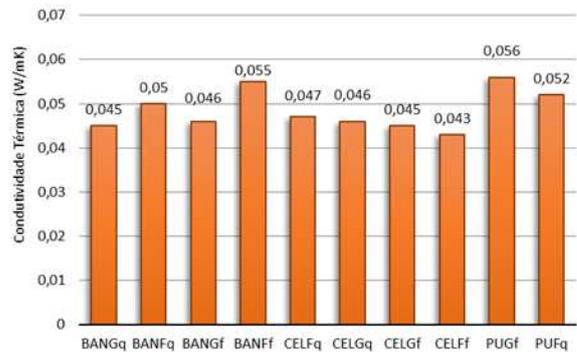


Fig. 5: Condutividade térmica dos aglomerados.

**C. Reação ao fogo**

A reação ao fogo das amostras apresentou diferenças com a adição da polisulfona, com influência no aumento no tempo de queima total das amostras

Nos aglomerados de PU/PSf, a chama se extinguiu aos 13 segundos de queima, enquanto que no aglomerado PU, o tempo de extinção total foi de 93 segundos. Nessas amostras ocorreu o desprendimento de material incandescente na forma de gotas, com a queima do algodão colocado na base do experimento. A Fig. 6 ilustra, em momentos distintos do ensaio, o início do desprendimento das partículas incandescentes na amostra de PU (Fig. 6(a)) e a extinção da chama na amostra PU/PSf (Fig. 6(b)).

Nas amostras confeccionadas com partículas de celulose (CEL) o tempo de extinção da chama superou 1 minuto, mas apesar de não ocorrer a extinção plena do fogo, o tempo de

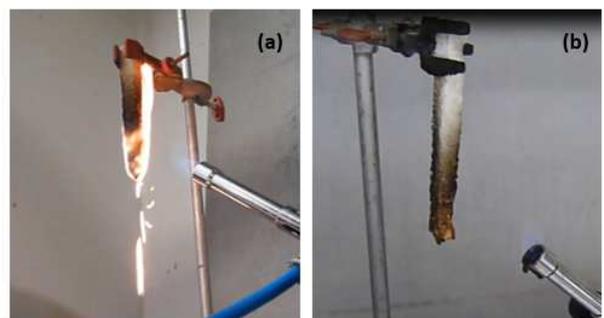


Fig. 6: Amostras com 100% PU: (a) sem polisulfona aos 30 segundos de ensaios e (b) com polisulfona aos 13 segundos de ensaio.

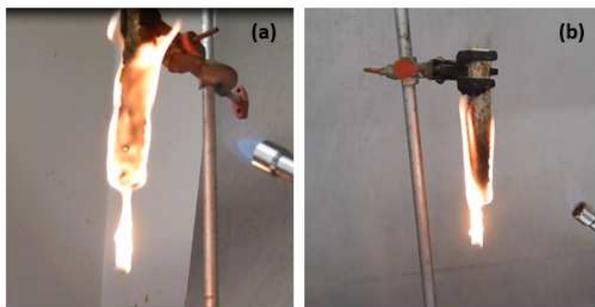


Fig. 7: Amostras com 20% de celulose aos 30 segundos de ensaio: (a) sem polisulfona e (b) com polisulfona.

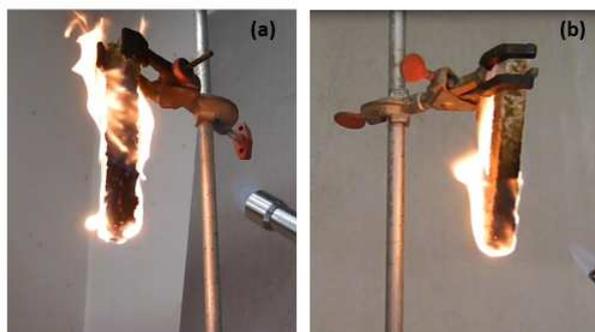


Fig. 8: Amostras com 20% de fibra de bananeira aos 30 segundos de ensaio: (a) sem PSf e (b) com PSf.

queima total do corpo de prova foi menor com a adição da PSf. A Fig. 7 apresenta o registro aos 30 segundos de ensaio dos aglomerados de PU com partículas de celulose sem PSf e com PSf. Observou-se que aos 30 segundos de queima o material sem PSf apresentou toda superfície em contato com o fogo (Fig. 7(a)), enquanto que, na amostra com a barreira de PSf a metade superior da amostra em contato com o suporte de fixação ainda estava intacto (Fig. 7(b)). Em ambas situações ocorreu o desprendimento de gotas incandescentes que queimaram o algodão abaixo do corpo de prova.

As amostras com fibras de bananeira apresentaram tempos de queima superiores a 90 segundos e, assim como as amostras com partículas de celulose tiveram um retardo no tempo de queima total com a adição de PSf. Fig. 8 apresenta o registro no tempo 30 segundos, na qual pode-se observar que nesse tempo, ocorreu a queima total da amostra BAN (Fig. 8(a)) e a queima parcial da amostra BAN/PSf. Deve-se destacar que as amostras confeccionadas com fibras de bananeira não apresentaram desprendimento de partículas incandescentes e o algodão colocado na base do experimento estava sem sinais de queima após o experimento.

Os tempos de extinção de chama nas amostras podem ser visualizados na Tabela III. O aglomerado contendo resíduo de PU com adição de Psf foi o único a atingir classificação V-2, conforme os critérios da Tabela II, sendo todos os outros descartados no primeiro critério da norma C1.

Nos aglomerados com fibras naturais a reação ao fogo ocorreu de forma diferenciada. As partículas de celulose aceleraram o processo de queima e funcionaram como combustível, impedindo a extinção da chama durante todo o tempo do ensaio. No material com adição de fibras

TABELA III: Tempo de queima e reação ao fogo dos corpos de prova

Amostra	C1	C2	C3	C4	C5
PUFq + Psf	13s	42s	42s	Não	Sim
CELFq + Psf	> 60s	> 250s	> 60s	Sim	Sim
BANFq + Psf	> 90s	> 250s	> 60s	Sim	Não
PUFq	93s	> 250s	> 60s	Não	Sim
CELFq	> 60s	> 250s	> 60s	Sim	Sim
BANFq	> 120s	> 250s	> 60s	Sim	Não

de bananeira não ocorreu o desprendimento de partículas incandescentes o que indica que a fibra carbonizada contribuiu para maior integridade das partículas de PU após atingir a temperatura de degradação do material.

O teor de celulose das fibras naturais foi determinante na reação ao fogo dos materiais. A redução da proporção de celulose da fibra de bananeira em comparação ao das partículas de celulose garantiu a melhor formação do carvão [16] que atuou como uma barreira isolante do núcleo do corpo de prova [15].

#### IV. CONCLUSÕES

O isolamento acústico apresentou diferenças mais significativas no isolamento dos sons de médias frequências, sendo essas as frequências predominantes da voz humana.

Os valores de condutividade térmica foram menores nos aglomerados de PU com as fibras naturais, acarretando maior isolamento térmico de elementos construtivos.

A utilização da polisulfona como barreira ao fogo retardou os tempos de carbonização total das amostras, mas não foram suficientemente amplos para qualificar sua reação ao fogo, dentro dos critérios analisados.

Os aglomerados de PU com adição de fibras naturais apresentaram potencial para utilização em preenchimento de divisórias leves, aumentando o conforto térmico e acústico dos ambientes e a redução na quantidade de passivos ambientais. Além disso, a adição das fibras naturais, em especial aquelas com teor reduzido de celulose, promovem a formação de uma barreira isolante de carvão, o que contribui na integridade do material durante a exposição ao fogo.

#### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a FAPERGS, ao CNPQ e à UCS pelo apoio financeiro.

#### V. BIBLIOGRAFIA

- [1] Walter Dias Vilar, *Química e tecnologia dos poliuretanos*, Vilar consultoria, 1998.
- [2] Nihal Sarier and Emel Onder, "Thermal insulation capability of peg-containing polyurethane foams," *Thermochimica Acta*, vol. 475, no. 1, pp. 15–21, 2008.
- [3] Marcos FM Pacheco, Otávio Bianchi, Rudinei Fiorio, Ademir J Zattera, Mara Zeni, Marcelo Giovanela, and Janaina S Crespo, "Thermal, chemical, and morphological characterization of microcellular polyurethane elastomers," *Journal of Elastomers and Plastics*, vol. 41, no. 4, pp. 323–338, 2009.
- [4] Samrat Mukhopadhyay, Raul Fanguero, and Vijay Shivankar, "Variability of tensile properties of fibers from pseudostem of banana plant," *Textile Research Journal*, vol. 79, no. 5, pp. 387–393, 2009.
- [5] M Brahmakumar, C Pavithran, and RM Pillai, "Coconut fibre reinforced polyethylene composites: effect of natural waxy surface layer of the fibre on fibre/matrix interfacial bonding and strength of composites," *Composites Science and Technology*, vol. 65, no. 3, pp. 563–569, 2005.

- [6] Alessandra L Marinelli, Marcos R Monteiro, José D Ambrósio, Márcia C Branciforti, Márcio Kobayashi, and Antonio Donato Nobre, "Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade: uma contribuição para a sustentabilidade amazônica," *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 18, no. 2, pp. 92–99, 2008.
- [7] Rafat Siddique and Tarun R Naik, "Properties of concrete containing scrap-tire rubber—an overview," *Waste management*, vol. 24, no. 6, pp. 563–569, 2004.
- [8] Cheila G Mothé and Carla R de Araujo, "Caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de curauá," *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 14, no. 4, pp. 274–278, 2004.
- [9] Omar Faruk, Andrzej K Bledzki, Hans-Peter Fink, and Mohini Sain, "Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000–2010," *Progress in Polymer Science*, vol. 37, no. 11, pp. 1552–1596, 2012.
- [10] Sandeep S Pendhari, Tarun Kant, and Yogesh M Desai, "Application of polymer composites in civil construction: A general review," *Composite structures*, vol. 84, no. 2, pp. 114–124, 2008.
- [11] S Rao, K Jayaraman, and D Bhattacharyya, "Short fibre reinforced cores and their sandwich panels: Processing and evaluation," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 42, no. 9, pp. 1236–1246, 2011.
- [12] MA Dweib, B Hu, A O'donnell, HW Shenton, and RP Wool, "All natural composite sandwich beams for structural applications," *Composite structures*, vol. 63, no. 2, pp. 147–157, 2004.
- [13] H Hanebuth, A Dötzer, K Nielsen, and K Grønning Sørensen, "Joining of cellular and stratified laminates for light weight construction and thermal–acoustic insulation," *Journal of Materials Processing Technology*, vol. 115, no. 1, pp. 31–37, 2001.
- [14] J Michael Davies, Yong C Wang, and Petter MH Wong, "Polymer composites in fire," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 37, no. 8, pp. 1131–1141, 2006.
- [15] Vytenis Babrauskas, "Ignition of wood: a review of the state of the art," *Journal of Fire Protection Engineering*, vol. 12, no. 3, pp. 163–189, 2002.
- [16] David B Dittenber and Hota VS GangaRao, "Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, vol. 43, no. 8, pp. 1419–1429, 2012.
- [17] José William Kimo, *Aspectos químicos da madeira de Eucalyptus grandis, W. Hill ex-Maiden visando à produção de polpa celulósica*, Ph.D. thesis, UFV, 1986.
- [18] A Valadez-Gonzalez, JM Cervantes-Uc, R Olayo, and PJ Herrera-Franco, "Effect of fiber surface treatment on the fiber–matrix bond strength of natural fiber reinforced composites," *Composites Part B: Engineering*, vol. 30, no. 3, pp. 309–320, 1999.
- [19] C. Bertolli, S. R. Santos, "Construção de câmara reverberante em escala para realização de ensaios acústicos," in *Anais do VI Congresso Iberoamericano de Acústica - FIA 2008*, Buenos Aires, 2008, pp. 1–10.
- [20] ISO 140-3: Acoustics Measurement of sound insulation in buildings and of building elements. Part 3: Laboratory measurements of airborne sound insulation of buildings elements, ," 1998.
- [21] ISO 8302: Thermal insulation Determination of ateady-state thermal resistance and related proprieties Guarded hot plate apparatus, ," 1991.
- [22] ASTM D3801: Standard test method for measuring the comparative burning characteristics of solid plastics in a vertical position, ," 2001.
- [23] RJ Peters, *Acoustics and noise control*, Routledge, 2013.