Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira
XVIII EBRAMEM
05 a 07 de maio de 2025
Curitiba, Paraná, Brasil

DESEMPENHO DE PAINEIS RECONSTITUÍDOS DE MATERIAIS ALTERNATIVOS QUANTO À FORÇA DE LIGAÇÃO INTERNA

Lucas Lima Costa[1]*, Filipe Luigi. D. L. Santos[1]; Rita Dione A. Cunha[2]; Sandro Fábio César[2]
*Autor de contato: lucaslcst@gmail.com

[1] Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil
[2] Departamento de Construção e Estruturas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, Brasil

RESUMO

Países com extensão de florestas ou em escassez de madeira têm demonstrado aptidão às pesquisas quanto ao uso de materiais vegetais, subprodutos de processos agroindustriais. Revelando o potencial de resíduos lignocelulósicos na obtenção de materiais particulados alternativos, como substituto às madeiras. Este trabalho teve como objetivo elucidar o comportamento de painéis obtidos com materiais lignocelulósicos em substituição parcial à madeira, quanto à propriedades mecânica de ligação interna (IB). A metodologia Proknow-C aplicada à última década de publicação, traçou o diagnóstico dos artigos científicos que estudaram painéis com resíduos vegetais. Quanto a propriedades de ligação interna (IB), os resultados mostram que há muitas substituições que podem ser feitas às madeiras, mesmo que, com interferência no desempenho desta propriedade, em alguns casos a substituição melhorou o desempenho do material particulado original.

Palavras-chave: ligação interna; propriedades; particulado alternativo.

ABSTRACT

Countries with extensive forests or a scarcity of wood have demonstrated aptitude in researching the use of plant materials and by-products from agro-industrial processes. These studies reveal the potential of lignocellulosic residues in producing alternative particulate materials as substitutes for wood. This study aimed to elucidate the behavior of panels made with lignocellulosic materials as a partial replacement for wood, focusing on the mechanical property of internal bond strength (IB). The Proknow-C methodology, applied to publications from the past decade, provided a diagnostic of scientific articles investigating panels made with plant residues. Regarding internal bond strength (IB), the results show that many substitutions can be made for wood. While some substitutions affect performance, in certain cases, the replacement improved the performance of the original particulate material.

Keywords: internal bonding; properties; alternative particulated.

1. INTRODUÇÃO

O desempenho físico e mecânico dos materiais lignocelulósicos reconstituídos é fator crucial na determinação da aplicação destas soluções. A norma brasileira NBR 14810 – Painéis de partículas de média densidade (2024) é um exemplo que baliza as condições de uso e aplicação, distinguindo os diversos subprodutos dos processos de reconstituição, conforme o uso e aplicação.

A força de ligação interna avalia a resistência dos painéis ao esforço aplicado perpendicularmente sobre o plano de prensagem dos painéis reconstituídos. Nesta situação, a linha de ruptura poderá desenvolver-se dentro da espessura do bloco, determinando a carga P (expressa em Newtons), ou entre a linha de cola e as faces do painel ou do suporte, configurando falhas na colagem dos blocos de tração NBR 14810-2 (2024).

A normatização brasileira atual não prevê exclusividade quanto ao adesivo utilizado, tanto para reconstituição, quanto para os métodos de ensaios, sobretudo em virtude da variedade de opções. Todavia, a norma explicita que o adesivo selecionado para este procedimento deverá ter resistência (à tração) superior à resistência do painel.

No mundo todo, pesquisas têm demonstrado o potencial de utilização de resíduos vegetais diversos na obtenção de painéis reconstituídos, ora como alternativa ao emprego de madeiras, ora como substituto parcial. Isto fica ainda mais nítido, por países com grande potencial madeireiro que desejam preservar as florestas nativas, ou mesmo países com pouca disponibilidade florestal que tentam, por meio dos resíduos da produção agroindustrial, alternativas aos painéis (Costa *et al*., 2022).

Muitos autores tentam compreender as interações da inserção de materiais alternativos em painéis recosntituídos. Trabalhos como Trianoski et al., (2011) utilizaram *Acrocarpus fraxinifolius* em substituição à *Pinus Taeda,* Ghalehno *et al*,. (2012) utilizaram talos de *Hibiscus sabdariffa* em substituição à partículas *de Eucalyptus camaldulensis,* Varanda *et al.,* (2013) empregaram cascas de aveia em substituição à partículas de *Eucalyptus grandis,* Yeniocak *et al., (2014)* adotaram a *Vitis vinifera L. cv. Sulitani* como substituto à *Pinus sylvestris,* Battistelle *et al.,* (2016) adotaram o bagaço da cana-de-açúcar como substituto à folhas de bambu, Barros Filho *et al*., (2011) usaram bagaço da cana-de-açúcar em *Pinnus spp*. ou *Eucalyptus spp e Pirayesh et al., (2012)* usaram cascas de *Juglans regia L.* em substituição à madeiras de carpa, faia e carvalho.

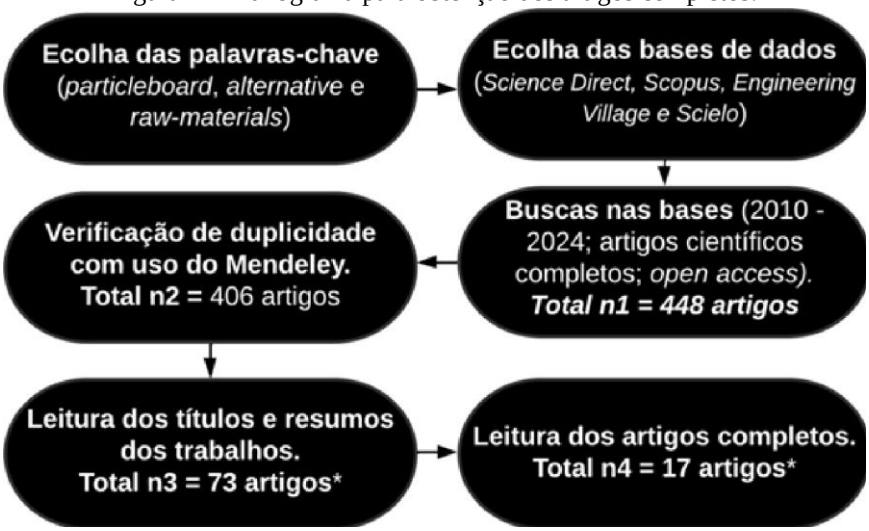
Em face da variedade de materiais lignocelulósicos disponíveis, bem como as possibilidades de interações entre distintos resíduos, este trabalho investigou o desempenho quanto a força de ligação interna de painéis obtidos com teores de materiais vegetais alternativos em relação ao material reconstituído como referência. Para isto, utilizou-se da metodologia ProKnow-C, com artigos completos obtidos em quatro bases de dados, *Science Direct, Scopus, Engineering Village e Scielo*. Foram empregadas as palavras-chave: *Particleboard*, *alternative* e *raw-material*.

2. METODOLOGIA

2.1 Obtenção do portfólio bibliográfico

Para composição dos trabalhos, foram levantados artigos completos oriundos das bases de dados nacionais e internacionais *Science Direct*, *Scopus*, *Engineering Village* e *Scielo*, com uso das palavras chaves *particleboard*, *alternative* e *raw-materials*, que significam particulado, alternativa e matéria prima, respectivamente. O período de análise foi de 2010 a 2024, e foram considerados apenas artigos científicos completos e *open access*[1]. A figura 1 apresenta o fluxograma para obtenção dos trabalhos nas bases.

Figura 1 – Fluxograma para obtenção dos artigos completos.



Fonte: os autores.

Ao todo, foram encontrados 448 artigos que atendem aos requisitos de artigo completo, *open access* e oriundos de 2010 a 2024. Assim, os arquivos foram exportados das bases em formato *.ris* e tratados com auxílio da ferramenta computacional Mendeley, em relação a duplicidade, resultando em 406 artigos. Destes, após leitura dos resumos, somente 73 artigos tratavam da produção e obtenção de materiais reconstituídos. Após leitura completa, apenas 17 artigos estavam em acordo com o tema e destes, 13 investigaram as propriedades de ligação interna (IB).

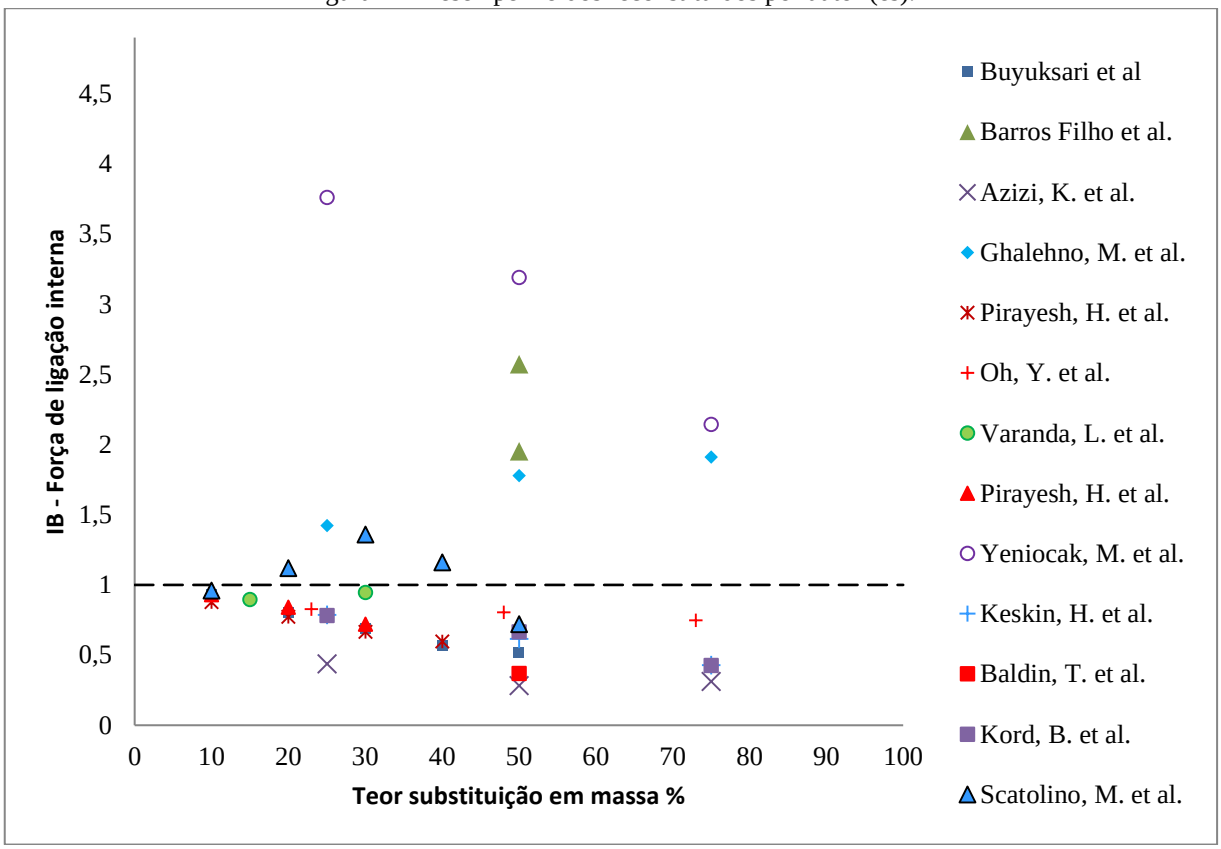
Para determinação dos valores da propriedade de ligação interna, foram estabelecidos os valores de referência considerando os reconstituídos com 0% de teor de substituição. Portanto, a propriedade de referência é o valor determinado em ensaio do reconstituído com 100% da matéria prima original. Consequentemente, o desempenho em porcentagem é expresso em relação ao teor de substituição que foi realizado, superiores ou inferiores à referência. Com os dados, foram obtidos gráficos de dispersão, através do *Microsoft Excel 2010*.

[1] Acesso aberto ou livre, em tradução livre, segundo Gama, Cianconi e Goméz (2022) é a abertura científica a partir da publicação aberta, que constrói um novo modelo de documento a partir da cultura digital e outros modos de compartilhamento.

3. RESULTADOS

Na Figura 2, constam os autores que investigaram a propriedades de ligação interna nos painéis reconstituídos com uso de material alternativos em substituição parcial à madeira.

Figura 2 – Desempenho dos reconstituídos por autor (es).



Fonte: os autores.

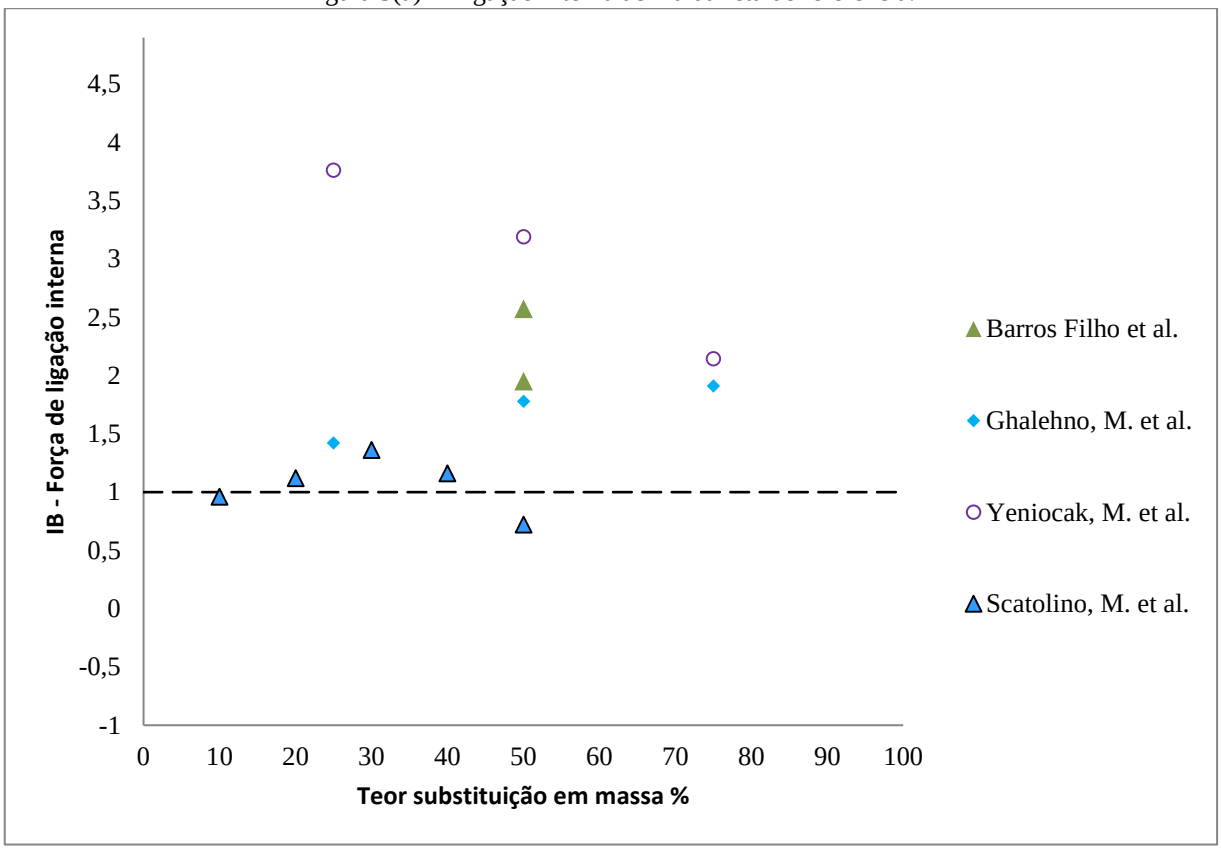
Para melhor compreensão da dispersão obtida, a Figura 2 foi separada em 2 partes. Sendo que na Figura 3(a) estão listados os valores que se situam acima da reta de referência, já a figura 3(b) estão os valores obtidos abaixo da reta de referência.

As substituições que melhor foram observadas, foram dos autores Barros Filho et al., (2011) que usaram bagaço da cana-de-açúcar em *Pinnus spp*. ou *Eucalyptus spp*, as proporções de 50% em ambos os casos, Ghalehno *et al*,. (2012) que utilizaram talos de *Hibiscus sabdariffa* em substituição à partículas de *Eucalyptus camaldulensis*, nas proporções 25%, 50% e 75%, em substituição à partículas de *Eucalyptus grandis*, em proporções 15% e 30%; Yeniocak *et al*., (2014) adotaram a *Vitis vinifera L. cv. Sulitani* como substituto à *Pinus sylvestris* nas proporções 25%, 50% e 75% e Scatolino *et al*., (2017), que empregaram cascas de grãos de café em substituição à *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*, nas proporções 20%, 20%, 30%, 40% e 50%.

Nesta situação a análise mostra que para Ghalehno *et al*., (2012) observou uma tendência de aumento na força de ligação interna, conforme aumentou-se também o teor de material inserido.

Já Yeniocak *et al*., (2014), apesar de obter todo os desempenhos acima da reta de referência, obteve a diminuição do desempenho quanto a ligação interna conforme o aumento do teor de substituição do material. Scatolino *et al.,* (2017) obteve valores inferiores à reta de referência nas substituições de 10% e 50%, todavia, as substituições de 20%, 30% e 40% apresentaram vantagem em relação à referência.

Figura 3(a) – Ligação interna acima da reta de referência.



Fonte: os autores.

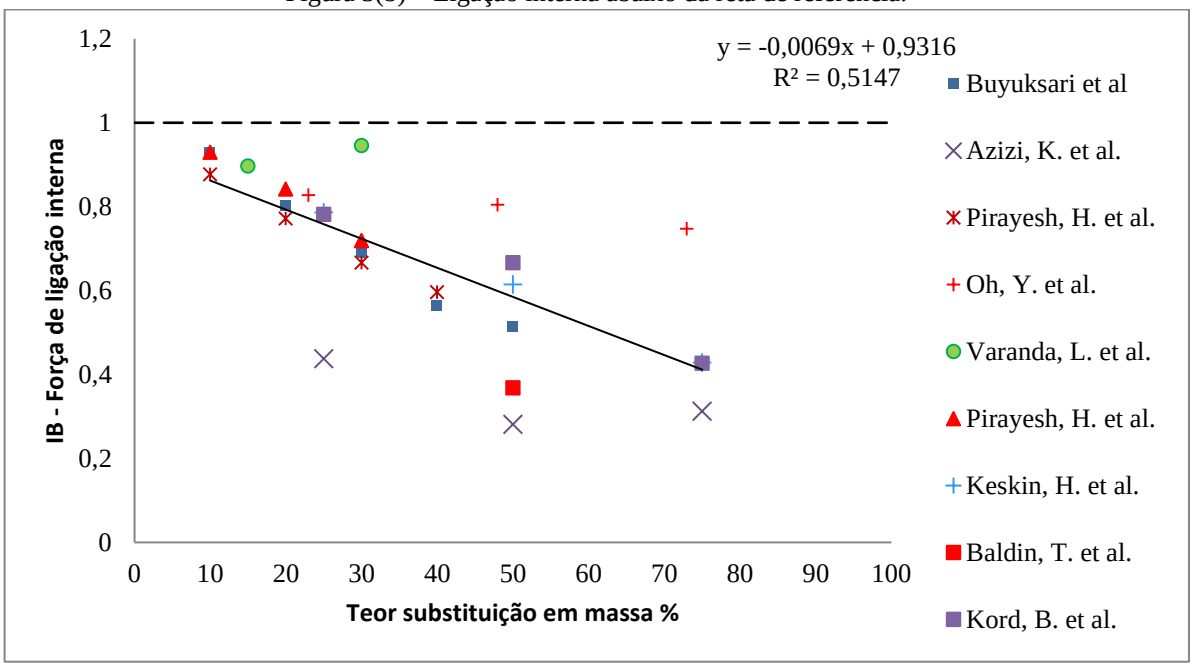
Estes resultados demonstram viabilidade no emprego de materiais alternativos adotados quanto ao desempenho de ligação interna dos materiais estudados. Outras propriedades devem ser investigadas de forma paralela, visto que, apesar do aumento relatado, outros desempenhos podem ter sido alterados.

As substituições que resultaram em menores valores para a propriedade de força de ligação interna foram observadas por Buyuksari, *et al.*, (2010) que utilizaram *Pinus pinea L.* em substituição à *Pinus nigra Arnold var. pallasian* e *Fagus orientalis Lipsky*, nas proporções 10%, 20%, 30%, 40% e 50%; Azizi *et al*., (2011) adotando resíduos de trigo em *Fagus sylvatica*, nas proporções 25%, 50% e 75%; Pirayesh *et al*., (2012) usaram cascas de *Juglans regia L.* em substituição à madeiras de carpa, faia e carvalho, em proporções de 10%, 20%, 30%, 40%; Oh *et al*., (2012), fizeram uso de *Fagopyrum esculentum* L. em substituição a *Populus alba e Prosopis glandulosa;* Varanda *et al*., (2013) empregaram cascas de aveia em substituição à partículas de *Eucalyptus grandis*, em proporções 15% e 30%; Pirayesh *et al*., (2013), fizeram uso de cascas de nozes e amêndoas (*Juglans regia L* e *Prunus amygdalus L.*, respectivamente*)* em substituição à *Carpinus betulus L.* e Fagus orientalis L., em proporções 10%, 20% e 30%;

Keskin *et al*., (2015), fizeram uso de resíduos de *Papaver somniferum Linnaeus* em substituição à madeira de pinus, nas proporções de 35%, 50% e 75%; Baldin *et al*., (2016), fizeram uso de *Eragrostis plana* Nees capim-annoni (sic) em substituição à madeira de *Pinus sp*., na proporção 50% e Kord *et al*., (2016) utilizaram *Brassica napus* em substituição às madeiras de *Alnus subcordata, Eucalyptus grandis, Populus nigra, Fagus orientalis e Acer saccharum (com densidade de 580 kg/m³) na proporção de 25%, 50% e 75%*.

Já a Figura 3(b) estão dispostos os resultados dos autores que encontraram valores inferiores à reta de referência.

Figura 3(b) – Ligação interna abaixo da reta de referência.



Fonte: os autores.

A diferença no desempenho observada na maioria das análises está relacionada à mudança do material para manufatura dos reconstituídos. Sobretudo, em relação à densidade dos materiais adotados, como a substituição de madeiras por materiais lignocelulósicos menos densos. Apesar da diferença e do menor desempenho em relação à propriedade investigada, tais resultados podem ser aprimorados, pela inserção de componentes durante à manufatura. Além de, não significar inaplicabilidade dos materiais com inserções, sendo que o desempenho desejado pode ser atingido através da reta de referência desenvolvida na Figura 3(b).

4. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo investigar, por meio da metodologia Proknow-C, o desempenho de painéis particulados produzidos com substituição de teores de materiais vegetais alternativos. Com a análise foi possível observar quais substituições e teores parecem mais adequados diante das matérias-primas investigadas e seus percentuais substituídos. Concluindo-se:

a) A força de ligação interna sofre variações conforme a relação de densidade dos materiais usados como substituto.

b) Entre os autores, quatro deles conseguiram melhorar o desempenho da força de ligação interna mesmo que o incremento no teor de substituição causasse também a diminuição dos valores da propriedade investigada.

c) A maioria dos autores, nove deles, obteve valor de força de ligação interna inferior ao valor de referência, portanto, abaixo da reta tracejada.

d) Apesar da diminuição observada pela maioria dos autores, investigações futuras permitirão dizer se, diante da aplicação do reconstituído com os teores de substituição empregado, estas serão viáveis ou não.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810: **Painéis de partículas de média densidade – Parte 1: Terminologia.** Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810-1e2: **Painéis de partículas de média densidade – Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2024.

AZIZI, K. TABARSA, T. ASHORI, A. Performance characterizations of particleboards made with wheat straw and waste veneer splinters. **Composites Part B: Engineering**, v. 42, n. 7, p. 2085 – 2089, 2011.
BALDIN, T. GRASSMANN, A. VIDRANO, B. A. CANCIAN, L. C. SPATT, L L. HASELEIN, C. R. Qualidade de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e capim-annoni. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, 2016, v. 11, n. 3, p. 230 – 237. DOI:10.5039/agraria.v11i3a5376.

BATTISTELLE, R. FUJINO, D. M. SILVA, A. L. C. BEZERRA, B. S. VALARELLI, I. D. Physical and Mechanical Characterization of Sugarcane Bagasse Particleboards for Civil Construction. **Journal of Sustainable development of Energy, Water and Environment Systems**, v. 4, n. 4, p. 408 - 417, 2016.

BUYUKSARI, U. AYRILMIS, N. AVACI, E. KOC, E. Evaluation of the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particleboard manufactured from waste stone pine (Pinus pinea L.) cones. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 1, p. 255 – 259, 2010.

COSTA, Lucas Lima. PAINEL RECONSTITUÍDO A PARTIR DO SISAL (*Agave sisalana)* PARA ISOLAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES. 2022. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2022.

DE BARROS FILHO, R. M. MENDES, L. M. NOVACK, K. M. APRELINI, L. O.

BOTARO, V. R. Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. **Industrial Crops and Products**, V. 33, N. 2, P. 369 – 373, 2011.

GHALEHNO, M. D. NAZERASN, M. Physical and mechanical properties of particleboard from roselle (Hibiscus sabdariffa) stalks and eucalyptus (eucalyptus camaldulensis) wood particles. **Wood Material Science e Engineering**, v.?, n. 7, p. 25 – 29, 2012.

KESKIN, H. KUCUKTUVEK, M. GURU, M. The potential of poppy (Papaver somniferum Linnaeus) husk for manufacturing wood-based particleboards. **Construction and Building Materials**, v. 95, n. 1, p. 224 – 231, 2015.

KORD, B. ZARE, H. HOSSEINZADEH, A. Evaluation of the mechanical and physical properties of particleboard manufactured from canola (Brassica Napus) Straws. **Maderas. Ciencia y tecnologia**. v.1 n. 18, p. 9 – 18, 2016.

MESQUITA, A. DE L. BARRERO, N. G. FIORELLI, J. CHRISTOFORO, A. L. DE FARIA, L. J. G. LAHR, F. A. R. Eco-particleboard manufactured from chemically treated fibrous vascular tissue of acai (Euterpe oleracea Mart.) Fruit: A new alternative for the particleboard industry with its potential application in civil construction and furniture. **Industrial Crops & Products**, v. 112, n. ?, p. 644 – 651, 2018.

PARIDAH, M. T. JULIANA, A. H. EL-SHEKEIL, Y. A. JAWAID, M. ALOTHMAN, O. Y. Measurement of mechanical and physical properties of particleboard by hybridization of kenaf with rubberwood particles. **Measurement,** v. 56, n. ?, p. 70 – 80, 2014.

PIRAYESH, H. KHAZAEIAN, A. SALARI, A. Effect of using walnut/almond shells on the physical, mechanical properties and formaldehyde emission of particleboard. **Composites Part B: Engineering,** v. 45, n. 1, p. 858 – 863, 2013.

PIRAYESH, H. KHAZAEIAN, A. TABARSA, T. The potential for using walnut (Juglans regia L.) shell as a raw material for wood-based particleboard manufacturing. **Composites Part B: Engineering,** v. 43, n. 8, P. 3276 – 3280, 2012.

SCATOLINO, M. V. COSTA, A. O. GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. PROSTÁSIO, T. P. MENDES, R. F. MENDES, L. M. Eucalyptus wood and coffee parchment for Particleboard production: Physical and mechanical properties. **Ciência e agrotecnologia**, v. 41, n. 2, p. 139 – 146, 2017.

TRIANOSKI, R. PICCARDI, A. B. R. IWAKIRI, S. MATOS, J. L. M. BONDUELLE, G. M. Incorporação de grevillea robusta na produção de painéis aglomerados de pinus. **Floram – Floresta e Ambiente**, v. 2, n. 23, p. 278 – 285, 2016.

VARANDA, L. C. NASCIMENTO, M. F. CHRISTOFORO, A. L. SILVA, D. A. L. LAHR, F. A. R. Oat hulls as addition to hight density panels production. **Materials Research**. V.6, n. 16, p. 1355 – 1361, 2013.

YENIOCAK, M. GÖKTAS, O. ERDIL, Y. ÖZEN, E. Investigating the use of vine pruning stalks (Vitis vinifera l. Cv. Sultani) as raw material for particleboard manufacturing. **Wood Research**, v. 59, n. 1, p. 167 – 176, 2014.