



## **Estudo sobre Emprego de Isolantes Termoacústicos Ecológicos em Painéis Pré-Fabricados de Madeira na Arquitetura e na Construção Civil**

### *Study of the Use of Ecological Thermoacoustic Insulators in Prefabricated Wood Panels in Architecture and Civil Construction*

**Isabella Sabrina Fernandes dos Santos**

isabellasfs@usp.br

**Akemi Ino**

inoakemi@sc.usp.br

#### **Resumo**

O uso da madeira de plantios florestais como material construtivo mostra-se uma alternativa mais sustentável no meio da construção civil, seu uso em painéis pré-fabricados faz-se interessante como solução de vedação leve para edificações mais econômicas e otimizadas. Mas, há de se considerar a necessidade de isolamento termoacústico nesses painéis, e aqui se insere a proposta do artigo, que visa preencher a lacuna de pesquisas sobre materiais isolantes ecológicos. A partir de investigação nas literaturas técnico-científicas e no mercado, nacional e internacional, foi constatado que existem muitos materiais naturais ou reciclados com propriedades adequadas para o emprego como materiais isolantes na construção civil, e inclusive alguns desses já são comercializados no exterior com preços competitivos. No Brasil, esse mercado ainda é incipiente, entretanto percebe-se o potencial no uso de resíduos agrícolas como isolantes, tendo em vista a alta produção do país.

**Palavras-chave:** Sustentabilidade; Isolamento-termoacústico; Isolantes ecológicos

#### **Abstract**

*The use of wood from forest plantations as a building material proves to be a sustainable alternative in the field of civil construction, its use in prefabricated panels becomes interesting as a lightweight sealing solution for more economical and optimized buildings. However, the need for thermoacoustic insulation in these panels must be considered, and this is where the proposal of the article is inserted, which aims to fill the gap in research on ecological insulating materials. From research in the technical-scientific literature and in the national and international market, it was found that there are many natural or recycled materials with suitable properties for use as insulating materials in civil*

*construction, and even some of these are already sold abroad with competitive prices. In Brazil, this market is still incipient, however the potential in the use of agricultural residues as insulators is perceived, in view of the high production in the country.*

**Keywords:** Sustainability; Thermoacoustic insulation; Ecological insulators

## 1. Introdução

A Construção Civil, englobando toda sua cadeia produtiva, é responsável por grandes impactos ambientais ao consumir grande quantidade de recursos naturais, de energia, de materiais, gerar alta quantidade de resíduos e emitir gases de efeito estufa (GEE). Os materiais usados convencionalmente nessa indústria compartilham fortemente a responsabilidade desse impacto; como por exemplo o concreto, que tem sido o elemento base da construção civil e utiliza o cimento como aglomerante. Atualmente, a produção de cimento passa de 4 bilhões de toneladas por ano, e é responsável pela emissão de mais de 1,5 bilhão de toneladas de CO<sub>2</sub>, compondo 8% das emissões globais (LEHNE; PRESTON, 2018).

O Brasil ocupa o preocupante 6º lugar entre os maiores emissores de GEE, com 3,2% do total mundial (SEEG, 2019). Em meio a este cenário, para que se impeça o agravamento do efeito estufa, é necessário que haja redução das emissões de GEE e também maneiras de sequestrar e armazená-los. Desta forma, a Construção Civil pode diminuir seu impacto ambiental através da adoção da madeira de plantios florestais como material de construção, visto que ela pode contribuir em ambos os aspectos por ser nula em relação às emissões de carbono, e os benefícios podem ser ainda maiores ao adicionar o uso da madeira à pré-fabricação (GHELLERE, 2020).

A madeira é um material de pouco impacto, ainda mais se comparado aos materiais de construção convencionais, ela possui características positivas em diversos aspectos: é um material de fonte renovável que permite um ciclo fechado; possui processos menos complexos de transformação e de menor energia incorporada; apresenta facilidade de execução no canteiro de obras (equipamentos e ferramentas mais leves, unidades produtivas menores, proximidade produção-consumo); maior facilidade na formação e qualificação de mão de obra (INO, 2016). O Brasil, apesar de apresentar grande potencial de produção madeireira por sua dimensão continental e clima favorável, demonstra baixa demanda de construção com este material. Esse entrave pode ser consequência de um ciclo vicioso que engloba questões culturais, falta de especialização de profissionais envolvidos, preferência de madeireiros na produção de celulose e a consequente falta de qualidade da madeira que se tem no mercado atual. Em meio a discussões acerca da sustentabilidade, o uso da madeira como material de construção no país pode vir a crescer e mudar esse cenário, sua produção efetiva vem acompanhada de geração de renda e novos empregos, além da mitigação do efeito estufa.

Um outro ponto a se considerar é o uso da pré-fabricação. Sua aplicação possibilita maior controle do processo produtivo, permitindo maior rapidez de execução, economia de materiais, agilidade com mão de obra, e consequente economia financeira, aumento da qualidade do produto e diminuição na geração de resíduos. E, ao ser executada no canteiro de obra, simplifica ainda mais o processo logístico, reduzindo os gastos com transporte e maquinários pesados, diminuindo o consumo de combustíveis e energia. A associação da madeira em painéis pré-fabricados vai ao encontro da temática sustentabilidade. De acordo com as experimentações com painéis de madeira para pré-fabricação feitas por Ghellere (2020) pode-se chegar a algumas conclusões: painéis com camada única apresentam menor custo e complexidade, facilitando a execução, porém resultam em pouco conforto térmico. O aumento da espessura do painel poderia resolver esse aspecto, mas encareceria a construção; uma alternativa mais viável seria a produção de um painel duplo com uma camada de isolamento.

Finalmente, a respeito de isolamento, os materiais isolantes convencionais da construção civil, em sua maioria, são derivados do petróleo e não recicláveis, como a lã de rocha, a fibra de vidro e o poliestireno expandido (EPS). Havendo assim, uma lacuna a respeito de isolantes ecológicos, que são pouco difundidos e dificilmente encontrados no mercado nacional. Tendo em vista os pontos percorridos até então, e a necessidade do emprego de isolantes em painéis de madeira pré-fabricados, a pesquisa a respeito da utilização de isolantes ecológicos torna-se de profunda relevância. Materiais esses que se caracterizam pela baixa condutividade térmica, e que por vezes podem ser empregados como isolantes térmicos e acústicos (termoacústicos). Por serem ecológicos e naturais, além da função isolante que tem importância contra o desperdício de energia, podem ter menor custo, serem biodegradáveis e recicláveis, adotando uma iniciativa mais sustentável; exemplos desses materiais a serem estudados incluem a terra palha e fibras naturais.

## 2. Revisão

No Brasil, o setor de edificações foi responsável pela expressiva parcela de 52% do consumo de energia elétrica no país em 2019; Dentro desse segmento as residências responderam por 26% desse consumo, e o restante atribuído a estabelecimentos comerciais (17%) e prédios públicos (9%) (EPE, 2020). O alto índice de consumo de energia dos edifícios ressalta a significativa importância da indústria da Construção Civil na sociedade, e a urgência de se firmar seu compromisso com a sustentabilidade

As estratégias para se alcançar a maior eficiência energética de um edifício estão presentes desde o início, é preciso que o projeto inclua esse pensamento em todo o processo de produção, desde fabricação, transporte e construção até demolição. Uma construção energeticamente eficiente traz benefícios econômicos, ambientais e principalmente positivos para os usuários, possibilitando edifícios mais confortáveis a menor custo. Portanto, um projeto pensando na eficiência energética e sustentabilidade da construção deve levar em consideração uma das principais causas do alto consumo de energia: o uso excessivo de equipamentos climatizadores. Neste aspecto, é de grande contribuição a utilização de materiais isolantes no edifício, sendo eles térmicos e/ou acústicos.

O isolamento na construção civil pode ser resultante do próprio sistema construtivo adotado, mas também pode ser obtido ao se adicionar materiais isolantes ao sistema; como por exemplo acrescentar uma camada de material isolante em meio ao painel duplo de madeira ao invés de se usar um painel único de grande espessura. Além do conforto do usuário, as vantagens em se utilizar sistemas de isolamento englobam a economia de energia devido à redução das necessidades de climatização do ambiente interior, redução do peso das paredes e das cargas permanentes sobre a estrutura e diminuição do gradiente de temperaturas a que são sujeitas as camadas interiores das paredes (NAVROSKI et al., 2010).

Referente a temperatura, a condutividade térmica está associada a ligações na estrutura atômica ou molecular de um material, os metais, por exemplo, são bons condutores de calor por terem seus elétrons mais externos livres para transportar energia, ao contrário de materiais como madeira, lã, vidro e poliestireno, que são maus condutores por possuírem os elétrons mais externos firmemente ligados (NAVROSKI et al., 2010). Para fins de simplificação, um

material pode ser considerado como um isolador térmico se o seu índice de condutividade térmica ( $\lambda$ ) for inferior a 0,07 W/m.K (ASDRUBALI et al., 2015).

Em relação específica à acústica, o tratamento inclui isolar ou absorver ondas sonoras. O isolamento acústico atua na diminuição do nível de ruído que entra e sai do ambiente, e é expresso pelo índice de redução sonora ponderado ( $R_w$ ) expresso em dB, que caracteriza a habilidade de uma estrutura prevenir e dificultar a passagem de som através de si mesma. Quanto maior o índice de redução sonora, maior o isolamento acústico da estrutura (ASDRUBALI et al., 2015). Materiais de alta densidade superficial minimizam a transmissão de energia sonora de um ambiente a outro, isolando-os, como o concreto, vidro e chumbo. A absorção sonora trata do fenômeno que minimiza a reflexão das ondas sonoras em um determinado ambiente, ou seja, diminui ou elimina o nível de reverberação, que por sua vez é responsável por comprometer a inteligibilidade do meio (BASTOS et al., 2010). A capacidade de materiais e sistemas de dissipar a energia acústica incidente é dada pelo coeficiente de absorção sonora ( $\alpha$ ), adimensional. Os materiais utilizados para absorver som são os de baixa densidade, fibrosos ou porosos, como por exemplo as lãs minerais sintéticas, como as de vidro ou de rocha, a espuma de poliuretano, as fibras cerâmicas, os tecidos e etc.

Os materiais isolantes convencionais da construção civil, em sua maioria, são derivados do petróleo e não naturais, como a lã de rocha, a fibra de vidro e o poliestireno expandido (EPS), e podem trazer problemas tanto em seu processo de produção quanto de instalação. Como por exemplo as lãs minerais, apesar do baixo custo podem prejudicar a saúde durante o manuseio, como irritação de pele e problemas respiratórios devido à inalação. Já os materiais porosos, como as espumas de poliuretano, além de possuírem maior custo de produção, ainda são mais agressivos ao meio ambiente devido a emissão de gases tóxicos (ASDRUBALI et al., 2012).

Em meio a essa série de desvantagens que acompanham os isolantes convencionais, o uso de materiais isolantes naturais se faz pertinente, estes podem ter menor custo, são biodegradáveis e recicláveis, requerem menor quantidade de energia, fazem uso limitado de fontes não-renováveis adotando uma iniciativa mais sustentável, como por exemplo as fibras vegetais. Os materiais isolantes naturais podem ser comparados, em termos de desempenho, aos materiais convencionais, e já são encontrados comercialmente no exterior a um preço acessível, porém no Brasil ainda há certa dificuldade em encontrá-los.

### 3. Procedimentos Metodológicos

A abordagem inicial utilizada para o desenvolvimento deste trabalho foi de levantamento bibliográfico, pesquisando por artigos científicos, dissertações e teses publicadas até o momento em referência: 2022.

Primeiramente, foi realizada pesquisa bibliográfica sobre: eficiência energética e o papel dos materiais isolantes nesse contexto; as normas brasileiras de desempenho em edificações habitacionais; e, finalmente, materiais isolantes naturais, sendo também considerados materiais reciclados. Para a busca, foram utilizadas as palavras-chave: materiais isolantes, isolantes construção civil, isolantes sustentáveis, isolantes naturais, isolantes térmicos, isolantes acústicos, e suas respectivas traduções para o inglês, a fim de explorar os materiais isolantes sustentáveis que estão sendo estudados e testados nacional e internacionalmente. A

partir dos resultados encontrados, foram selecionadas e analisadas pesquisas com materiais naturais ou reciclados com potencial de uso como isolante térmico e/ou acústico na construção civil, sendo algumas dessas pesquisas compiladas de outras, obtendo ampla gama de insumos.

Posteriormente, foi feita uma busca por empresas, nacionais e internacionais, que comercializam os materiais naturais indicados como bons isolantes na construção civil pela bibliografia; e também por projetos construídos que utilizem os mesmos materiais. Para assim, ao final, organizar uma tabela de fácil consulta sintetizando todos os dados levantados.

## 4. Resultados

### 4.1. Isolantes ecológicos encontrados na literatura

A partir do levantamento bibliográfico de pesquisas sobre isolantes ecológicos, foi possível encontrar uma gama de materiais, sejam eles naturais ou reciclados, que se mostraram promissores para o emprego na construção civil devido a propriedades térmicas e acústicas adequadas. Ainda, foi percebido que falta uma melhor caracterização dos materiais, pois por se tratarem de materiais naturais estão mais expostos a adversidades como parasitas, fungos e umidade; e também mostra-se muito necessário testes a respeito de resistência mecânica e ao fogo.

O Quadro 1 sistematiza os dados coletados a respeito desses materiais. O quadro contém para cada material, além de uma breve descrição, a variação de valores obtidos nos ensaios das seguintes propriedades: densidade ( $d$ ) dada em  $\text{kg/m}^3$ , condutividade térmica ( $\lambda$ ) em W/m.K, coeficiente de absorção sonora ( $\alpha$ ), que é uma grandeza adimensional, para frequência de 500 Hz, e índice de redução sonora ( $R_w$ ) dada em dB.

Quadro 1- Materiais isolantes naturais encontrados na literatura.

Material	Descrição	$d$ ( $\text{kg/m}^3$ )	$\lambda$ (W/m.K)	$\alpha$	$R_w$ (dB)
Abacaxi [1]	placas compostas por fibra de folha de abacaxi e látex de borracha natural como aglutinante (1:3)	210,0	0,035	-	-
Açaí [2]	painéis compostos por fibra de açaí com ligante a base de acrilato e água	-	-	0,45	-
Arroz [3]	casca seca de arroz	149,0	0,049	-	-
Arroz [4]	compósito com palha de arroz e madeira (20% do peso em palha de arroz)	-	-	0,30	-
Bambu [5]	amostra a partir de fibra de bambu	120,0	-	0,40	-
Cana-de-açúcar [6]	bagaço da cana-de-açúcar	100,0	0,048	-	-
Casca de pinheiro [7]	casca de pinheiro triturada seca	250,0	0,069	-	-
Coco [8]	fibra de casca e coco sem utilização de	-	0,041	0,31	12,5

Material	Descrição	d (kg/m³)	$\lambda$ (W/m.K)	$\alpha$	Rw (dB)
	ligantes				
Coco [2]	painéis de fibra de coco	-	-	0,29	-
Dendê [4]	amostra de fibra de dendê	100,0	0,055	-	-
Dendê [2]	painel composto por fibra de dendê e ligante a base de acrilato e água	-	-	0,19	-
Denim [8]	painel composto por denim, jeans reciclado, sem utilização de ligantes	-	0,038	0,03	11,5
Durião [4]	amostra de aglomerados compostos por casca de durião	428,0	0,064	-	-
Hastes de algodão [4]	placas feitas a partir da fibra da haste de algodão sem aglomerante químico	-	0,059	-	-
Junco [4]	painel composto por junco	130,0 - 190,0	0,045 - 0,056	0,50	-
Junco + cânhamo [5]	amostra composta por uma camada de 5 cm de junco e 7 cm de cânhamo	-	-	1,20	-
Kenaf [9]	placa dura com fibra de kenaf com 50 mm de espessura	30,0	-	0,74	-
Lã de ovelha [10]	amostra com composição de diferentes qualidades de lã de ovelha	30,0	-	0,45	-
Linho [5]	amostra com espessura de 10 mm de estopa, sem adição de aglutinantes	-	-	0,56	-
Milho [6]	placa composta por sabugo de milho triturado	130,0	0,058	-	-
Palha [11]	placa composta por palha com 8,25% de umidade	76,4	0,053	-	-
Poliuretano derivado do óleo de mamona [12]	espuma de poliuretano derivado do óleo de mamona, biodegradável	-	0,045	-	-
Sisal [8]	placas de fibra de sisal sem ligantes	-	0,039	0,29	12,1
Taboa [4]	fibra de taboa	200,0 - 400,0	0,044 - 0,061	-	-

Fonte: elaboração da Autora.

#### 4.2. Isolantes ecológicos encontrados no mercado

A partir do levantamento bibliográfico de materiais naturais ou reciclados que podem funcionar como isolantes térmicos e ou acústicos foi feita uma busca a fim de encontrar esses mesmos materiais oferecidos no mercado. Pôde-se notar de imediato maior facilidade em

encontrar produtos no mercado internacional em comparação ao nacional, destacando maior quantidade de empresas europeias.

Para a sistematização da busca realizada foi elaborado o Quadro 2, contendo os produtos comercializados encontrados que utilizam como princípio materiais naturais ou reciclados para a produção de isolantes na construção civil. As propriedades expostas são as mesmas do Quadro 1, com adição dos países de origem de cada produto.

Quadro 2: Materiais isolantes termoacústicos naturais encontrados no mercado.

Nome comercial	Descrição	d (kg/m³)	$\lambda$ (W/m.K)	$\alpha$	Rw (dB)
Acoustic Panels Letônia [13]	painel com 25 mm de lã de madeira e 60 mm de air gap	-	0,066	0,55	-
Aglomerado de Cortiça Expandida Portugal [14]	aglomerado de cortiça expandida, até 30 cm de espessura	110,0	0,039	-	-
Agribiopanel Índia [15]	painéis compostos 90% palha e 10% ligante	800,0	0,013	-	40,0
alfaWall Espanha [16]	painel estrutural de palha (arroz, trigo e centeio) prensada com estrutura de madeira	120,0	0,067	-	49,0
Coco Portugal [17]	placas rígidas e duras compostas por fibras de coco	110,0 - 140,0	0,043	-	-
Echo Eliminator EUA [18]	algodão reciclado com espessura de 2,5 cm	96,0	0,039	0,86	-
Eco-Core Eco Friendly Insulation EUA [19]	painel composto por celulose, papel e algodão reciclado com 5 cm de espessura	-	-	1,18	-
EcoCocon Eslováquia [20]	painel feito de palha prensada com espessura de 40 cm e camada externa de fibra de madeira	110,0	0,065	-	54,0
Fibra de Coco Brasil [21]	placas de fibra de coco com espessura de 4 cm	-	0,053	0,45	4,0
Painel ROOTMAN Chile [22]	material com raízes como base	120,0 - 140,0	0,035	0,67	48,0
Quiet Batt EUA [23]	composto 80% de algodão reciclado, espessura de 76 cm	-	0,476	0,99	-
RH50 Itália [24]	painel 92% fibras de palha de arroz 8% fibras termofusíveis de poliéster, espessura 4,5 - 20 cm	50,0	0,039	-	46,0 - 48,0
Sheepwool Irlanda [25]	rolos de lã de ovelha	20,0	0,036	-	-

Nome comercial	Descrição	d (kg/m³)	$\lambda$ (W/m.K)	$\alpha$	Rw (dB)
Steico flex 036 Alemanha [26]	painel composto por fibra de madeira	60,0	0,036	-	-
Thermo Hemp Combi Jute Alemanha [27]	58% fibras de cânhamo, 29% fibras de juta reciclada, 9% fibras de PET reciclada	37,0	0,039	0,70	-
Ultrawool Reino Unido [28]	composto 75% lã de ovelha e 25% poliéster reciclado, espessura de 5 cm	31,0	0,035	0,85	41,0

Fonte: elaboração da autora.

Em relação a custos, no site de algumas dessas empresas foi possível consultar o valor de seus produtos, sendo que variam de acordo com densidade, espessura e modelo. Para a empresa irlandesa *Sheep Wool Insulation*, o valor do metro quadrado de seus produtos variou entre €9,75 e €45,12. O metro quadrado da empresa estadunidense *Eco-Core* variou entre \$12,31 e \$34,48. Já a empresa alemã *Thermo Hanf* oferece o metro quadrado entre £6,78 e £15,99. Também foi feito o levantamento do preço dos materiais isolantes tradicionais em dois dos mesmos países, para fins de referência. Na empresa de materiais de construção irlandesa *Build 4 Less* foi encontrado lã mineral com metro quadrado entre €6,41 e €9,28, lã de rocha com metro quadrado de €98,92, e fibra de vidro com metro quadrado de €4,24. Na loja de isolamento acústico estadunidense *Acoustimac* foi possível encontrar isolantes de lã de rocha com o metro quadrado variando entre \$17,07 e \$40,96.

Analisando os valores levantados, pode-se perceber que no mercado dos respectivos países os isolantes naturais encontram-se na mesma faixa de preço que os tradicionais, entendendo que há competitividade dos materiais naturais no mercado internacional.

#### 4.3. Projetos que utilizam materiais isolantes ecológicos

A *Hemp House*, dos arquitetos Bach Mühle Fuchs e Ljubica Arsić, é um projeto de 2021, localizado na Sérvia e se relaciona fortemente com seu entorno predominante natural, utilizando de métodos simples de construção e materiais ecológicos. A estrutura é de madeira e a vedação é feita de “hempcrete”. Hempcrete é a contração do inglês concrete hemp, em português: concreto de cânhamo. Trata-se de um composto ecológico de lascas de cânhamo com cal ou solo cimento, ele é leve e não estrutural, pode ser moldado no local ou pré-fabricado em componentes de construção, dentre suas propriedades está inclusa o isolamento térmico.

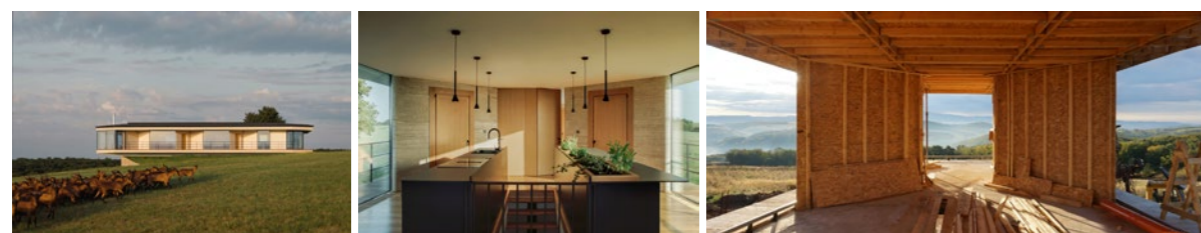


Figura 1: Hemp House a) Fachada; b) Interior; c) Processo de construção. Fonte: ArchDaily.

O projeto *13 maisons en bois-paille à Nogent-le-Rotrou*, de 2019, trata de 13 casas populares localizadas em Nogent-le-Rotrou, ao norte da França, tendo como escritório de arquitetura responsável NZI Architectes. As residências são organizadas em três blocos conectados por um caminho pedonal, e nelas foram exploradas técnicas construtivas sustentáveis, em que a eficiência energética foi tomada como aspecto importante ao se priorizar o conforto da construção. As casas são constituídas de painéis de madeira preenchidos com fardos de palha comprimida de 36 cm de espessura e revestimento de madeira, sendo esta, madeiras de acabamentos variados. Os painéis pré-fabricados possibilitaram que o projeto fosse construído 70% na oficina, reduzindo custos, tempo e desperdícios materiais, além disso, a leveza dos painéis facilita o manuseio, transporte e a proporciona o uso de equipamentos menos pesados.



Figura 2: 13 maisons en bois-paille a) Fachada; b) Preenchimento dos painéis com palha; c) Painéis prontos. Fonte: NZI Architectes.

## 5. Considerações Finais

A partir desta pesquisa foi possível constatar que existem muitas alternativas no uso de materiais naturais ou reciclados como isolantes térmicos e/ou acústicos na construção civil. Essa constatação pode ser confirmada pela quantidade expressiva apresentada no quadro síntese elaborado a partir do levantamento bibliográfico e da pesquisa de mercado de empresas que vêm investindo nesse ramo, principalmente as europeias. Para a realidade brasileira, se configura como uma oportunidade de investimento pela sua produção agrícola significativa que resulta também, em muitos casos, em geração de resíduos, os quais poderiam ser destinados à produção de isolantes naturais. Neste sentido, há um campo de pesquisa ainda pouco explorado, para tanto é necessário maior investimento nas pesquisas nacionais, e mais testes de caracterização dos materiais, como por exemplo para resistência mecânica, ao fogo e adversidades ambientais.

Em relação ao mercado de isolantes naturais, o europeu se destaca pelo número de empresas e opções de produtos, países onde já se é comum a comercialização de isolantes naturais na construção civil, esses ainda, nos apresentam preços competitivos com os tradicionais, sendo uma opção viável e aos consumidores. Além disso, também foram encontrados projetos construídos que utilizaram de isolantes naturais para isolamento, confirmando a potencialidade que esses materiais têm, não só no conforto ambiental mas também na qualidade arquitetônica.



Em suma, há uma ampla opção de materiais naturais a serem utilizados como isolantes na construção civil e os países europeus são prova, visto a sua comercialização já estabelecida. O Brasil tem insumos suficientes para gerar a matéria prima de muitos dos materiais naturais apresentados neste trabalho, mas ainda falta um aprofundamento nas suas caracterizações e investimento para que se viabilize a inserção desses produtos no mercado nacional. Reforça-se também a importância da disseminação da inserção do isolamento térmico e acústico nas residências, visto a falta de conforto ambiental nas casas populares brasileiras.

## Referências

- 13 MAISONS EN BOIS-PAILLE A NOGENT LE ROTROU. **Nouveau Blog** - NZI Architectes, 2019. Disponível em: <<https://www.nzi.fr/biosourc/nogent>>. Acesso em: 01 de ago. de 2022.
- A.MARTINS. A.Martins - madeiras e derivados. **Componentes de isolamento**. Disponível em: <<https://www.a-martins.pt/componentes-isolamento>>. Acesso em: 09 de jul. de 2022. [17]
- ACOUSTIMAC. Acoustimac - always sound your best. **Eco Core Acoustic Insulation**. Disponível em: <<https://www.acoustimac.com/acoustic-insulation-materials/acoustic-insulation/eco-core-acoustic-insulation>>. Acesso em: 08 de jun. de 2022. [19]
- ACOUSTIMAC. Acoustimac - always sound your best. **ROCKWOOL Acoustic Insulation**. Disponível em: <<https://www.acoustimac.com/acoustic-insulation-materials/acoustic-insulation/mineral-wool-acoustic-insulation>>. Acesso em: 06 de jul. de 2022.
- ASDRUBALI, F.; D'ALESSANDRO, F.; SCHIAVONI, S. A review of unconventional sustainable building insulation materials. **Sustainable Materials and Technologies**, v. 4, p. 1-17, jun. 2015. [4]
- ASDRUBALI, F.; SCHIAVONI, S.; HOROSHENKOV, K. V. A review of sustainable materials for acoustic applications. **Building Acoustics**, v. 19, n. 4, p. 283-311, dez. 2012. [5]
- BASTOS, L. P.; MELO, G. S. V.; SOEIRO, N. S. Avaliação do Desempenho Acústico de Painéis Fabricados a Partir de Fibras Vegetais em Câmara Reverberante em Escala Reduzida. **VI Congresso Nacional de Engenharia Mecânica**, Campina Grande (PB), Brasil, 2010. [2]
- BONDED LOGIC. **Bonded Logic. Homepage**. Disponível em: <<http://www.bondedlogic.com/>>. Acesso em: 08 de jun. de 2022. [18]
- BUILD4LESS. Build 4 Less - Ireland's Leading Provider of Building Supplies. **Cavity Wall Insulation**. Disponível em: <<https://www.build4less.ie/insulation-materials/cavity-wall-insulation.html>>. Acesso em: 06 de jul. de 2022.
- CARDOSO, G. T. **Caracterização da espuma rígida de poliuretano (PU) derivada de óleo de mamona (Ricinus communis) para isolamento térmico na construção civil**. 2010. 82p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010. [12]
- CEWOOD. Cewood - wood wool panels. **Products**. Disponível em: <<https://www.cewood.com/products-eng>>. Acesso em: 01 de jul. de 2022. [13]
- COCO VERDE. Coco verde reciclado. **Tratamento acústico**. Disponível em: <<http://www.cocoverderj.com.br/tratamento-acustico.htm>>. Acesso em: 05 de maio de 2022. [21]
- D'ALESSANDRO, F.; PISPOLA, G. Sound absorption properties of sustainable fibrous materials in an enhanced reverberation room. **Proceedings of Internoise 2005**. Rio de Janeiro, Brazil, 2005. [9]
- DEL REY, R. et al. **Characterization of sheep wool as a sustainable material for acoustic applications**. **Materials**, v. 10, n. 11, p. 1277, 2017. [10]
- ECOCOCON. EcoCocon. **The Panel**. Disponível em: <<https://ecococon.eu/the-panel>>. Acesso em: 18 de maio de 2022. [20]
- EPE, Empresa de Pesquisa Energética. **Nota Técnica - Ações para Promoção da Eficiência Energética nas Edificações Brasileiras: no Caminho da Transição Energética**. Ministério de Minas e Energia, Rio de Janeiro, 2020.
- GHELLERE, F. B. **Painel de vedação vertical pré-fabricado em madeira**. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2020.
- GRUPO AMORIM. Amorim cork insulation. **Produtos**. Disponível em: <<https://www.amorimcorkinsulation.com/produtos/>>. Acesso em: 05 de maio de 2022. [14]
- HEMP HOUSE / BACH MÜHLE FUCHS + LJUBICA ARSIĆ. **ArchDaily**, 2022. Disponível em: <<https://www.archdaily.com/986188/hemp-house-bach-muhle-fuchs-plus-ljubica-arsic>>. Acesso em: 03 de ago. de 2022.
- HEMPFLAX. Thermo Hanf - insulate ecologically with hemp and jute. **Thermo Hanf® Combi jute insulations mats**. Disponível em: <<https://www.thermo-hanf.de/en/products/thermo-hemp-combi-jute-insulation-mat/>>. Acesso em: 01 de jul. de 2022. [27]
- INO, A. Tecnologias Construtivas de Baixo Carbono: a madeira e novos paradigmas para a construção civil. **Tecnologias Construtivas de Baixo Carbono (TCBCs)**, São Carlos, ed. 1, p. 0-37, 2016.
- LEHNE, J.; PRESTON, F. Making Concrete Change. **Innovation in Low-carbon Cement and Concrete**, 2018.
- MANOHAR, K. et al. Biodegradable fibrous thermal insulation. **Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering**, Rio de Janeiro, v. 28, n. 1, p. 45-47, mar. 2006. [6]



NAVACERRADA, M. Á. et al. Comportamiento acústico y térmico de materiales basados en fibras naturales para la eficiencia energética en edificación. **Informes de la Construcción**, v. 73, n. 561, p. e373-e373, 2021. [8]

NAVROSKI, M. C. et al. Avaliação do isolamento térmico de três diferentes materiais usados na construção e preenchimento de paredes externas. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 1, n. 1, p. 10-12953/2177-6830. v01n01a04, 2010.

OKAMBUVA. Okambuva bioconstrucción. **Alfawall, módulos prefabricados de paja**. Disponível em: <<https://www.okambuva.coop/frontpage/alfawall-modulos-prefabricados-de-paja/>>. Acesso em: 19 de maio de 2022. [16]

PRUTEANU, M. **Investigations Regarding the Thermal Conductivity of Straw**. Buletinul Institutului Politehnic Din Iasi, Iasi, v. 56, n. 3, p. 9-16, 2010. [11]

RICE HOUSE. Rice House - per un'architettura possibile. **Products for a possible architecture**. Disponível em: <<https://www.ricehouse.it/en/products/>>. Acesso em: 25 de maio de 2022. [24]

ROOTMAN. Rootman - la naturaleza es nuestra fábrica. **Construcción**. Disponível em: <<https://www.rootman.com/que-hacemos/>>. Acesso em: 01 de jun. de 2022. [22]

SEEG, Sistema de Estimativas de Emissões e Remoções de Gases do Efeito Estufa. **Análise das emissões brasileiras de gases de efeito estufa e suas implicações para as metas de clima do Brasil 1970-2019**. 2020.

SHEEP WOOL INSULATION. Sheep Wool Insulation. **Thermal Insulation 100% Pure SheepWool With IONIC PROTECT®**. Disponível em: <<https://www.sheepwoolinsulation.com/store/thermal-insulation/>>. Acesso em: 01 de jun. de 2022. [25]

SOUNDPROOF COW. Soudproofing & Acoustic Solutions - Soundproof Cow. **Sound Absorption Materials**. Disponível em: <<https://www.soundproofcow.com/product-category/sound-absorption-materials/>>. Acesso em: 08 de jun. de 2022. [23]

SPINELLI, R. et al. Isolamento Térmico de Fachadas com Utilização de Elemento Vegetal. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 686-703, 2020. [7]

STEICO. Steico - engineered by nature. **Insulation Materials**. Disponível em: <<https://www.steico.com/en/solutions/product-advantages/steico-insulation-materials>>. Acesso em: 01 de jul. de 2022. [26]

STRAWCTURE ECO. Strawcture Eco - eco-friendly building materials. **Agribiopanel**. Disponível em: <<https://strawcture.com/agribiopanel/>>. Acesso em: 25 de maio de 2022. [15]

TANGJUANK, S. Thermal insulation and physical properties of particleboards from pineapple leaves. **International Journal of Physical Sciences**, v. 6, n. 19, p. 4528- 4532, set. 2011. [1]

THERMAFLEECE. Thermafleece® - nature's finest insulation. **Our products**. Disponível em: <<https://www.thermafleece.com/our-products>>. Acesso em: 02 de jun. de 2022. [28]

YARBROUGH, D. W. et al. Apparent thermal conductivity data and related information for rice hulls and crushed pecan shells. **Thermal Conductivity**, v. 27, p. 222-230, 2005. [3]