Anais do Congresso Brasileiro de Iniciação Científica
(https://periodicos.unisanta.br/COB)

ISSN 2317-1316

DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE UM COMPÓSITO À BASE DE CELULOSE RECICLADA PARA APLICAÇÕES TERMOACÚSTICAS EM EDIFICAÇÕES DE BAIXO CUSTO

DEVELOPMENT AND EXPERIMENTAL EVALUATION OF A RECYCLED CELLULOSE-BASED COMPOSITE FOR THERMOACOUSTIC APPLICATIONS IN LOW-COST BUILDINGS

Carlos Forgnone, Felipe dos Anjos Toledo, Felipe dos Santos Mato Grosso, Gustavo Camargo Rinaldi, Luiz Guilherme Castro, André Luis Gomes Paes, Sérgio Ferreira

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Engenharia, Curso de Engenharia Civil
E-mail para contato: gustavocamargorinaldi@gmail.com

RESUMO – Este trabalho apresenta o desenvolvimento e a avaliação experimental de um compósito à base de celulose de papel reciclado, gesso, cal hidratada e borato de sódio, visando investigar seu potencial termoacústico em edificações de baixo custo. Placas de três traços (A, B e C), com diferentes proporções de celulose e gesso, foram submetidas a ensaios exploratórios de redução do nível de pressão sonora, diferença de temperatura entre as faces e exposição direta à chama. O Traço A apresentou a maior redução sonora (13,9 dB) e a maior diferença de temperatura (67,5 °C), e não houve ignição sustentada. Os resultados são comparativos e preliminares; a confirmação do desempenho depende de ensaios normativos complementares.

Palavras-chave: Celulose reciclada; Compósitos; Isolamento térmico; Desempenho acústico; Sustentabilidade.

ABSTRACT – This study presents the development and experimental evaluation of a composite made of recycled paper cellulose, gypsum, hydrated lime and sodium borate, aiming to investigate its thermoacoustic potential in low-cost buildings. Panels from three mixes (A, B and C), with different cellulose and gypsum contents, were subjected to exploratory tests of sound pressure level reduction, temperature difference between faces and direct flame exposure. Mix A showed the largest sound reduction (13.9 dB) and the largest temperature difference (67.5 °C), and no sustained ignition occurred. The results are comparative and preliminary; confirming the performance requires complementary standardized tests.

Keywords: Recycled cellulose; Composites; Thermal insulation; Acoustic performance; Sustainability.

ISSN 2317-1316

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da construção civil nas últimas décadas tem intensificado o consumo de recursos naturais e a geração de resíduos sólidos, tornando necessária a busca por soluções construtivas mais sustentáveis e eficientes, capazes de conciliar desempenho técnico, viabilidade econômica e redução de impactos ambientais (ASHBY, 2013). No Brasil, a ABNT NBR 15575:2013 (Edificações habitacionais – Desempenho), a ABNT NBR 15220-2:2022 (Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Componentes e elementos construtivos das edificações – Resistência e transmitância térmica – Métodos de cálculo) e a ABNT NBR 10152:2017 (Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações) estabelecem critérios mínimos de desempenho térmico e acústico para as edificações, buscando assegurar salubridade, eficiência energética e qualidade de vida aos usuários.

Segundo Bistafa (2011), ruído é um som indesejável que, de maneira geral, apresenta conotação negativa, podendo causar mal-estar, perda de audição, estresse e perda de sono, entre outros incômodos. Paralelamente, o desempenho térmico inadequado das edificações compromete o conforto dos usuários e eleva o consumo energético para climatização. Diante disso, cresce o interesse por materiais isolantes que atendam simultaneamente aos requisitos térmicos e acústicos.

Materiais isolantes convencionais, como lã de vidro, lã de rocha e espumas sintéticas, apresentam bom desempenho técnico, mas demandam elevado consumo energético em sua fabricação (ASHBY, 2013). Como alternativa, materiais fibrosos reciclados vêm sendo estudados pelo seu potencial de reaproveitamento e pelas propriedades de isolamento associadas à sua estrutura porosa. A celulose obtida de papel reciclado é utilizada como isolante térmico desde ao menos a década de 1970 (ANDERSON; WILKES, 1977) e, mais recentemente, compósitos termoacústicos produzidos a partir de resíduos da indústria de celulose têm apresentado desempenho comparável ao de materiais convencionais como o EPS e o gesso (SANTOS et al., 2020). Estudos com outras fibras alternativas, como bagaço de cana-de-açúcar, fibra de coco e fibra de bananeira, reforçam o potencial desses materiais para painéis de isolamento acústico (DEBATIN et al., 2018).

A celulose reciclada, no entanto, exige tratamento para melhorar sua resistência ao fogo. O ácido bórico e o borato de sódio são retardantes de chama amplamente utilizados em

ISSN 2317-1316

isolamentos celulósicos, apresentando permanência química adequada nas condições normalmente encontradas em edificações (CHIOU; YARBROUGH, 1990), e sua interação com fibras celulósicas favorece a formação de camada carbonizada protetora, reduzindo a propagação de chama (WICKLEIN et al., 2016; MORENO et al., 2021). Revisões toxicológicas indicam que a exposição ao ácido bórico e ao borato nas concentrações típicas de uso em isolamentos não representa risco significativo à saúde dos ocupantes (HADRUP; FREDERIKSEN; SHARMA, 2021; PLEUS et al., 2018).

Diante do exposto, este trabalho teve como objetivo geral desenvolver e avaliar experimentalmente um compósito à base de celulose de papel reciclado pós-consumo, associado a gesso, cal hidratada e bórax, investigando seu potencial de aplicação termoacústica em edificações de baixo custo, tendo as normas ABNT NBR 15220-2:2022, ABNT NBR 15575:2013 e ABNT NBR 10152:2017 como referências para a contextualização dos requisitos de desempenho. Como objetivos específicos, buscou-se: a) produzir placas de 25 × 25 × 2 cm a partir de três traços experimentais, variando as proporções de celulose e gesso e mantendo constantes as quantidades de cal hidratada e bórax; b) medir a redução do nível de pressão sonora proporcionada por cada traço em módulo experimental em escala reduzida; c) medir a diferença de temperatura entre as faces exposta e oposta de cada traço sob fonte de calor controlada; d) observar o comportamento das placas em ensaio exploratório de exposição direta à chama; e e) comparar os resultados entre os traços, identificando a composição com resultado mais favorável nas condições de ensaio adotadas.

A partir da composição dos traços propostos, formularam-se as seguintes hipóteses: H1) o traço com maior proporção de celulose reciclada (Traço A) apresentaria os resultados termoacústicos mais favoráveis, em razão da maior porosidade e capacidade de absorção sonora atribuídas às fibras celulósicas na literatura; H2) o traço com proporções equilibradas (Traço B) apresentaria resultados intermediários; e H3) o traço com menor teor de celulose e maior teor de gesso (Traço C) apresentaria os resultados menos favoráveis, pela redução esperada da porosidade e da quantidade de fibras absorventes.

ISSN 2317-1316

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa possui caráter experimental. Os materiais utilizados foram celulose reciclada obtida de papel sulfite pós-consumo, gesso, cal hidratada e borato de sódio (bórax). O gesso atuou como matriz mineral, conferindo rigidez e estabilidade dimensional às placas; a cal hidratada, como ligante auxiliar de coesão entre as fibras; e o bórax foi incorporado por sua função, descrita na literatura, de retardante de chama e antifúngico (CHIOU; YARBROUGH, 1990; WICKLEIN et al., 2016).

Os ensaios foram conduzidos por meio de procedimentos experimentais simplificados, desenvolvidos para comparar o comportamento das três formulações do compósito. As normas ABNT NBR 10152:2017, ABNT NBR 15220-2:2022 e ABNT NBR 15575:2013 foram utilizadas como referências para a contextualização dos requisitos de desempenho acústico e térmico das edificações. Ressalta-se, entretanto, que os procedimentos adotados não correspondem, necessariamente, aos métodos de ensaio e avaliação previstos integralmente nesses documentos, de modo que os resultados devem ser interpretados como comparativos e preliminares.

2.1 Obtenção da polpa celulósica

Papel sulfite reciclado pós-consumo foi fragmentado e submerso em água por aproximadamente 24 horas para hidratação das fibras. Em seguida, foi triturado mecanicamente em liquidificador, na proporção aproximada de 1:8 (massa de papel para volume de água), por um processo semelhante ao de polpação mecânica em meio aquoso (hidrapulping) utilizado na reciclagem de papel (ROBERTSON, 2021), até a formação de uma polpa homogênea, que foi peneirada, drenada e prensada manualmente para remoção do excesso de água.

2.2 Traços experimentais e fabricação das placas

Foram definidos três traços experimentais (Tabela 1), variando as proporções de celulose e gesso e mantendo constantes as quantidades de cal hidratada (140 g) e de bórax (80 g). Neste trabalho, denomina-se “traço” cada formulação específica do compósito, identificada como A, B ou C conforme a proporção entre celulose reciclada e gesso. O estado de umidade da celulose no momento da pesagem não foi registrado, de modo que as massas indicadas na Tabela 1 não permitem distinguir a fração de fibra seca da água eventualmente retida na polpa, o que constitui limitação para a reprodução exata dos traços.

ISSN 2317-1316

Tabela 1: Dimensionamento dos traços experimentais

Traço	Celulose (g)	Gesso (g)	Cal hidratada (g)	Bórax (g)
A	800	400	140	80
B	600	600	140	80
C	400	800	140	80

Fonte: Elaborado pelos autores.

O Traço A caracteriza-se pela maior proporção de celulose reciclada em relação ao gesso (800 g de celulose para 400 g de gesso), sendo o traço com maior teor de fibras entre os avaliados. O Traço B apresenta proporção equilibrada entre celulose e gesso (600 g para 600 g), e o Traço C caracteriza-se pela maior proporção de gesso em relação à celulose (800 g de gesso para 400 g de celulose), sendo o traço com maior teor de matriz mineral. Essa variação permitiu avaliar o efeito da proporção entre fibras celulósicas e matriz mineral sobre o comportamento termoacústico do compósito, conforme as hipóteses H1, H2 e H3.

Do ponto de vista teórico, espera-se que o aumento da proporção de celulose reciclada em relação ao gesso favoreça tanto o comportamento acústico quanto o térmico do compósito. Segundo o referencial apresentado, a estrutura fibrosa da celulose tende a conferir maior porosidade e retenção de ar, o que favorece a absorção de energia sonora por atrito interno entre o ar e as fibras e dificulta a condução de calor. O gesso, por se tratar de uma matriz mineral mais densa, tende a favorecer a resistência mecânica e a estabilidade dimensional das placas, em detrimento do comportamento termoacústico. Ressalta-se que a porosidade não foi medida neste estudo; ela é adotada como explicação plausível, fundamentada na literatura, e não como propriedade experimentalmente comprovada.

O bórax foi inicialmente misturado à celulose, seguido da cal hidratada e de parte da água; por fim, adicionaram-se o gesso e o restante da água. Todos os traços utilizaram 800 mL de água, sequência definida a partir de ensaios preliminares, nos quais a mistura prévia de todos os componentes secos resultou em placas porosas e pouco homogêneas. A moldagem ocorreu em formas planas lubrificadas de 25 × 25 × 2 cm, com adensamento manual e secagem natural. Como variáveis controladas, mantiveram-se iguais em todos os traços as massas de cal hidratada e de bórax, o volume de água, a sequência de mistura, as dimensões das formas e o processo de secagem natural; a única variável intencionalmente alterada foi a proporção entre celulose e gesso. Foram produzidas 21 placas (7 por traço), sendo, para cada traço, 5 destinadas

ISSN 2317-1316

ao ensaio acústico, 1 ao ensaio térmico e 1 ao ensaio de exposição à chama, de modo que os ensaios térmico e de chama foram realizados em placas distintas. Após a desforma, as placas foram avaliadas quanto à integridade física e à trabalhabilidade.

2.3 Ensaio acústico

As placas foram instaladas em módulo experimental em escala reduzida (29 × 29 × 30 cm), com fonte sonora de intensidade constante em seu interior. Mediu-se o nível de pressão sonora sem a placa (nível inicial) e com a placa instalada (nível final), utilizando decibelímetro digital; a redução do nível de pressão sonora corresponde à diferença entre os dois níveis. As normas ABNT NBR 10152:2017 e ABNT NBR 15575:2013 serviram apenas como referência de contexto, sem a reprodução de seus procedimentos e equipamentos específicos, razão pela qual o valor obtido não equivale a um índice normativo de isolamento acústico.

2.4 Ensaio térmico

Aplicou-se fonte de calor controlada à face inferior das placas e, após a estabilização térmica do sistema, registraram-se as temperaturas das faces exposta e oposta com termômetro infravermelho digital. A ABNT NBR 15220-2:2022 foi tomada como referência conceitual para a análise da transferência de calor, sem a aplicação de seus métodos de determinação de resistência ou transmitância térmica. Ressalta-se que leituras com termômetro infravermelho podem ser influenciadas por fatores como a emissividade da superfície, a distância e o ângulo de medição e as condições do ambiente.

2.5 Ensaio de exposição à chama

Em ensaio exploratório, os corpos de prova foram posicionados sobre suportes cerâmicos e submetidos à chama contínua de bico de Bunsen, em contato direto com a face inferior, durante dez minutos, observando-se ignição, propagação de chama, carbonização superficial e integridade estrutural, além do registro das temperaturas das faces exposta e oposta com termômetro infravermelho digital. Como ampliação da avaliação, os corpos de prova permaneceram expostos à chama por aproximadamente trinta minutos adicionais, totalizando cerca de quarenta minutos de exposição. O ensaio não corresponde a nenhum método normatizado de reação ao fogo.

No ensaio de exposição à chama, as temperaturas das faces foram registradas inicialmente a cada três minutos e, posteriormente, a cada cinco minutos, uma vez que não foram observadas

ISSN 2317-1316

alterações significativas entre leituras consecutivas. Os resultados das Tabelas 2 a 4 são apresentados como valores únicos por traço, sem desvio-padrão ou intervalo de variação, o que limita a avaliação da repetibilidade e deve ser considerado na interpretação dos resultados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas condições experimentais adotadas, observou-se variação do comportamento das placas conforme a proporção entre celulose e gesso.

3.1 Ensaio acústico

No módulo experimental empregado, o Traço A apresentou a maior redução do nível de pressão sonora, de 13,9 dB, seguido pelos Traços B e C, com reduções de 10,9 dB e 6,1 dB, respectivamente (Tabela 2). Em termos percentuais, a redução do Traço A foi cerca de 27 % superior à do Traço B e mais que o dobro da obtida pelo Traço C. Essa tendência indica que, nas condições de ensaio adotadas, a formulação com maior proporção de celulose apresentou o resultado mais favorável entre as composições avaliadas, o que é compatível com as hipóteses H1, H2 e H3. Uma explicação plausível, baseada na literatura, é a maior porosidade associada à estrutura fibrosa da celulose; contudo, como a porosidade não foi medida, essa relação não pode ser tomada como comprovada. Além disso, devido às características simplificadas do dispositivo experimental, os valores obtidos não devem ser interpretados diretamente como índices normativos de isolamento acústico de componentes construtivos: a diferença entre níveis de pressão sonora não equivale necessariamente a isolamento acústico e demonstra apenas a redução dos níveis de ruído no arranjo utilizado.

Tabela 2: Resultados do ensaio acústico

Traço	Nível inicial (dB)	Nível final (dB)	Redução (dB)
A	87,7	73,8	13,9
B	86,1	75,2	10,9
C	85,2	79,1	6,1

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2 Ensaio térmico

Nas condições experimentais adotadas, o Traço A apresentou a maior diferença de temperatura entre as faces exposta e oposta, de 67,5 °C, seguido pelo Traço B, com 53,7 °C, e pelo Traço C, com 24,8 °C (Tabela 3), valor cerca de 25 % superior ao do Traço B e mais de

ISSN 2317-1316

duas vezes superior ao do Traço C. A tendência é coerente com a observada no ensaio acústico e compatível com as hipóteses H1, H2 e H3. Entretanto, não se deve atribuir toda a diferença observada exclusivamente à proporção entre celulose e gesso: a temperatura atingida na face exposta variou entre os traços (de 66,0 °C a 89,0 °C), e fatores como o tempo até a estabilização, a umidade residual das placas e as condições de leitura do termômetro infravermelho também podem ter influenciado os valores. Por esse motivo, os resultados expressam a diferença de temperatura entre as faces nas condições experimentais adotadas e não permitem determinar coeficientes de isolamento térmico, como resistência ou transmitância térmica.

Tabela 3: Resultados do ensaio térmico

Traço	Face exposta (°C)	Face oposta (°C)	Diferença entre faces (°C)
A	89	21,5	67,5
B	84	30,3	53,7
C	66	41,2	24,8

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.3 Ensaio de exposição à chama

Durante o ensaio exploratório de exposição direta à chama, não foi observada ignição sustentada ou propagação visível de chama nos corpos de prova dos três traços, nas condições adotadas, tanto nos dez minutos iniciais quanto nos cerca de trinta minutos adicionais de exposição, totalizando aproximadamente quarenta minutos (Tabela 4). Foram registradas alterações superficiais localizadas, incluindo fuligem e escurecimento na região diretamente exposta ao calor, sem perda significativa da integridade estrutural das placas. Essas observações sugerem comportamento favorável do compósito no ensaio realizado, mas não permitem estabelecer uma classificação normativa de reação ao fogo nem comprovar a segurança do material em situações reais de incêndio.

Tabela 4: Resultados do ensaio de exposição à chama

Traço	Face exposta (°C)	Face oposta (°C)	Diferença entre faces (°C)
A	92	22	70
B	114	81,1	32,9
C	86	46,1	39,9

Fonte: Elaborado pelos autores.

ISSN 2317-1316

O comportamento observado é compatível com o descrito na literatura para o bórax (tetraborato de sódio decaidratado), amplamente utilizado como retardante de chama em isolantes celulósicos comerciais, cuja interação com as fibras favorece a formação de camada carbonizada protetora (WICKLEIN et al., 2016; MORENO et al., 2021) e que apresenta permanência química adequada nas condições normalmente encontradas em edificações (CHIOU; YARBROUGH, 1990); os boratos figuram entre os retardantes mais utilizados nesses isolantes, associados à obtenção de classificação de reação ao fogo Classe 1 (CIMA, 2023). Contudo, como todos os traços continham bórax, gesso e cal hidratada e não foi ensaiada uma formulação de controle sem bórax, o ensaio não permite isolar o efeito específico desse aditivo: a ausência de ignição pode decorrer também da presença do gesso e da cal hidratada, materiais incombustíveis. Quanto à saúde dos ocupantes, revisões toxicológicas indicam que a exposição a boratos nas concentrações típicas de uso em isolamentos não representa risco significativo (HADRUP; FREDERIKSEN; SHARMA, 2021).

Para efeito de contextualização, a CIMA (2023) relata que a celulose isolante comercial tratada com retardantes tipicamente obtém, no índice de propagação de chama (Flame Spread Index) da norma ASTM E84, valores iguais ou inferiores a 15, contra 100 da madeira de carvalho vermelho usada como referência, e perda de massa entre 1 % e 2 % no ensaio de combustão lenta por cigarro aceso, abaixo do limite de 15 % estabelecido pela Consumer Product Safety Commission (CPSC) norte-americana. Esses valores referem-se a produtos comerciais ensaiados segundo métodos normatizados e não podem ser estendidos ao compósito desenvolvido sem ensaios equivalentes.

3.4 Síntese comparativa dos traços

Consolidando os três ensaios (Tabela 5), o Traço A apresentou o resultado mais favorável entre os traços avaliados nas condições experimentais adotadas, tanto na redução do nível de pressão sonora (13,9 dB, contra 10,9 dB do Traço B e 6,1 dB do Traço C) quanto na diferença de temperatura entre as faces (67,5 °C, contra 53,7 °C e 24,8 °C), sem ignição observada no ensaio de chama, assim como os demais traços. O Traço B ocupou posição intermediária, e o Traço C, com maior proporção de gesso, apresentou os menores valores nos dois ensaios, ainda que com maior resistência ao manuseio, em razão da estrutura mais densa e compacta conferida pela matriz mineral, aspecto observado qualitativamente e não avaliado por ensaio mecânico.

ISSN 2317-1316

O comportamento do Traço A é compatível com o descrito na literatura para compósitos termoacústicos produzidos a partir de resíduos da indústria de celulose, cujo desempenho térmico e acústico foi relatado como semelhante ao de materiais convencionais como o EPS e o gesso (SANTOS et al., 2020); dado o caráter simplificado dos ensaios aqui realizados, essa aproximação deve ser vista com cautela. A utilização de papel pós-consumo constitui a principal motivação ambiental do trabalho e indica potencial para aplicações de baixo custo, porém a viabilidade econômica e o benefício ambiental do compósito não foram demonstrados neste estudo: dependem de análise de custos e de avaliação ambiental, bem como da verificação da durabilidade, da manutenção, do comportamento diante da umidade e da destinação final do material, fatores que também influenciam seu impacto ambiental.

Tabela 5: Comparação geral dos resultados nas condições experimentais adotadas

Traço	Redução do nível de pressão sonora (dB)	Diferença de temperatura entre faces (°C)	Ignição no ensaio de chama
A	13,9	67,5	Não observada
B	10,9	53,7	Não observada
C	6,1	24,8	Não observada

Fonte: Elaborado pelos autores.

4 CONCLUSÃO

Nas condições experimentais adotadas, os resultados foram compatíveis com as três hipóteses formuladas: o Traço A, com maior proporção de celulose reciclada, apresentou a maior redução do nível de pressão sonora (13,9 dB) e a maior diferença de temperatura entre as faces (67,5 °C), o Traço B apresentou valores intermediários e o Traço C, com maior teor de gesso, os menores valores; no ensaio exploratório de exposição à chama, não foi observada ignição sustentada em nenhum dos três traços ao longo de aproximadamente quarenta minutos. Por se tratar de ensaios simplificados, de caráter comparativo e preliminar, esses resultados indicam diferenças de comportamento entre as formulações e apontam o potencial de aproveitamento da celulose reciclada em compósitos para a construção civil, mas não comprovam o desempenho térmico e acústico segundo os métodos normativos, a classificação de reação ao fogo, a contribuição isolada do bórax nem a viabilidade econômica e ambiental do material. Como trabalhos futuros, recomendam-se ensaios segundo os métodos normatizados,

ISSN 2317-1316

com repetições e tratamento estatístico dos resultados, a medição da porosidade, a inclusão de uma formulação de controle sem bórax, ensaios de durabilidade e de comportamento frente à umidade, análise de custos e avaliação ambiental, além da comparação direta com isolantes comerciais. Os autores agradecem ao orientador, Prof. Andre Paes, ao coorientador, Prof. Sergio Ferreira, e ao Laboratório C-4 pela infraestrutura de ensaios.

5 DECLARAÇÃO DE USO DE IA

Durante a elaboração desta versão do artigo, submetida ao 18º Cobric, foi utilizada a ferramenta de Inteligência Artificial Claude (Anthropic) nas etapas de revisão textual, formatação de acordo com as normas do edital e organização das referências bibliográficas a partir das fontes consultadas pelos autores. Todo o conteúdo técnico e científico, os dados experimentais e as conclusões apresentadas são de autoria e responsabilidade exclusiva dos autores, que revisaram e validaram integralmente o texto final.

6 REFERÊNCIAS

ANDERSON, R. W.; WILKES, P. Survey of Cellulosic Insulation Materials. Washington: Energy Research and Development Administration, 1977.

ASHBY, M. F. Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice. Oxford: Elsevier, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10152: Acústica – Níveis de pressão sonora em ambientes internos a edificações. Rio de Janeiro, 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15220-2: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Componentes e elementos construtivos das edificações – Resistência e transmitância térmica – Métodos de cálculo. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15575: Edificações habitacionais – Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

BISTAFA, S. R. Acústica Aplicada ao Controle do Ruído. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2011.

CHIOU, N.; YARBROUGH, D. W. Permanency of boric acid used as a fire retardant in cellulosic insulation. Energy and Buildings, v. 14, p. 351-361, 1990.

CIMA – CELLULOSE INSULATION MANUFACTURERS ASSOCIATION. Cellulosic Insulation Product Information as it Relates to Firefighting Techniques. [S.l.], 2023.

ISSN 2317-1316

DEBATIN, M. C. B. et al. Estudo da utilização de materiais alternativos como painéis de isolamento acústico. In: SALÃO DO CONHECIMENTO UNIJUÍ, 2018, Santa Rosa. Anais [...]. Santa Rosa: Unijuí, 2018.

HADRUP, N.; FREDERIKSEN, M.; SHARMA, A. K. Toxicity of boric acid, borax and other boron containing compounds: a review. Regulatory Toxicology and Pharmacology, v. 121, 104873, 2021.

MORENO, P. et al. Fire-resistant cellulose boards from waste newspaper, boric acid salts and protein binders. Documento eletrônico. Disponível em: https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-195149/v1. Acesso em: 11 set. 2026.

PLEUS, R. C. et al. Repeated dose inhalation developmental toxicity study in rats exposed to cellulose insulation with boric acid additive. Inhalation Toxicology, v. 30, n. 13-14, p. 542-552, 2018.

ROBERTSON, G. L. Recycling of aseptic beverage cartons: a review. Recycling, v. 6, n. 1, p. 20, 2021.

SANTOS, I. L. et al. Compósito termo-acústico de resíduo da indústria de celulose. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 15, n. 1, p. 11-19, 2020.

WICKLEIN, B. et al. Tuning the nanocellulose-borate interaction to achieve highly flame retardant hybrid materials. Chemistry of Materials, v. 28, n. 6, p. 1985-1989, 2016.