

Desempenho à flexão de painéis obtidos a partir de resíduos lignocelulósicos

Lucas Lima Costa¹; Fernanda C. Leal²; Filipe L. D. L. Santos¹; Heloise F. Santos²; Rita D. A. Cunha¹; Sandro F. César¹

¹ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPEC), Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador/BA, Brasil – lucaslcst@gmail.com; ² Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Salvador/BA, Brasil.

Resumo: Alternativa à produção de reconstituídos, os resíduos lignocelulósicos oriundos dos diversos setores produtivos representam potencial à reconstituição. Apenas o setor madeireiro converte 65% das toras em resíduos, sem contar os demais setores industriais como a agroindústria. Este trabalho teve como objetivo realizar um levantamento em bases de dados nacionais e internacionais, empregando as ferramentas de buscas, palavras-chave e, entre os anos de 2010 e 2023, para painéis reconstituídos com teores de substituição de resíduos. Os resultados mostram que a propriedade de flexão é investigada em 100% dos trabalhos encontrados. Todavia, para as propriedades de MOE e MOR, obtidas na flexão, os reconstituídos apresentaram desempenho distinto, mediante os teores de substituição adotados e as propriedades dos materiais alternativos usados. Estes resultados indicam os teores de substituição limites com interesse específico na comutação de matérias primas para obtenção de reconstituídos.

Palavras-chave: Particulado, resíduos, exploração madeireira.

Flexural performance of panels made from lignocellulosic waste

Abstract: As an alternative to the production of reconstituted materials, lignocellulosic waste from various productive sectors represents potential for reconstitution. The forestry sector alone converts 65% of logs into waste, not including other industrial sectors such as agroindustry. This study aimed to conduct a review of national and international databases, using search tools and keywords between the years 2010 and 2023, for reconstituted panels with various waste substitution levels. The results show that the bending property is investigated in 100% of the studies found. However, for the properties of MOE (Modulus of Elasticity) and MOR (Modulus of Rupture) obtained in bending, the reconstituted materials exhibited varied performance depending on the substitution levels used and the properties of the substitute materials used. These results indicate the substitution levels with specific interest in the switching of raw materials for producing reconstituted materials.

Keywords: Particulated, Residue, Wood exploration.

1. INTRODUÇÃO

A busca por alternativas à produção de reconstituídos expõe os resíduos lignocelulósicos como matéria prima passível à manufatura de produtos voltados ao

ambiente construídos, tais como painéis, placas, particulados e materiais isolantes. Em muitos países, com reservas florestais ou não, variados subprodutos da exploração industrial, incluindo agroindústria, são empregados nas pesquisas para obtenção de reconstituídos (Costa *et al.*, 2022). O que antes era resíduo, torna-se matéria prima disponível à reconstituição e às pesquisas científicas.

O módulo de elasticidade (MOE) é importante propriedade no dimensionamento. MOE expressa a rigidez de um corpo de prova, e é determinado durante o regime elástico, portanto, quando não há alteração de suas características originais. Enquanto o módulo de ruptura (MOR), ou a resistência à flexão estática, é a resistência que um corpo de prova, apoiado nos extremos, oferece quando sujeito a uma força aplicada em seu centro até a ruptura, como descrito pela Associação Brasileira de Normas Técnicas a NBR 14810-1 (2023) Painéis de partículas de média densidade. Parte 1: Terminologia.

Neste contexto, há demanda por compreender o desempenho das propriedades dos novos materiais reconstituídos obtidos a partir da mistura de diferentes matérias primas. Este trabalho investigou os módulos de ruptura (MOR) e de módulos de elasticidade (MOE) obtidos na flexão de reconstituídos com teores de substituição parcial aos materiais lignocelulósicos.

2. METODOLOGIA

2.1 *Obtenção do portfólio bibliográfico*

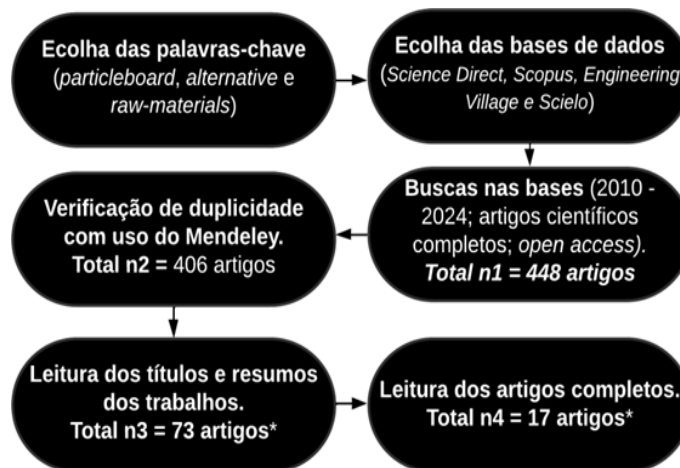
Foram levantados trabalhos nas bases de dados nacionais e internacionais *Science Direct*, *Scopus*, *Engineering Village* e *SciELO*, com uso das palavras chaves *particleboard*, *alternative* e *raw-materials*, que significam particulado, alternativa e matéria prima, respectivamente. O período de análise 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.

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

¹ Acesso aberto ou livre, em tradução livre, segundo Gama, Cianconi e Gómez (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.

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 investigaram as propriedades de flexão, e posteriormente, a determinação dos valores de MOR e MOE.

Figura 1. Fluxograma de obtenção dos artigos.



Fonte: Os autores.

Para determinação dos valores das propriedades MOR e MOE, 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. Conseqüentemente, 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*.

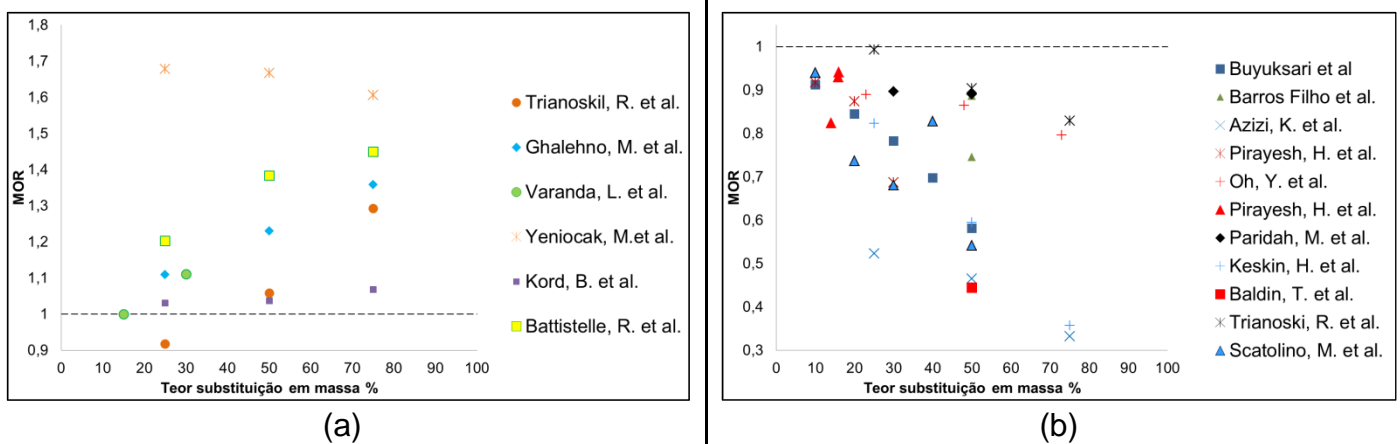
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE)

Na Figura 2, observam-se todos os autores que obtiveram aumento ou diminuição da propriedade de MOR em relação ao valor de referência (linha tracejada). Assim, a figura foi subdividida em figura 2(a) e 2(b) para os valores que situam-se acima da reta de referência e abaixo, respectivamente.

Em 2(a) os autores que obtiveram aumento no valor de MOR foram: Trianoski *et al.*, (2011) que utilizaram *Acrocarpus fraxinifolius* em substituição à *Pinus Taeda*, nas proporções de 25%, 50% e 75%; Ghalehno *et al.*, (2012) utilizaram talos de *Hibiscus sabdariffa* em substituição à partículas de *Eucalyptus camaldulensis*, nas proporções 25%, 50% e 75%; Varanda *et al.*, (2013) empregaram cascas de aveia em substituição à partículas de *Eucalyptus grandis*, em proporções 15% e 30%; Yenioçak *et al.*, (2014) adotaram a *Vitis vinifera L. cv. Sulitani* como substituto à *Pinus sylvestris* nas proporções 25%, 50% e 75%; 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%; Battistelle *et al.*, (2016) adotaram o bagaço da cana-de-açúcar como substituto à folhas de bambu, em teores de 25%, 50% e 75%.

Figura 2. Em (a) valores de MOR superiores à reta de referência; (b) valores de MOR inferiores à reta de referência.



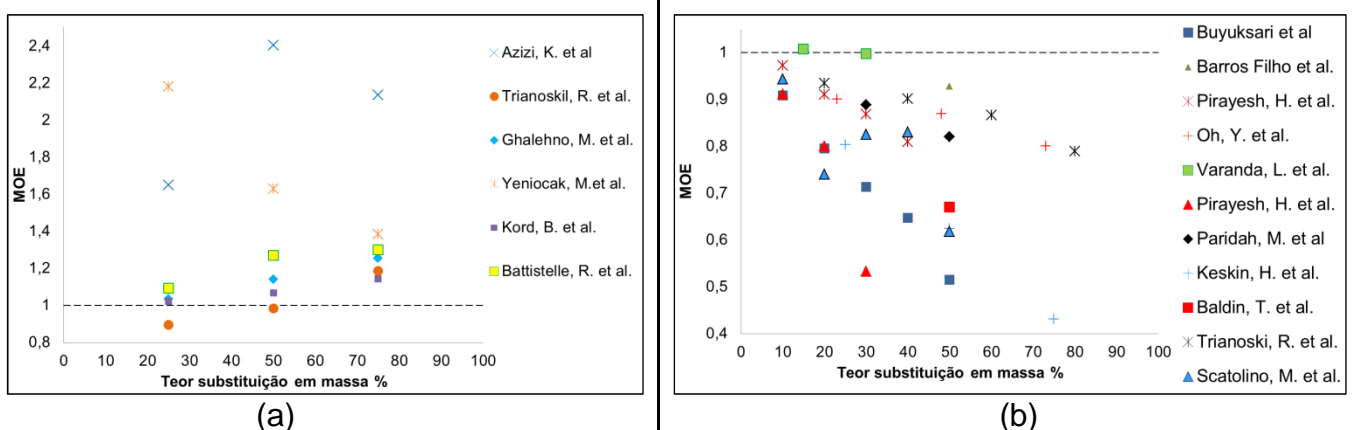
Fonte: Os autores.

Já na figura 2(b), as substituições que diminuíram o valor de MOR foram: 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%; Barros Filho *et al.*, (2011) que usaram bagaço da cana-de-açúcar em *Pinus spp.* ou *Eucalyptus spp.*, as proporções de 50% em ambos os casos; 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*; 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%; Paridah *et al.*, (2014), usaram caules de kenaf em substituição à madeiras seringueiras, nas proporções de 50% e 70%; 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%; Trianoski *et al.*, (2016), utilizaram *Grevillea robusta* em substituição à *Pinus taeda*, nas proporções 30%, 40%, 60% e 80%; 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%.

Já na Figura 3, em 3(a) relaciona os pontos para a propriedade de módulo de elasticidade (MOE) com desempenho inferior e 3(b) com desempenho superior à reta de referência, respectivamente.

Figura 3. Em (a) valores de MOE superiores à reta de referência; em (b) valores de MOE inferiores à reta de referência.



Fonte: Os autores.

Nesta propriedade, os autores que obtiveram aumento do MOE foram: Azizi *et al.*, (2011), Trianoski *et al.*, (2011), Ghalehno *et al.*, (2012), Yeniocak *et al.*, (2014), Kord *et al.*, (2016) e Battistelle *et al.*, (2016). Entre os autores que diminuíram o valor de MOE, têm-se: Buyuksari *et al.*, (2010), Barros Filho *et al.* (2011), Pirayesh *et al.*

(2012), Oh *et al.*, (2012), Varanda *et al.*, (2013), Pirayesh *et al.*, (2013), Paridah *et al.*, (2014), Keskin *et al.*, (2015), Baldin *et al.*, (2016), Trianoski *et al.*, (2016), Scatolino *et al.*, (2017). Trianoski *et al.*, (2011) mostra que a partir de 50% no teor de substituição foi identificado resultado maior nesta propriedade. Na análise de MOE, Varanda *et al.*, (2013) obteve comportamento superior à referência nas substituições iniciais, mas inferior conforme aumento. E, quanto aos que obtiveram melhora em relação à propriedade MOE, Azizi *et al.*, (2011) e Yenioçak *et al.*, (2014), apresentam comportamento de redução, ao longo da substituição de matéria prima. Já Trianoski *et al.*, (2011) apresentou redução nos valores iniciais e aumento após teores mais elevados.

Tal desempenho observado quanto ao MOR e MOE estão relacionados à natureza das matérias primas e dos materiais substitutos usados. Scatolino *et al.*, (2017) dizem que apesar da diminuição nas propriedades de MOR e MOE, ainda atendeu os limites normativos. Já Kord *et al.*, (2016) citam que apesar da diminuição nos valores de MOR e MOE, houve significativo aumento na ligação interna do material, evidenciando os benefícios da substituição. Trianoski *et al.*, (2016) citam limites de inserção inferior à 26%, obtido por meio de regressão. Varanda *et al.*, (2013) citam o ponto ótimo na análise de MOR quando a substituição atingiu 100%. Entre outros benefícios, a literatura cita os ganhos ambientais na utilização dos materiais alternativos às madeiras.

4. CONCLUSÃO

- Os valores encontrados nas propriedades de MOR e MOE direcionam os limites de substituição, conforme os teores de substituição de cada autor.
- Foi possível constatar alguns dos materiais empregados como alternativas à produção de reconstituídos, e evidenciar lacunas em relação aos teores de substituição empregados pelos autores.
- A inserção de diferentes teores e diferentes tipos de materiais torna limitada análise comparativa quanto ao desempenho dos reconstituídos, mas fornece subsídios aos pesquisadores quanto aos limites até então utilizados.
- Características como a densidade dos materiais alternativos, interação entre nova matéria prima e o adesivo usado, mudança nas dimensões das partículas são fatores que interferem nos valores de MOR e MOE investigados.

- Trabalhos futuros podem ainda relacionar outras propriedades de interesse, afetadas pelos teores de substituição.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14810: Painéis de partículas de média densidade. Parte 1: **Terminologia**. Rio de Janeiro: ANBT, 2023. 83 p.

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.

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.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS - **IBAMA**. Novo índice de aproveitamento para transformação de tora em madeira serrada combate desmatamento ilegal. Disponível em: <https://www.ibama.gov.br/noticias/422-2017/1092-novo-indice-de-aproveitamento-para-transformacao-de-tora-em-madeira-serrada-combate-desmatamento-ilegal>. Acesso em 05 de julho de 2024.

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 AGLOMEADO 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.