

Revista Brasileira de Ciências Agrárias

ISSN: 1981-1160

agrarias.prppg@ufrpe.br

Universidade Federal Rural de

Pernambuco

Brasil

Farias Machado, Nítalo André; Barros Furtado, Mariléia; Parra-Serrano, Luisa Julieth; de Oliveira Maia Parente, Michelle; Fiorelli, Juliano; Savastano Júnior, Holmer

Painéis aglomerados fabricados com resíduos do coco babaçu

Revista Brasileira de Ciências Agrárias, vol. 12, núm. 2, 2017, pp. 202-209

Universidade Federal Rural de Pernambuco

Pernambuco, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=119051638013>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

Painéis aglomerados fabricados com resíduos do coco babaçu

Nítalo André Farias Machado¹, Mariléia Barros Furtado¹, Luisa Julieth Parra-Serrano¹,
Michelle de Oliveira Maia Parente¹, Juliano Fiorelli², Holmer Savastano Júnior²

¹ Universidade Federal do Maranhão, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, BR 222, km 74, Boa Vista, 65500-000, Chapadinha-MA, Brasil. E-mail: nitalo-farias@hotmail.com; marileiafurtado@hotmail.com; julieth_ps@yahoo.com; michelle.parente@ufma.br

² Universidade de São Paulo, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Av. Duque de Caxias Norte, 225, Jardim Elite, CEP 13635-900, Pirassununga-SP, Brasil. E-mail: julianofiorelli@usp.br; holmersj@usp.br

RESUMO

A produção de painéis aglomerados no mundo é sustentada pelas espécies de *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. Todavia, o uso de resíduos de epicarpo e endocarpo provenientes do processo de extração da amêndoа do coco babaçu pode ser uma alternativa de matéria prima à baixo custo. Nessa pesquisa, objetivou-se avaliar a viabilidade técnica de utilização destes resíduos na produção de painéis aglomerados. Foram produzidos painéis 100% epicarp (100EP), 100% endocarp (100EN) e 50% epicarp com 50% endocarp (50EP) aglutinados com resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona com um teor de 12% em relação ao peso seco das partículas. A avaliação dos painéis produzidos foi realizada com base nos procedimentos das Normas Técnicas NBR 14810-2 (ABNT, 2013) e ANSI A208.1 (ANSI, 2009) com caracterização física (densidade, inchamento em espessura e absorção de água em 2 e 24 h) e mecânica (adesão interna, módulo de elasticidade e módulo de ruptura na flexão estática). Os resultados obtidos nesta pesquisa indicam a inviabilidade técnica de utilização dos resíduos do coco babaçu na produção de painéis aglomerados, pois não atendem os valores mínimos de propriedades físicas exigidos pelos documentos normativos. No entanto, promovem excelente desempenho mecânico, especialmente o epicarp do coco babaçu.

Palavras-chave: insumos alternativos; painéis de madeira; propriedades físico-mecânicas

Agglomerated panels made from babaçu coconut residues

ABSTRACT

The particleboard manufacturing in the world is sustained by the species *Pinus* spp. and *Eucalyptus* spp. However, the use of waste epicarp and endocarp from the extraction process almond coconut babassu can be an alternative raw material at low cost. This research, objective was to assess the technical feasibility of using these residues in the production of particleboard. The panels were produced: 100% epicarp (100EP), 100% endocarp (100EN) and 50% epicarp 50% endocarp (50EP) bonded with polyurethane bi-component resin castor oil base with a 12% content on dry weight the particle. The evaluation of particleboard produced was based on the procedures of NBR Technical Standards 14810-2:2013 and ANSI A208.1:2009 with physical characteristics (density, thickness swelling and water absorption at 2 and 24 h) and mechanical (internal adhesion, modulus of elasticity and modulus of rupture in bending). The results obtained in this research indicate the technical impossibility of using residues of babassu coconut in the production of agglomerated panels, since they do not meet the minimum values of physical properties required by normative documents. However, they promote excellent mechanical performance, especially the babassu coconut epicarp.

Key words: alternative inputs; wood panels; physical-mechanical properties

Introdução

Apalmeira de babaçu (*Orbygnia phalerata* Mart) é de grande importância socioeconômica para o Brasil, especialmente nos estados do Maranhão, Piauí e Tocantins (Queiroga et al., 2015). Sua exploração está intimamente ligada à extração do óleo das amêndoas do seu fruto, o coco babaçu, em 2013 foram estimadas 83.917 t de amêndoas de babaçu (IBGE, 2014). No entanto, nesse processo rejeita-se cerca de 93% do fruto (Soler et al., 2007), correspondendo a epicarpo, mesocarpo e endocarpo (Figura 1).

Os resíduos de epicarpo e endocarpo do coco babaçu podem ser utilizados como matéria prima de painéis aglomerados, em substituição as partículas provenientes das espécies de *Pinus* spp e *Eucalyptus* spp utilizadas em painéis comerciais, através de um processo longo e caro, mas que ganha mercado por já ser um dos materiais mais versáteis utilizados para a indústria de móveis e construção (Belini et al., 2014; Farrapo et al., 2014). Além disso, o uso de resíduos agroindustriais enobrece os resíduos, diminuem a pressão sobre as florestas e reduzem os custos de produção (Mendes et al., 2010).

Nesse sentido, o uso de resíduos lignocelulósicos vêm sendo amplamente estudados ao longo dos anos e cada vez mais se percebe o valor de sua utilização como alternativa parcial ou integral de painéis aglomerados, sua utilização é possível devido à similaridade de composição química com a das madeiras (Rowell et al., 2000). Mendes et al. (2010) estudaram o efeito da incorporação de casca de café (25, 50 e 75%) nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados à base de *Eucalyptus urophylla*. Os autores diagnosticaram redução nas propriedades físicas-mecânicas com aumento do teor de casca de café.

Trianoski et al. (2016) estudaram o efeito da incorporação de partículas de *Grevillea robusta* (20, 40, 60, 80 e 100%) nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados à base de *Pinus taeda*. Os autores concluíram que é possível utilizar até 26% de partículas de *Grevillea robusta* em uma matriz de *Pinus*. Gatani et al. (2013) avaliaram a viabilidade técnica do uso de resíduos da casca de amendoim como matéria prima de painéis aglomerados. Os autores concluíram que os resíduos da casca de amendoim são viáveis como matéria prima de

painéis aglomerados, sendo indicado para o setor moveleiro e decorativo.

Baldin et al. (2016) estudaram a viabilidade de utilização do capim-annoni (*Eragrostis plana* Nees) na fabricação de painéis aglomerados. Os autores constataram, com base nas propriedades físico-mecânicas, que o capim-annoni é inviável tecnicamente para a produção de painéis aglomerados. Por outro lado, Fiorelli et al. (2012) utilizaram a fibra da casca do coco-verde para na produção de painéis aglomerados. Os autores diagnosticaram viabilidade técnica no uso da casca do coco-verde, pois os painéis de casca de coco-verde apresentaram desempenho físico-mecânico acima dos limites mínimos recomendados pelos principais documentos normativos nacionais e internacionais.

Vale destacar que poucos estudos são realizados sobre a viabilidade de aproveitamento de resíduos agroindustriais na região pré-amazônica. Segundo Iwariki et al. (2012) a disponibilidade de insumos alternativos amazônicos poderia no futuro abrir perspectivas de instalação de pólos moveleiros na região, diminuindo as dependências de importação de móveis de regiões distantes com custos mais elevados.

Nessa perspectiva, torna-se oportuno promover uma investigação científica testando a utilização dos resíduos de epicarpo e endocarpo do coco babaçu como insumo alternativo para a produção de painéis aglomerados, considerando, a importância de ampliar a diversidade e disponibilidade de matéria prima para a indústria de painéis aglomerados, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica da produção de painéis aglomerados à base de resíduos do coco babaçu.

Material e Métodos

O resíduo do coco babaçu foi coletada em associações de “quebradeiras de coco babaçu” no município de maranhense de Vargem Grande, Brasil, após o processo de extração manual das amêndoas do coco babaçu. O resíduo do coco babaçu foi lavado em água corrente em uma solução de água e sabão neutro, e submetido à secagem natural por 24 h, e posteriormente encaminhado a Universidade de São Paulo, Pirassununga, SP, Brasil.

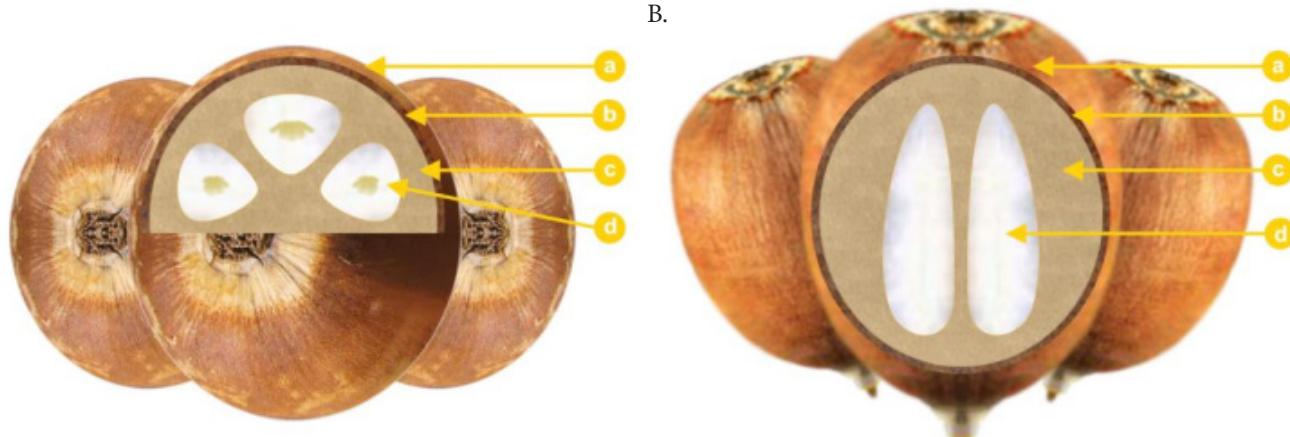


Figura 1. Representação das frações do coco babaçu. Corte transversal (A) e Corte longitudinal (B). Legenda: a - epicarpo, b – mesocarpo, c - endocarpo e d – amêndoas. Adaptado de Barros (2011).

Inicialmente foi proposto uma caracterização físico-química do resíduo de babaçu. Para isso, as frações de epicarpo e endocarpo contidas no resíduo do coco babaçu foram separadas manualmente, secas à temperatura ambiente até atingirem teor de umidade variando de 3 a 6%, peneiradas para retiradas de finos e, posteriormente picadas em moinho de rotor vertical em partículas variando de 4 a 8 mm de comprimento para a realização dos ensaios de caracterização da matéria prima.

As propriedades físico-químicas de densidade, potencial hidrogeniônico (pH), teor de extractivos e os componentes químicos estruturais dos resíduos de epicarpo e endocarpo do coco babaçu foram determinadas a fim de auxiliar na compreensão e discussão do seu uso como componente estrutural de painéis aglomerados.

A densidade dos resíduos do coco babaçu foram obtidos segundo a metodologia descrita por Fonseca (2012). Obteve-se o volume por picnometria, utilizando Multi Picnômetro de gás hélio *Quantachrome Instruments* modelo MVP 5DC, e posteriormente a densidade pela divisão da massa (11,9882 g) pelo volume.

A determinação do pH foi realizada pelo método do potenciômetro, utilizando pHmetro DM-23 composto por termopar e eletrodo tipo escoamento *Digimed* modelo DME-CV1. Os teores de extractivos foram obtidos pelo método de Soxhlet. A obtenção dos componentes químicos estruturais (lignina, celulose e hemicelulose) foi realizado segundo a metodologia descrita por Silva & Queiroz (2006).

As etapas de produção dos painéis aglomerados utilizando resíduos do coco babaçu (Figura 2A), seguiram as recomendações detalhadas por Maloney (1996). Inicialmente, com partículas de epicarpo e endocarpo do resíduo de babaçu

já processadas, devido aos ensaios de caracterização da matéria prima, as mesmas foram classificadas através de peneira vibratória com malhas de 6,0 e 4,0 mm e < 4,0 mm (coletor) obtendo partículas com classificação granulométrica de 6,0 > 4,0 mm.

Em seguida, as partículas foram introduzidas em um misturador planetário (Figura 2B) por um tempo de 10 minutos para homogeneização com resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona com um teor de 12% sobre a massa das partículas. A resina foi produzida pela empresa Plural Brasil. Não foi adicionado emulsão de parafina e tampouco catalisador, com o objetivo de que apenas a mamona atuasse na adesão das partículas da matriz estrutural dos painéis produzidos.

Após a homogeneização, o material foi disposto em um molde formador e o colchão resultante inserido na prensa termo hidráulica (Figura 2C) a uma temperatura de 100 °C durante 10 min com pressão média de 5 MPa. Após a prensagem, os painéis aglomerados foram armazenados por 72 h para que a cura completa da resina se efetuasse.

Destes painéis foram retirados os corpos de prova (CP) para cada ensaio físico-mecânica. Foram fabricados dois painéis aglomerados por tratamento (Tabela 1) com dimensões nominais de 400 x 400 x 10 mm, sendo extraídos dez corpos de prova por tratamento e ensaio realizado.

O desempenho dos painéis produzidos foi avaliado por meio da caracterização físico-mecânica, com a determinação da densidade aparente (DA), inchamento em espessura após 2 h (IE 2 h) e em 24 h (IE 24 h), absorção de água após 2 h (Abs 2 h) e 24 h (Abs 24 h), adesão interna (IA), módulo de elasticidade (MOE) e módulo de resistência (MOR) obtidas de acordo com os métodos de cálculo e procedimentos da Norma

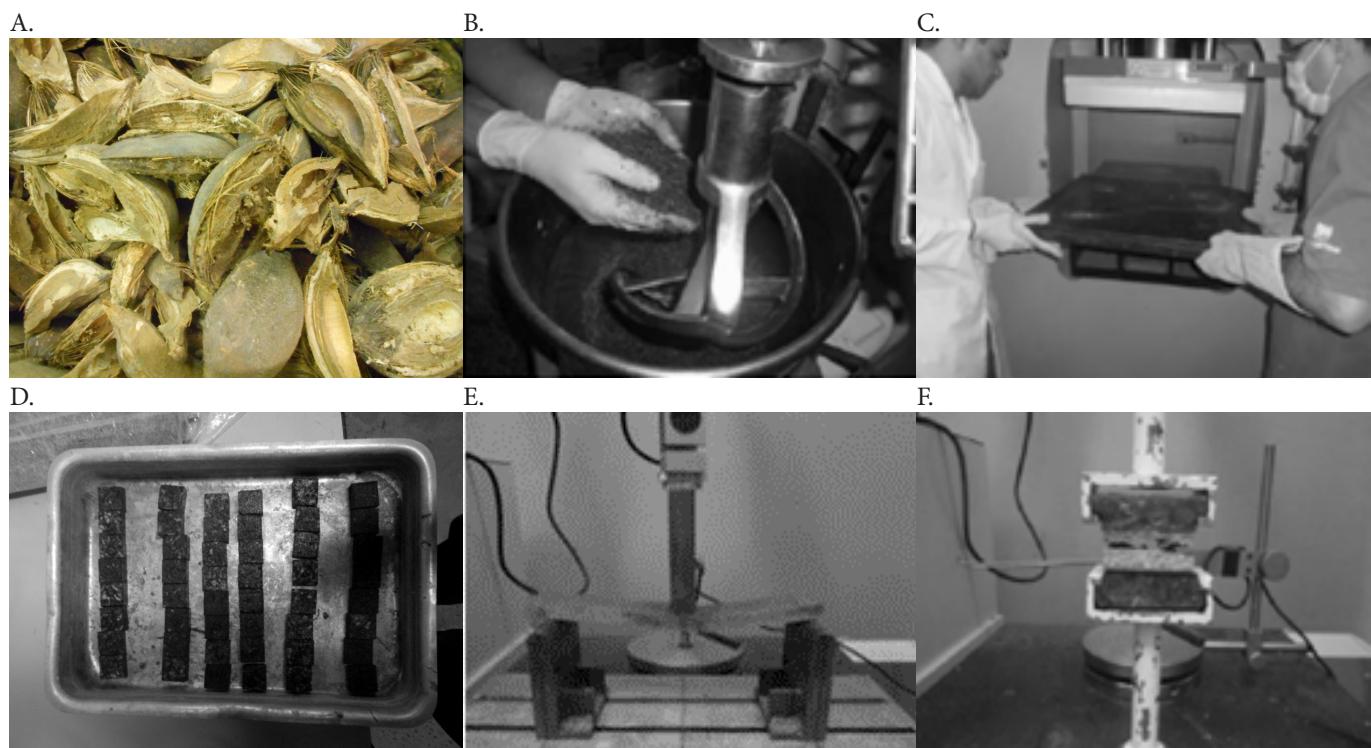


Figura 2. (A) Resíduo do coco babaçu após a extração da amêndoia, (B) homogeneização resíduo/resina no misturador planetário, (C) inserção na prensa termo hidráulica, (D) ensaio de inchamento em espessura, (E) ensaio de caracterização mecânica de flexão a três pontos e (F) ensaio de adesão interna.

Tabela 1. Composição dos painéis aglomerados avaliados neste experimento.

Tratamento	Composição (%)	
	Epicarpo	Endocarpo
100EP	100	0
100EN	0	100
50EP	50	50

Técnica NBR 14810 ABNT (2013), seu uso é justificado pela semelhança deste tipo de painéis (Chapas de madeira aglomerada) com o painel aglomerado desenvolvido no presente trabalho.

O ensaio de densidade aparente foi realizado em corpos de prova (CP) com dimensões 50 x 50 x 10 mm. Para os ensaios de inchamento em espessura e absorção de água foram confeccionados CP com dimensões 25 x 25 x 10 mm. Na sequência, os CP foram inseridos em um recipiente com água destilada a 20 °C, garantindo que o nível da água estivesse cerca de 25 mm acima da superfície superior do CP (Figura 2D). A massa e a espessura dos CP foram determinadas após 2 h ± 3 min e 24 h ± 3 min de imersão. O inchamento em espessura e absorção de água foram obtidos através das equações Eq. 1 e Eq. 2.

$$E = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \times 100 \quad (1)$$

em que:

- E - inchamento em espessura do CP (%);
- E_1 - espessura do CP após o período de imersão (mm);
- E_0 - espessura do CP antes da imersão (mm).

$$A = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100 \quad (2)$$

em que:

- A - absorção de água (%);
- M_1 - massa do CP após o período de imersão (g);
- M_0 - massa do CP antes da imersão (g).

Os ensaios de caracterização mecânica, flexão estática e adesão interna dos CP foram realizados utilizando uma máquina Universal de Ensaios EMIC DL com capacidade de carga de 30 t (Figura 2E). Para os ensaios de flexão estática foram confeccionados CP com dimensões 250 x 50 x 14 mm. Os CP foram posicionados sobre dois apoios da máquina universal, sendo o comprimento do vão dez vezes a espessura (mínimo 200 mm), e velocidade de execução do ensaio de 7 mm.min⁻¹ com célula de carga de 0,5 t. Para calcular o módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) dos CPs utilizou-se as Eq. 3. e Eq. 4. Para os ensaios de adesão interna

(Figura 2F) foram confeccionados CP com dimensões de 50 x 50 x 10 mm adotando os procedimentos e recomendações da Norma Técnica NBR 14810 (ABNT, 2013).

$$MOR = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times E^2} \quad (3)$$

em que:

- MOR - módulo de ruptura (MPa);
- P - carga de ruptura (N);
- D - distância entre apoios do aparelho (mm);
- B - largura do CP (mm);
- E - espessura média tomada em três pontos do CP (mm).

$$MOE = \frac{P_1 \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3} \quad (4)$$

em que:

- MOE - módulo de elasticidade (MPa);
- P_1 - carga no limite proporcional no indicador de cargas (N);
- D - distância entre os apoios do aparelho (mm);
- d - deflexão (mm);
- B - largura do CP (mm);
- E - espessura média tomada em três pontos do CP (mm).

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado, constituído de três tratamentos e dez repetições. A análise de variância foi realizada utilizando programa Infostat e a comparação de médias pelo teste t de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Resultados e Discussões

Os valores médios de densidade das partículas de epicarpo e endocarpo foram, respectivamente, de 1370 e 1402 kg m⁻³ (Tabela 2), o que pode prejudicar o processo de densificação e consolidação do painel aglomerado devido à alta razão de compactação e a eficiência na ligação do adesivo com a matéria prima no sistema estrutural. Segundo Maloney (1996) espécies com densidade de até 550 kg m⁻³ são as mais adequadas por atingirem uma razão de compactação entre 1,3 e 1,6. Houve diferença ($p < 0,05$) entre a densidade das partículas de epicarpo e endocarpo, possivelmente em razão das partículas de endocarpo serem mais porosas, com espaço vazio e maior área superficial por isso mais densas.

Em relação ao pH é possível observar um valor médio similar encontrado com a das madeiras utilizadas na produção de painéis aglomerados comerciais, que pode variar entre 3,0

Tabela 2. Valor médio de densidade, pH, teor de extrativos e composição química das partículas de epicarpo e endocarpo.

Parâmetros	Epicarpo	CV (%)	Endocarpo	CV (%)
Densidade (kg m⁻³)	1370,02 b	1,9	1402,00 a	1,85
pH	5,52 b	1,63	6,08 a	1,46
Extrativos (%)	1,10 a	0,91	1,11 a	1,02
Lignina	35,70 a	2,14	35,35 a	2,13
Celulose	32,33 a	0,94	29,81 b	1,51
Hemicelulose	20,80 b	2,03	25,71 a	1,87

Médias seguidas pela mesma letra na linha não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Em que: CV – Coeficiente de variação.

a 5,5 segundo Fiorelli et al. (2014). O que é favorável para a utilização dos resíduos de babaçu como matéria prima na produção de painéis aglomerados. Matéria primas com pH muito ácido inibem as reações químicas no processo de resina de cura, prejudicando a ligação no sistema estrutural (Iwariki et al., 2012). Vale destacar que foi constatado diferença ($p < 0,05$) entre o valor médio de pH de epicarpo e endocarpo de babaçu que foram, respectivamente, de 5,52 e 6,08.

A análise do teor de extrativos do resíduo de babaçu mostrou valores baixos (1,10% epicarpo e 1,11% endocarpo), o que pode ser justificado pela barreira do tegumento castanho que envolve a amêndoia, que concentra comumente os extrativos, e pela concentração de sílica no resíduo de babaçu (Figura 3A), como pode ser claramente observado na Figura 3B que destaca à presença de agrupamentos de cristais de sílica (dióxido de silício ou sílica, SiO_2) sob os componentes celulares do resíduo de babaçu identificadas na imagem MEV (microscopia eletrônica de varredura) e quimicamente confirmada através do alto pico do elemento Si em gráfico EDS (energy dispersive scan) (Figura 3C).

Os resultados obtidos indicam ótimas condições, pois altos teores de extrativos prejudica à qualidade do painel aglomerado. Segundo Bufalino et al. (2012) altos teores de extrativos bloqueiam o contato do adesivo com as partículas no processo de colagem. Os teores de extrativos dos resíduos de babaçu obtidos no ensaio são menores que os 2,68% constatados por Trianoski et al. (2016) em partículas de *Pinus*, a principal matéria prima utilizada pela indústria de painéis aglomerados comerciais, demonstrando ótimas condições para a sua aplicabilidade desse resíduo em painéis aglomerados.

Os resultados obtidos na análise dos componentes químicos (Tabela 2) demonstram a potencialidade de utilização

dos resíduos de babaçu como matéria prima de painéis aglomerados, devido a semelhante nos teores de celulose e lignina com a das partículas de madeira. Segundo Fiorelli et al. (2014) o conteúdo de celulose está intimamente relacionado com as propriedades mecânicas de aglomerados. A lignina no sistema da matriz estrutural do painel aglomerado contribui para os mecanismos de adesão por agir como amortecedor das microfibrilas de celulose, limitando o movimento paralelo à grã (Bufalino et al. 2012), contribuindo para o processo de colagem das partículas.

Os resultados no ensaio de densidade (Tabela 3), indicam que os painéis produzidos são classificados como de alta densidade na categoria H2 segundo a Norma Técnica NBR 14810:2013. A importância dessa classificação está em sua ligação com os valores mínimos de inchamento em espessura, absorção de água, módulo de elasticidade, módulo de ruptura e adesão interna.

Na comparação com os resultados apresentados na literatura, os resultados de densidade foram semelhantes ao obtido por Sartori et al. (2012) e Fiorelli et al. (2011) em painéis aglomerados à base de bagaço da cana-de-açúcar, um dos resíduos agrícolas mais promissor como insumo alternativo de painéis aglomerados, com 940 kg m^{-3} e 930 kg m^{-3} , respectivamente.

As partículas de madeira e resíduos lignocelulósicos, quando expostos à umidade, podem sofrer alterações, em alguns casos, a magnitude desse fenômeno é um fator limitante na utilização da matéria prima. Os resultados indicam altos valores de inchamento em espessura (IE), absorção de água (Abs) em 2 e 24 h (Tabela 3), superior aos 11% recomendado para IE pela Norma Técnica NBR 14810-2:2013 após 24 h de imersão dos CPs. De fato, os resultados obtidos com os ensaios

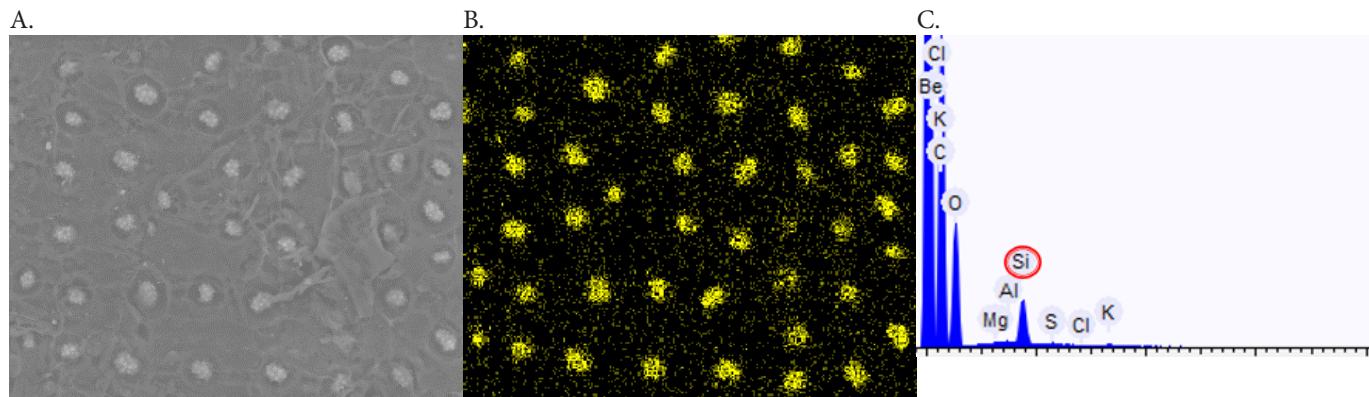


Figura 3. (A) Imagem MEV do resíduo de babaçu em $50 \mu\text{m}$, (B) destaque do elemento S e (C) pico do elemento Si obtido por EDS.

Tabela 3. Valor médio de densidade aparente, inchamento em espessura e absorção de água em 2 e 24 h dos painéis produzidos.

Tratamento	DA (kg m^{-3})	IE 2 h	IE 24 h (%)	Abs 2 h	Abs 24 h
100EP	910,00 a	13,22 b	56,07 b	30,99 c	75,32 c
CV (%)	2,10	2,64	4,51	2,84	5,41
100EN	920,00 a	15,73 a	58,98 a	35,76 a	86,34 a
CV (%)	1,20	4,21	4,23	2,98	3,42
50EP	910,00 a	13,67 b	56,91 b	32,76 b	76,38 b
CV (%)	2,25	4,71	2,36	5,37	3,24
ANSI A208.1	0,80		8		
NBR 14810-2	0,55 - 0,75	8	20		

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Em que: CV – Coeficiente de variação, 100EP – painel de epicarpo, 100 EN – painel de endocarpo, 50EP – painel de 50% epicarpo associado a 50% endocarpo, DA – densidade aparente, IE 2 h – inchamento em espessura em 2 h, IE 24 h – inchamento em espessura em 24 h, Abs 2 h – absorção de água em 2 h, e Abs 24 h – absorção de água em 24 h.

de IE e Abs revelam um fator limitante quanto a utilização do resíduo de babaçu como matéria prima de painéis aglomerados, e pode estar relacionado à baixa estabilidade dimensional do resíduo de babaçu.

Todavia, na literatura encontramos resultados de IE e Abs semelhantes aos obtidos nesta pesquisa em painéis aglomerados de *pinus elliottii* com inclusão ao nível de 30% de epicarpo de babaçu, com Abs em 2 e 24 h de 80,82% e 90,04% e IE em 2 e 24 h de 32,10% e 37,86% (Lima et al., 2006), e em painéis aglomerados de casca de amendoim com Abs em 2 e 24 h de 29% e 70% e IE em 2 e 24 h de 16 % e 50 % (Gatani et al., 2013).

A aplicação de adesivos ou parafinas como impermeabilizantes é uma alternativa para diminuir a absorção de moléculas de água (Fiorelli et al., 2011), e consequentemente os valores de inchamento em espessura e absorção de água dos painéis aglomerados por bloquear parcialmente os sítios de adsorção. De acordo com Carvalho et al. (2015) o tratamento térmico também pode ser uma alternativa no aprimoramento da estabilidade dimensional dos painéis produzidos, por reduzir a afinidade com água, uma vez que, visa degradar a hemicelulose e liberar a tensão de compressão formada durante a prensagem, porém o calor durante o processo pode promover a redução das propriedades mecânicas (Mendes et al., 2013).

É importante destacar que houve diferença ($p < 0,05$) entre os valores médios de IE e Abs nos painéis 100EP e 50EP em relação ao painel 100EN, justificada pela elevada higroscopicidade das partículas do endocarpo dispostas no sistema estrutural do painel 100EN. Como pode ser observado na Tabela 2, o teor de hemicelulose é maior ($p < 0,05$) em sua parede celular em relação às partículas de epicarpo. Essa condição promove a maior penetração das moléculas de água nos espaços submicroscópicos localizados entre as microfibrilas, provocando a expansão destas devido ao afastamento das mesmas. Segundo Mendes et al. (2013) esse acúmulo das moléculas de água nas cavidades celulares gera maiores agravos às propriedades físicas dos painéis aglomerados.

Os valores médios de MOR dos painéis 100EP e 50EP obtidos expressos na Tabela 4 foram superiores ao recomendado para painéis aglomerados pela Norma Técnica NBR 14810-2:20013, que requer um valor mínimo de 11 MPa e aos 13 MPa preconizado pela Norma Técnica ANSI A208.1:2009.

Tabela 4. Valor médio do módulo de ruptura, módulo de elasticidade e adesão interna dos painéis produzidos.

Tratamento	MOR (MPa)	MOE (MPa)	Adesão interna (MPa)
100EP	39,98 a	3381,13 a	1,47a
CV (%)	10,14	8,76	5,67
100EN	14,48 c	1267,85 c	0,92 b
CV (%)	10,58	8,83	5,86
50EP	25,65 b	2771,72 b	1,14 a
CV (%)	10,84	8,73	5,90
Normativos			
ANSI A208.1	13,00	2000,00	0,40
NBR 14810	11,00	1600,00	0,40

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste de Tukey à 5% de probabilidade. Em que: CV – Coeficiente de variação, 100EP – painel de epicarpo, 100 EN – painel de endocarpo, 50EP – painel de 50% epicarpo associado a 50% endocarpo, MOR – módulo de ruptura e MOE – módulo de elasticidade.

Corroborando com os resultados obtidos por Machado et al. (2015) em um painel aglomerado com fibra de babaçu, a qual o valor médio constatado foi de 35,81 MPa e Lima et al. (2006) quando avaliaram um painel aglomerado de *pinus elliottii* com inclusão de 30% do epicarpo de babaçu na composição de painel. Os autores encontraram um valor médio 20,03 para MOR.

Na literatura encontramos resultados semelhantes aos obtidos nessa pesquisa em painéis aglomerados que utilizaram como matéria prima espécies de *Pinus sp.* e *Eucalyptus sp.*, as mesmas usadas em painéis comerciais: Cabral et al. (2007) avaliando painéis aglomerados comerciais constituídos com partículas de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Pinus sp* e *Eucalyptus cloeziana* e *Pinus sp*, encontraram valores médios de MOR de 15,52, 16,77 e 17,92 MPa, respectivamente.

Iwakiri et al. (2012) avaliaram as propriedades fisico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com resíduos de madeira da Amazônia: Caucho (*Ecclinusa guianensis* Eyma), Copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne), Louro (*Ocotea* sp.) e Virola (*Virola surinamensis* Rol. Warb) e encontraram valores médios de MOR de 27,04, 23,05, 23,54 e 23,52 MPa, respectivamente. Portanto, os resultados de modulo de ruptura obtidos neste estudo estão compatíveis com os valores obtidos para várias espécies de madeira pesquisadas confirmado um desempenho mecânico satisfatório para o resíduo de babaçu.

É importante destacar que o painel 100EN apresentou valor médio de MOR (14,48 MPa) superior ao recomendados pelas Normas Técnicas ANSI A208.1:2009 (13 MPa) e NBR 14810-2:2013 (11 MPa), porém foi constatado diferença ($p < 0,05$) em relação aos demais tratamentos, possivelmente devido as características anatômicas inerentes as partículas de endocarpo, especialmente a elevada porosidade, por gerar ligações adesivas mais fracas entre as partículas que compõem o sistema estrutural do painel, e alta densidade, conforme Tabela 2, que dificultou a obtenção de volume satisfatório para formação do painel durante o processo de produção.

Em relação ao módulo de elasticidade (MOE), verifica-se que os valores médios para os painéis 100EP e 50EP (Tabela 4) foram superiores aos 2000 MPa e 1600 MPa preconizados pelas Normas Técnicas ANSI A208.1:2009 e NBR 14810-2:2013. Vale destacar que foi detectado diferença ($p < 0,05$) dos painéis 100EP e 50EP com o painel 100EN. Esse último, não atingiu o mínimo recomendado pelos normativos, diferindo estatisticamente dos demais tratamentos painéis, evidenciando a ineficiente de utilização das partículas residuais de endocarpo do coco babaçu.

Fiorelli et al. (2011) avaliando as propriedades fisico-mecânicas de painéis à base de bagaço de cana-de-açúcar e resina à base de óleo de mamona identificaram valor médio de MOE inferiores aos normativos. Os mesmos autores indicaram o aumento da quantidade de matriz como alternativa para otimizar o desempenho dos painéis, possivelmente por garantir maior estabilidade dimensional e melhorar a adesão entre as partículas.

É possível verificar que os resultados obtidos nesse estudo foram superiores aos apresentados por Trianoski et al. (2016) em painéis aglomerados de *Grevillea robusta* e *Pinus taeda*, valor médio para MOE de 1173,01 MPa e 1751,47 MPa, respectivamente, e Naumann et al. (2008) para painéis de *Eucalyptus Urophylla* e *Schizolobium amazonicum* com

valores médios respectivamente de 734 MPa e 1873 MPa. Implica dizer, os resultados obtidos estão compatíveis com alguns resíduos e fibras indicados por pesquisadores para aplicação em painéis.

Em relação à adesão interna (AI), todos os painéis produzidos apresentaram valor médio superior aos 0,40 MPa recomendado pelos normativos. Em síntese, implica dizer que há uma excelente adesão entre as partículas, sendo evidente a interação das partículas de babaçu com a resina de mamona, o que já foi observado em outros resíduos lignocelulósicos, como bagaço de cana-de-açúcar (Sartori et al., 2012) e os resíduos de aveia (*Avena sativa*) (Varanda et al., 2015).

Vale ressaltar, como perspectiva de utilização, de que é possível produzir, em laboratório, painéis aglomerados utilizando resíduos de babaçu com valores médios e variabilidade de propriedades mecânicas superiores aos normativos. Os resultados das propriedades mecânicas atendem as recomendações do documento normativo nacional e internacional, validando seu uso estrutural e decorativo, como em simples divisórias, isolantes térmicos acústicos, decoração de ambientes internos de residências e artesanato. No entanto, para uma recomendação mais criteriosa ensaios específicos que avaliam esses parâmetros devem ser realizados.

Conclusões

Os resíduos de epicarpo e endocarpo do coco babaçu são inviáveis tecnicamente como matéria-prima de painéis aglomerados, pois painéis aglomerados com estes resíduos não atendem os valores mínimos de propriedades físicas exigido pelos documentos normativos.

O uso de resíduos do coco babaçu como matéria-prima de painéis aglomerados promovem excelente desempenho mecânico a painéis aglomerados, acima dos requeridos pelos documentos normativos nacional e internacional, especialmente o epicarpo de babaçu.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao professor Celso Kawabata *in memoriam*, a Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, ao Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Federal do Maranhão e à Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Tecnológico do Maranhão – FAPEMA (processo 437/2013) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES.

Literatura Citada

- Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. NBR 14810 – 2. Chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- Baldin, T.; Silveira, A. G. da.; Vidrano, B. R. A.; Cancian, L. L.; Haselein, C. R. Qualidade de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e capim-annoni. Revista Brasileira de Ciências Agrárias, v.11, n.3, p.230-237, 2016. <https://doi.org/10.5039/agraria.v11i3a5376>.

- Barros, I. C. Avaliação Biofarmacotécnica de potencial excipiente farmacêutico: pó de mesocarpo de babaçu (*Orbignya phalerata* Mart.). Teresina: Universidade Federal do Piauí, 2011. 91p. Dissertação Mestrado. http://leg.ufpi.br/subsiteFiles/ppgcf/arquivos/files/6a_DISSERTACAO_DE_MESTRADO.pdf. 15 Out. 2016.
- Belini, U. L.; Savastano Junior, H.; Barrero, N. G.; Sartori, D. L.; K.; M.; Fiorelli, J. Painel multicamada com reforços de partículas de bambu. Scientia Forestalis, v.42, n.103, p.421-427, 2014. <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr103/cap12.pdf>. 08 Out. 2016.
- Bufalino, L.; Abino, V. C. S.; Sá, V. A.; Correa, A. A. R.; Mendes, L. M.; Almeida, N. A. Particleboards made from Australian red cedar: processing variables and evaluation of mixed species. Journal of Tropical Forest Science, v.24, n.2, p.162-172, 2012. <https://www.frim.gov.my/v1/jtfsonline/jtfs/v24n2/162-172.pdf>. 07 Out. 2016.
- Cabral, C.P.; Vital, B.R.; Lucia, R.M.D.; Pimenta, A.S. Properties of particleboard manufactured with mixed particles from *Eucalyptus* spp and *Pinus elliottii*. Revista Árvore, v.31, n.5, p.897-905, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622007000500014>.
- Carvalho, A. G.; Mendes, R. F.; Oliveira, S. L.; Mendes, L. M. Effect of Post-production heat treatment on particleboard from sugarcane bagasse. Materials Research, v.18, n.1, p. 78-84, 2015. <https://doi.org/10.1590/1516-1439.270814>.
- American National Standards – ANSI. ANSI A208.1. Particleboard standard. Leesburg: CPT; ANSI, 2009. 9p. <http://www.compositepanel.org/education-resources/store/standards/ansi-2081-2009-particleboard-standard.html>. 14. Mar. 2017.
- Farrapo, C. L.; Mendes, R. F.; Guimarães JR., J. B.; Mendes, L.M. Utilização da madeira de *Pterocarpus violaceus* na produção de painéis aglomerados. Scientia Forestalis, v.42, n.103, p. 329-335, 2014. <http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr103/cap02.pdf>. 15 Dez. 2015.
- Fiorelli, J.; Curtolo, D. D.; Barrero, N. G.; Savastano Júnior, H.; Agnolon-Pallone, E. M. J. Johnson, R. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An ecoefficient product. Industrial Crops and Products, v. 40, p. 69-75, 2012. <http://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.02.033>.
- Fiorelli, J.; Gomide, C. A.; Lahr, F. A. r.; Nascimento, M. F.; Sartori,D. L. Ballesteros, J. E. M.; Bueno, S. B.; Belini, U. L. Physico-chemical and anatomical characterization of residual lignocellulosic fibers. Cellulose, v. 21, n.5, p. 3269-3277, 2014. <https://doi.org/10.1007/s10570-014-0398-9>.
- Fiorelli, J.; Lahar, F. A. R.; Nascimento, M. F.; Savastano, H. J e Rossignolo, J. A. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona – produção e propriedades. Acta Scientiarum. Technology, v.33, n.4, p.401-406, 2011. <http://dx.doi.org/10.4025/actascitechnol.v33i4.9615>.
- Fonseca, A. S. Caracterização tecnológica das fibras do estirpe de *Desmoncus polyacanthos* Mart. Lavras: Universidade Federal de Lavras, 2012. 116p. Dissertação Mestrado. <http://repositorio.ufla.br/handle/1/994>. 12 Out. 2016.

- Gatani, M.; Fiorelli, J.; Medina, J.; Arguello, R.; Ruiz, A.; Nascimento, M.; Savastano, H. Viabilidade técnica de produção e propriedades de painéis de partículas de casca de amendoim. Revista Matéria, v.18, n.2, p. 1286-1293, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1517-70762013000200004>.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Produção da Extração Vegetal e Silvicultura, Rio de Janeiro, 2014. <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/pevs/2014/default.xls.shtm>. 02 Jan. 2016.
- Iwakiri, S.; Vianez, B. S.; Weber, C.; Trianoski, R.; Almeida, V. C. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. Acta Amazonica, v.42, n.1, p. 59-64, 2012. <https://doi.org/10.1590/S0044-59672012000100007>.
- Lima, A. M.; Vidaurre, G. B.; Lima, R. de M.; Brito, E. O. Utilização de fibras (epicarpo) de babaçu como matéria prima alternativa na produção de chapas de madeira aglomerada. Revista Árvore, v.30, n.4, p.645-650, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622006000400018>.
- Machado, N. A. F.; Kawabata, C.Y.; Fiorelli, J.; Savastano, H. Babassu husk fiber particleboard. In: Lahr, F.; Fiorelli, J.; Savastano, H. de (Orgs.). Non-conventional building materials based on agro-industrial wastes. 1.ed. Bauru: Tiliform, 2015. p. 233-248. https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Rocco_Lahr/publication/276900261_Non-conventional_Building_Materials_based_on_Agro-industrial_Wastes/links/555b23fe08aeaaff3bfbbaa01.pdf. 05 Ago. 2016.
- Maloney, T. M. The family of wood composite materials. Forest Products Journal, v. 46, n. 2, p. 19-26, 1996. <http://www.xylo.sbf.ulaval.ca/sbo2006/docs/Maloney1996.pdf>. 03 Ago. 2015.
- Mendes, R. F.; Mendes, L. M.; Guimarães Júnior, J. B.; Mori, F. A.; César Silva, A. A. Efeito da incorporação de casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. Revista Ciência e Agrotecnologia, v.34, n.3, p. 610-617, 2010. <https://doi.org/10.1590/S1413-70542010000300012>.
- Mendes, R.F.; Bortoletto Júnior, G.; Almeida, N.F.; Surdi, P.G.; Barbeiro, I. N. Effects of thermal pre-treatment and variables of production on properties of OSB panels of *Pinus taeda*. Maderas, Ciencia y Tecnología, v.15, n.2, p.141-152, 2013. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-221X2013005000012>.
- Naumann. R.B.; Vital, B.R.; Carneiro, A.C.O.; Della Lucia, R.M.; Silva, J.C.; Carvalho, A.M.M.L.; Colli, A. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. Revista Árvore, v. 32, n.6, p.1143-1150, 2008. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622008000600020>. 20 Jan. 2016.
- Queiroga, V. P.; Girão, É, G.; Araújo, I. M. S.; Gondim, M. S.; Freire, R. M. M.; Veras, L. G. C. Composição centesimal de amêndoas de coco babaçu em quarto tempos de armazenamento. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v.17, n.2, p.207-213, 2015. <http://www.deag.ufcg.edu.br/rbpa/rev172/Art1720.pdf>. 15 Fev. 2016.
- Rowell R. M.; Han J. S.; Rowell J. S. Characterization and factors affecting fiber properties. In: Frollini, E.; Leão, A. L.; Mattoso, L. H. C. (Eds.) Natural polymers and agrofibers based composites: preparation, properties and applications. São Carlos: USP; IQSC, 2000. p.115-134. <http://www.fpl.fs.fed.us/documents/pdf2000/rowel00b.pdf>. 03 Out. 2015.
- Sartori, D. L.; Cravo, J. C. M.; Barrero, N. G.; Fiorelli, J.; Savastano Jr, H. Painel em madeira de reflorestamento e chapas de partículas para instalações rurais. Floresta e Ambiente, v.19, n.2, p.171-178, 2012. <https://doi.org/10.4322/floram.2012.020>.
- Silva, D. J.; Queiroz, A. C. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3.ed. Viçosa-MG: Editora da Universidade Federal de Viçosa, 2006. 235p.
- Soler, M.P.; Vitali, A.A.; Muto, E.F. Tecnologia de quebra do coco babaçu (*Orbignya speciosa*). Ciência e Tecnologia de Alimentos, v.27, n.4, p.717-722, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0101-20612007000400007>.
- Trianoski, R.; Piccardi, A. B.; R.; Iwakiri, S.; Matos, J. L. M. de.; Bonduelle, G. M. Incorporação de *Grevillea robusta* na Produção de Painéis Aglomerados de *Pinus*. Floresta e Ambiente, v.23, n.2, p. 278-285, 2016. <http://dx.doi.org/10.1590/2179-8087.141515>.
- Varanda, L. D.; Sousa, A. M.; Poletto, S.F.S.; Silva; D. A. L.; Panzera, T.H.; Christoforo, A. L.; Lahr, F.A. R. Particleboards produced with agroindustrial wastes oat hulls (*Avena sativa*) and reforestation wood. In: Lahr, F.; Fiorelli, J.; Savastano, H. de (Orgs.). Non-conventional building materials based on agro-industrial wastes. 1.ed. Bauru: Tiliform, 2015. p. 249-276. https://www.researchgate.net/profile/Francisco_Rocco_Lahr/publication/276900261_Non-conventional_Building_Materials_based_on_Agro-industrial_Wastes/links/555b23fe08aeaaff3bfbbaa01.pdf. 05 Ago. 2016.