

PAINEL AGLOMERADO HÍBRIDO DE CASCA DE AMENDOIM REFORÇADO COM PARTÍCULAS DE MADEIRA ITAÚBA

CROWDED HYBRID PANEL MANUFACTURED WITH PEANUT HULLS REINFORCED WITH
ITAÚBA WOOD PARTICLES

Guilherme Barbirato¹ Juliano Fiorelli² Núbia G. Barrero³ Eliria Maria de Jesus Agnolon Pallone⁴
Francisco Antonio Rocco Lahr⁵ André Luis Cristoforo⁶ Holmer Savastano Junior⁷

RESUMO

No presente trabalho, considerou-se o estudo do potencial de utilização de casca de amendoim e partículas de madeira da espécie itaúba (*Mezilaurus itauba*) com o intuito de agregar valor a estes materiais, por meio da fabricação de painéis de partículas híbridos, a fim de comparar os desempenhos físicos, mecânicos e durabilidade. Para esses procedimentos foram utilizadas a resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona e a ureia-formaldeído. A qualidade dos produtos foi avaliada com base nas prescrições do documento normativo NBR 14.810:2006 e APA PRP 108, por meio de ensaios físico-mecânicos, microestruturais e de durabilidade. Com os resultados obtidos foi possível verificar que a incorporação de partículas de madeira proporcionou aumento nas propriedades físico-mecânicas do painel de partículas com casca de amendoim, a resina poliuretana à base de óleo de mamona mostrou-se eficiente como adesivo aglomerante das partículas e o ensaio de durabilidade indicou que o material deve ser utilizado em condições de exposição de baixo contato com umidade.

Palavras-chave: resíduos; casca de amendoim; partículas de madeira.

ABSTRACT

In this paper, it was considered the study of the potential use of peanut hulls and wood particles of itaúba (*Mezilaurus itauba*) species in order to add value to these materials through the manufacture of hybrid particle board in order to compare the physical and mechanical performances as well as durability. For these procedures, it was used the bi-component polyurethane resin based on castor beans (mammon) oil and urea-formaldehyde. The product quality was evaluated based on the requirements of the standards NBR 14.810:2006 APA PRP and 108, through physico-mechanical and microstructural durability. The results indicate that the incorporation of wood particles warrants an increase in physical-mechanical properties of the particleboard manufactured with peanut hulls, the polyurethane resin based on castor oil was effective

1 Engenheiro de Biossistemas, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Av. Duque de Caxias Norte, 225, CEP 13635-900, Pirassununga (SP), Brasil. Bolsista PIBIC-CNPq. ibarbirato@usp.br

2 Engenheiro Civil, Dr., Professor MS-3 do Departamento de Engenharia de Biossistemas, Universidade de São Paulo, Av. Duque de Caxias Norte, 225, CEP 13635-900, Pirassununga (SP), Brasil. julianofiorelli@usp.br

3 Engenheira Ambiental, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade de São Paulo, Av. Duque de Caxias Norte, 225, CEP 13635-900, Pirassununga (SP), Brasil. Bolsista CNPq. nubiagarzonbarrero@yahoo.com

4 Engenheira de Materiais, Dr^a., Professora Associada do Departamento de Engenharia de Biossistemas, Universidade de São Paulo, Av. Duque de Caxias Norte, 225, CEP 13635-900, Pirassununga (SP), Brasil. eliria@usp.br

5 Engenheiro Civil, Dr., Professor Titular do Departamento de Engenharia de Estruturas, Universidade de São Paulo, Av. Trabalhador São-carlense, 400, CEP 13560-590, São Carlos (SP), Brasil. frocco@sc.usp.br

6 Engenheiro Civil, Dr., Professor Adjunto da Universidade Federal de São João del-Rei, Praça Frei Orlando, no 170, Bairro Centro, CEP 36307-352, São João del Rei (MG), Brasil. alchristoforo@yahoo.com.br

7 Engenheiro Civil, Dr., Professor Titular do Departamento de Engenharia de Biossistemas, Universidade de São Paulo, Av. Duque de Caxias Norte, 225, CEP 13635-900, Pirassununga (SP), Brasil. holmersj@usp.br

as a particle adhesive binder and the durability assay indicated that the material should be used under conditions of low exposure to moisture.

Keywords: waste; peanut hulls; wood particles.

INTRODUÇÃO

A globalização da economia submeteu a indústria brasileira, e em especial aquelas que geram produtos derivados de recursos naturais, à nova ordem social de proteção ao meio ambiente e a padrões de qualidade aceitáveis pelos países desenvolvidos. Estas questões, que nos dias de hoje transcendem as fronteiras dos países, impõem, como ponto essencial, exigências de produção e qualidade universal, gerando assim iniciativas de normalização e certificação para o comércio internacional.

O crescente aumento do consumo de madeira, o expressivo crescimento na demanda de painéis de madeira e a necessidade de tecnologias para a utilização de insumos considerados como resíduos, evitando a pressão sobre os ecossistemas naturais, abrem desafios para o desenvolvimento de tecnologia e inovação de novos produtos.

No Brasil, a produção de painéis de partículas ocorreu nos anos 60 com a utilização de prensas cíclicas. No entanto, a partir dos anos 90, as empresas brasileiras que fabricavam painéis aglomerados começaram a investir em tecnologia, resultando na substituição das prensas cíclicas pelas prensas contínuas. O aperfeiçoamento adquirido no processo de fabricação dos aglomerados pelas empresas brasileiras em anos posteriores resultou no aprimoramento da qualidade desse produto, culminando para a expansão do consumo no mercado nacional (MATOS et al., 1988).

No entanto, segundo Guler et al. (2008), a demanda da indústria florestal por madeira tem aumentado anualmente, culminando para o declínio das florestas naturais. Como alternativa, as indústrias florestais têm buscado diferentes fontes lignocelulósicas, como matéria-prima para produção de painéis de partículas. De acordo com Rowell et al. (2000), os painéis aglomerados podem ser fabricados a partir de qualquer material lignocelulósico que lhes confira resistência mecânica e peso específico pré-estabelecido, já que a composição química dos materiais lignocelulósicos é semelhante à da madeira, mais precisamente com a das madeiras duras, que contêm menor teor de lignina e maior teor de hemiceluloses do tipo

pentosanas.

A agroindústria brasileira apresenta inúmeros resíduos lignocelulósicos com potencialidades de aproveitamento para fabricação de novos materiais (PABLO et al., 1975; CARASCHI et al., 2009; GATANI, 2010; FIORELLI et al., 2012).

Um desses resíduos é a casca do amendoim, cuja cultura representa atualmente 150.000 ha plantados no país, cerca de 80% estão no estado de São Paulo, representando uma produção de 296 mil toneladas de amendoim na safra de 2008/2009 (CONAB, 2009). A porcentagem de casca desta produção representa 30% da produção do grão, sendo hoje seu principal uso como combustível para caldeira e alimento para gado. No entanto, o trabalho desenvolvido por Sayama et al. (2010) indica que os painéis de partículas com casca de amendoim apresentam propriedades físico-mecânicas inferiores às recomendadas pela norma ABNT NBR 14810:2006, sendo necessários novos estudos para aprimorar esse tipo de painel.

Dentro desse escopo, o presente trabalho apresenta um estudo que visa produzir painéis de partículas híbridos de casca de amendoim reforçados com partículas de madeira itaúba (*Mezilaurus itauba*) e aglomerados com resina poliuretana à base de óleo de mamona e ureia-formaldeído, possibilitando avaliar as propriedades físico-mecânicas, microestrutural e de durabilidade desses novos compósitos. A opção pelo uso de partículas de madeira de alta densidade partiu da necessidade de selecionar uma espécie que proporcionasse incremento nas propriedades físico-mecânicas do compósito de casca de amendoim. Vale salientar que os resultados apresentados nesse trabalho contribuem com o desenvolvimento científico nessa linha do conhecimento e abre novas possibilidades para estudo e uso do resíduo de casca de amendoim.

MATERIAIS E MÉTODOS

Produção dos painéis de partículas

O processo de fabricação dos painéis de partículas com resina poliuretana bicomponente à

base de óleo de mamona foi iniciado com a coleta do material. Após a coleta, os materiais foram peneirados, secos, classificados e separados em diferentes granulometrias. A casca de amendoim e as partículas de madeira itaúba com dimensões máxima de até 8 mm foram levadas ao misturador planetário (tempo 10 min), onde foi adicionado adesivo (poliuretano à base de óleo de mamona bicomponente e ureia-formaldeído) em uma proporção de 15% do peso seco de matéria-prima. Essa proporção de resina poliuretana vem se mostrando adequada e garantindo melhores propriedades físico-mecânicas aos painéis quando comparadas com aqueles produzidos com resina ureia-formaldeído. Após a mistura, o material foi colocado em uma caixa formadora de painel e inserido na prensa termo hidráulica a uma temperatura de 100°C por aproximadamente 10 minutos com pressão de prensagem de 5 MPa. Após a retirada da prensa, as chapas foram empilhadas por 72 horas para a cura completa da resina. Foram produzidos painéis com densidade de 0,80 g/cm³. Para os painéis confeccionados com resina ureia-formaldeído, foram adotados os mesmos parâmetros de produção, com exceção da temperatura que foi de 130°C. A Figura 1 ilustra as etapas para fabricação dos painéis.

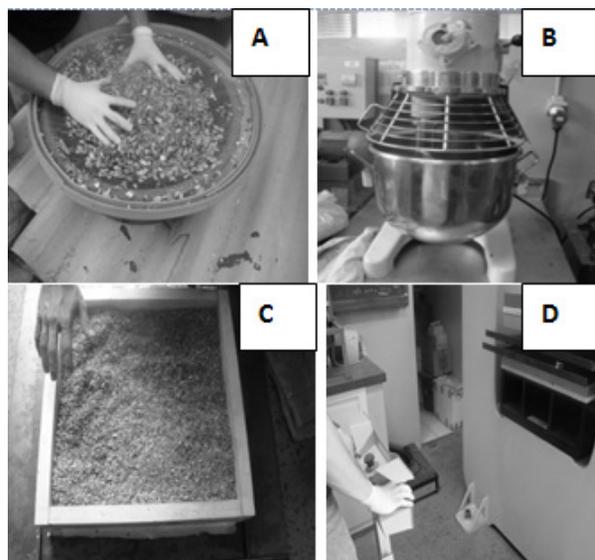


FIGURA 1: A) Peneiramento do resíduo, B) Aplicação da resina, C) Caixa formadora, D) Prensagem do material.

FIGURE 1: A) Sieving of the residue, B) Application of resin, C) Forming box, D) Compressing the material.

As variáveis-resposta investigadas neste trabalho foram: Absorção e Inchamento em 2 e 24h, adesão interna (AI), módulo de elasticidade (MOE) e resistência à flexão (MOR). Os fatores investigados (Tabela 1) consistem na proporção de amendoim (0%, 20%, 40%, 60%, 80% 100%) e tipo de adesivo utilizado (resina à base de óleo de mamona e ureia-formaldeído). Entretanto, a resina ureia-formaldeído foi empregada em apenas um dentre os 11 tratamentos avaliados, sendo este o tratamento 8 (T8), apresentado na Tabela 1. Os tratamentos T9, T10 e T11 foram elaborados com o objetivo de se avaliar apenas o MOR e MOE dos materiais fabricados na condição envelhecida, resultados estes comparados com os advindos das condições T4, T7 e T1, respectivamente.

A análise de variância (ANOVA) foi empregada com o objetivo de investigar individualmente a influência das proporções entre casca de amendoim e madeira (comparação entre os tratamentos T1 a T7), do tipo de adesivo (comparação entre os tratamentos T6 e T8) e da condição pós-envelhecimento (comparação entre os tratamentos sem envelhecimento [T4, T7 e T1] com os respectivos materiais pós-envelhecimento [T9, T10 e T11]) nas variáveis-resposta de interesse. Para os fatores considerados significativos (P-valor inferior a 0,05 [5%]), por resposta investigada são apresentados os gráficos de efeitos principais e empregado posteriormente o teste de comparação de médias de Tukey para três ou mais níveis do fator significativo. Os gráficos de efeitos principais são usados para comparar as variações no nível da média, investigando quais fatores possuem efeito significativo sobre a variável-resposta. Para verificação da normalidade dos resíduos da ANOVA e da equivalência entre as variâncias por resposta investigada utilizou-se respectivamente o teste de Anderson-Darling e o teste de hipótese para variâncias. Ambas as análises foram executadas com o auxílio do *software* Minitab versão 14.

Ensaio físico-mecânico

A avaliação físico-mecânica foi realizada seguindo os procedimentos estabelecidos pela norma Brasileira ABNT NBR 14.810:2006 – Chapas de partículas de madeira, sendo determinadas as seguintes propriedades: densidade aparente, inchamento em espessura, absorção de água, módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) na

TABELA 1: Delineamento experimental empregado no estudo.

TABLE 1: Experimental design used in the study.

Tratamento	Proporção de partículas		Tipo de Adesivo	
	Amendoim	Madeira	Mamona	Ureia
T1	0%	100%	X	
T2	20%	80%	X	
T3	40%	60%	X	
T4	50%	50%	X	
T5	60%	40%	X	
T6	80%	20%	X	
T7	100%	0%	X	
T8	80%	20%		X
T9 ¹	50%	50%	X	
T10 ¹	100%	0%	X	
T11 ¹	0%	100%	X	

Em que: ¹Painéis submetidos ao envelhecimento acelerado

flexão estática e adesão interna (AI). Os resultados obtidos foram comparados com os indicados pela Norma ANSI A208.1:1999 (*Mat-formed wood particleboard: Specification*) e CS 236-66:1968 (*Mat-formed wood particleboard*). Para todos os ensaios físicos e mecânicos desenvolvidos foram utilizados 10 corpos de prova.

Envelhecimento acelerado

O ensaio de envelhecimento acelerado seguiu as recomendações do documento normativo PRP 108 D1 (*Performance Standards and Policies for Structural – Use Panels*). O procedimento de ensaio seguiu as seguintes etapas:

- 1 - imersão de corpos de prova em água por 8 horas;
- 2 – armazenamento em estufa, 60°C, por 3 horas;
- 3 – armazenamento em estufa climatizada, temperatura de 25°C, por 1 hora e 30 minutos.

Cabe salientar que os corpos de prova foram revestidos superficialmente com a mesma resina poliuretana à base de óleo de mamona, com intuito de avaliar a eficiência do material como impermeabilizante. Ensaio preliminares de envelhecimento acelerado foram realizados em corpos de prova sem impermeabilização superficial e identificou-se degradação acentuada no material, quando submetido às condições de exposição

(temperatura e umidade) estabelecidas pela norma PRP 108 D1. A Figura 2 ilustra o painel de partícula híbrido (casca de amendoim e reforço com partículas de madeira itaúba) e corpos de prova submetidos ao envelhecimento acelerado.

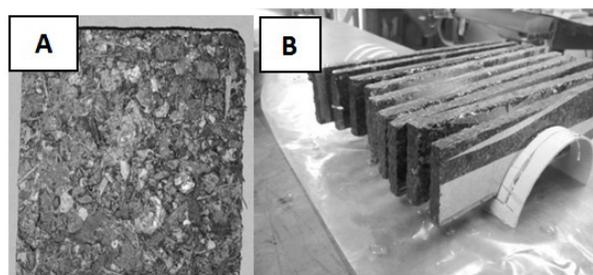


FIGURA 2: Painel híbrido. A) Vista frontal do painel, B) Painel após ensaio de envelhecimento acelerado.

FIGURE 2: Hybrid Panel. A) Front panel, B) Specimens after the accelerated aging test.

Microscopia eletrônica de varredura

O ensaio de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) foi realizado em amostras com dimensões de 15×15 mm. As imagens foram obtidas em um microscópio da marca Hitachi,

modelo Analytical TableTop Microscope TM3000. As imagens coletadas possuíam ampliação de 500 e 1000 vezes. Esse ensaio foi realizado para o tratamento T4 (50% de partículas de casca de amendoim e 50% de partículas de madeira itaúba com poliuretana à base de óleo de mamona), com objetivo de identificar diferenças na microestrutura do material e na aglomeração das partículas.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Este item apresenta resultados da caracterização físico-mecânica, de durabilidade e microestrutural dos painéis de partícula híbridos de casca de amendoim reforçados com partículas de madeira itaúba e aglomeradas com resina poliuretana bicomponente de óleo de mamona e resina ureia-formaldeído.

Caracterização físico-mecânica

A Tabela 2 apresenta valores médios e os respectivos coeficientes de variação (CV) das propriedades físico-mecânicas para os tratamentos T1 a T11 em estudo juntamente com os valores recomendados pelos documentos normativos nacionais e internacionais. Vale salientar que a densidade aparente média dos painéis avaliados é de 0,8 g/cm³.

Pelos valores médios apresentados na Tabela 2, nota-se que os materiais fabricados com as maiores porcentagens de partículas de madeira (T1 – T4) atenderam às recomendações mínimas das propriedades físico-mecânicas estabelecidas pelos documentos normativos NBR 14810:2006, ANSI A208.1:1999 e CS 236-66:1968.

Os valores de Absorção, Inchamento, MOR e MOE para os painéis produzidos com resina ureia-formaldeído (T8) foram inferiores em média quando comparados com os resultados obtidos para o mesmo tipo de painel produzido com resina poliuretana à base de óleo de mamona (T6).

O ensaio de envelhecimento acelerado reduziu as propriedades mecânicas dos painéis, indicando que o material deve ser aplicado em ambientes internos, em condições de uso que garantam baixo contato com fontes de umidade.

Estudos realizados com partículas de madeira da espécie *Pinus spp* tratada com CCB e resina poliuretana à base de óleo de mamona para produção de chapas de partículas foram desenvolvidos por Bertolini et al. (2012). Os

resultados obtidos apontaram para excelentes propriedades físicas e mecânicas das chapas de partículas, em alguns casos em média 50% superiores ao estipulado pela norma brasileira e superiores aos requisitos das normas internacionais.

Estudos realizados por Sayama et al. (2010) e Gatani et al. (2010) que avaliaram respectivamente painéis de partículas de casca de amendoim com resina poliuretana à base de óleo de mamona e resina ureia-formaldeído indicaram valores de propriedades físico-mecânicas semelhantes aos obtidos nesse trabalho para o tratamento (T7 – 100% de partículas de casca de amendoim e resina poliuretana à base de óleo de mamona).

A Tabela 3 apresenta os resultados dos P-valores e do coeficiente de determinação R² (Adj.) da análise de variância do fator proporção de partículas de casca de amendoim (tratamentos T1 a T7) sobre as propriedades físicas e mecânicas investigadas, encontrando-se sublinhados os P-valores menores ou iguais a 0,05 (5%), considerados significativos a um nível de confiabilidade de 95%. O valor do coeficiente R² adjunto obtido da ANOVA mede a proporção da variabilidade preditora presente na equação de regressão. Segundo Montgomery (2005), quanto mais próximo de 1 (ou de 100%) melhor a qualidade da equação ajustada aos dados.

Nota-se da Tabela 3 que a proporção de partículas de casca de amendoim referentes aos tratamentos T1 a T7 foi significativa em todas as variáveis-resposta investigadas. Os P-valores do teste de normalidade dos resíduos da ANOVA ([0,228; 0,714]) e do teste de hipótese para equivalência de variâncias ([0,137; 0,541]) por variável investigada foram ambos superiores a 0,05, comprovando a normalidade dos resíduos e a equivalência das variâncias, auxiliando por validar os resultados da ANOVA e do posterior emprego do teste de comparação de médias de Tukey.

A Figura 3 apresenta os gráficos de efeitos principais do fator composição de casca de amendoim sobre as variáveis-resposta Absorção e Inchamento em 2 e 24h, MOR e MOE dos compostos referentes aos tratamentos T1 a T7.

A Tabela 4 apresenta os resultados do teste de Tukey das variáveis-resposta referentes aos tratamentos T1 a T7.

Da Figura 3, os menores valores da Absorção em 2h foram provenientes dos compostos elaborados com 100% de partículas de madeira itaúba ou com 20% de cascas de amendoim (Tabela 4), sendo os maiores oriundos das composições com

TABELA 2: Resultados obtidos das propriedades físico-mecânicas e valores recomendados pelas normas.
TABLE 2: Results obtained from the physic-mechanical properties and values recommended by the standards.

Tratamento	Absorção (%)		Inchamento (%)		MOR (MPa)	MOE (MPa)	AI (MPa)
	2 h	24 h	2 h	24 h			
T1 (0%A e 100%M) (CV)	7,95 (9,16)	20,62 (24,15)	3,61 (22,64)	6,4 (14,56)	17,41 (18,95)	2700 (14,14)	1,90 (27,38)
T2 (20%A e 80%M) (CV)	6,72 (23,26)	21,88 (8,66)	3,07 (1,60)	8,66 (5,20)	20,97 (12,85)	2790 (10,90)	1,42 (10,29)
T3 (40%A e 60%M) (CV)	12,32 (20,58)	34,47 (20,75)	3,14 (1,09)	9,06 (13,63)	16,16 (23,34)	2353 (20,90)	1,02 (2,16)
T4 (50%A e 50%M) (CV)	9,56 (35,17)	29,42 (31,17)	3,05 (1,75)	9,48 (14,43)	17,1 (9,29)	2398 (11,34)	1,73 (4,17)
T5 (60%A e 40%M) (CV)	8,78 (20,68)	25,28 (18,78)	2,96 (1,02)	9,72 (8,94)	16,17 (13,23)	2156 (9,31)	1,12 (19)
T6 (80%A e 20%M) (CV)	9,69 (36,55)	25,81 (36,15)	2,96 (0,70)	12,5 (16,55)	14,85 (15,15)	2046 (11,04)	0,82 (47,56)
T7 (100%A e 0%M) (CV)	10,41 (28,30)	33,45 (23,74)	8,04 (26,28)	14,62 (11,67)	12,00 (12,45)	1538 (17,03)	---
T8 (80%A e 20%M) ⁺ (CV)	62,81 (10,18)	79,02 (7,56)	17,59 (20,18)	23,85 (18,34)	5,94 (11,29)	967,3 (16,98)	---
T9 (50%A e 50%M) (CV)	---	---	---	---	10,9 (13,97)	1321 (12,28)	---
T10 (100%A e 0%M) (CV)	---	---	---	---	10,98 (10,82)	997,3 (6,37)	---
T11 (0%A e 100%M) (CV)	---	---	---	---	16,13 (12,44)	2043 (15,39)	---
NBR 14810:2006	---	---	8,00	---	18,00	---	0,40
ANSI A208.1:1999	---	---	---	---	16,50	2750	---
CS 236-66:1968	---	---	30 - 35	16,80	2450	0,49	---

Em que: valores médios das propriedades físico-mecânicas indicadas pelos documentos normativos se referem a painéis de alta densidade, acima de 0,7 g/cm³. A: Amendoim; M: Madeira; ⁺ Resina ureia-formaldeído.

TABELA 3: P-valores para o fator proporção de partículas sobre as variáveis-resposta investigadas.

TABLE 3: P-values for the fraction of peanut hulls used on the variable-response investigated.

	Absorção		Inchamento		MOR	MOE
	2h	24h	2h	24 h		
P-valor	0,018	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
R ² (Adjunto)	87,56%	78,64%	83,16%	85,08%	81,64%	86,73%

40% de casca de amendoim (Tabela 4).

Para a Absorção em 24h, os menores valores foram decorrentes dos compostos fabricados com 100% de partículas de madeira itaúba ou com 20% de cascas de amendoim (Tabela 4), sendo os maiores valores provenientes dos materiais fabricados com 40% ou 100% de partículas de casca de amendoim.

Os documentos normativos para painéis

aglomerados não especificam requisitos para a propriedade de AA-2h e AA-24h. 00 produzidas com partículas de *Pinus* e *Eucalyptus* com 10% de resina de mamona obteve valores de absorção de água após 24 horas de imersão igual a 20,14%, valor inferior aos obtidos nesse trabalho.

Para o Inchamento em 2h, o valor inferior ocorreu nos compostos fabricados com 100% de

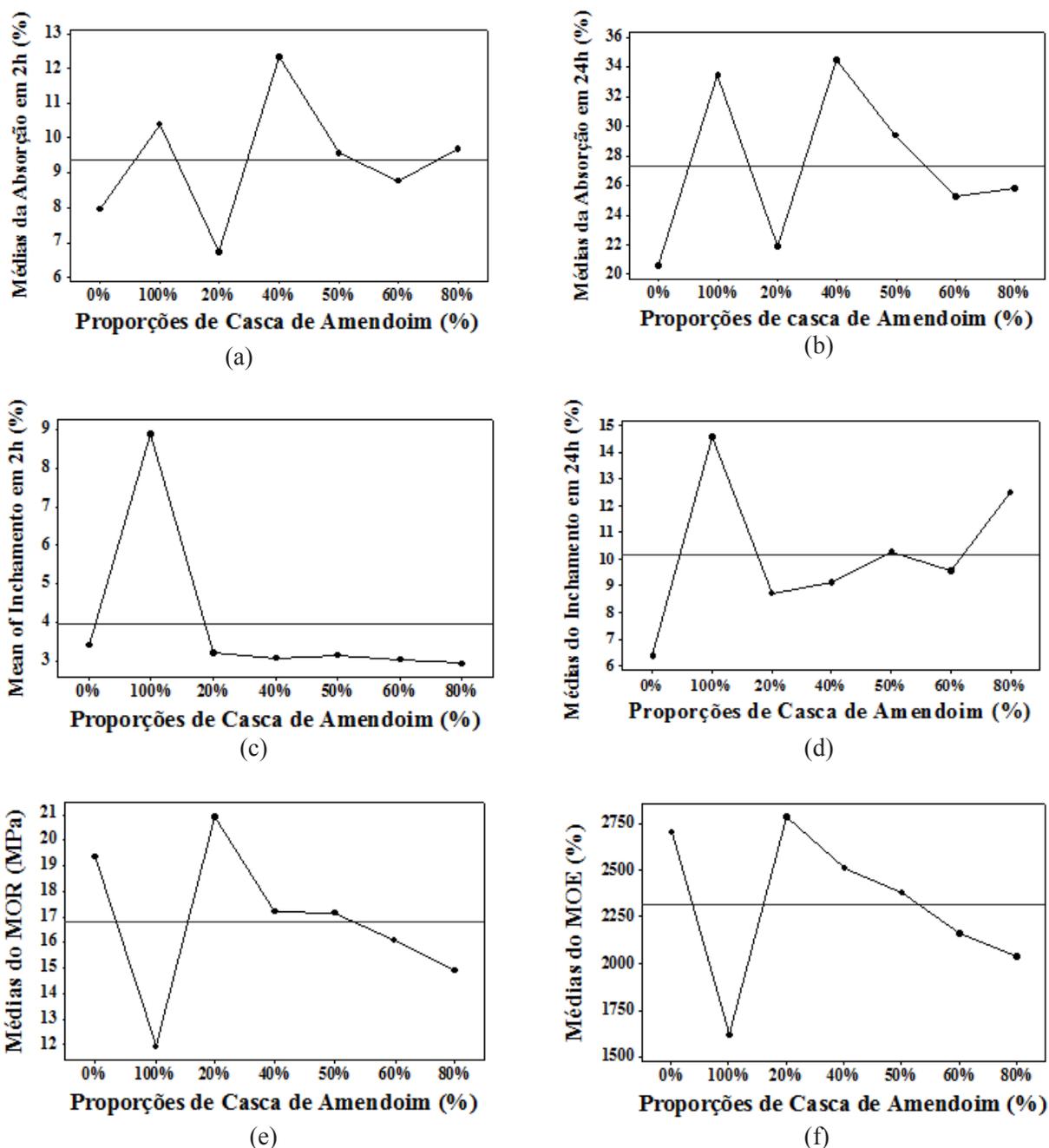


FIGURA 3: Gráficos de efeitos principais sobre as variáveis-resposta das condições T1 a T7.

FIGURE 3: Main effect plots on the variable-response of the treatment T1 to T7.

madeira itaúba (Tabela 4), sendo os maiores valores provenientes dos materiais fabricados com 100% de cascas de amendoim. A adição progressiva de cascas de amendoim nos compostos conduziu a valores equivalentes para o inchamento em 2h.

Para o Inchamento em 24h, o valor inferior ocorreu nos materiais fabricados com 100% de madeira itaúba (Tabela 4), sendo o maior valor referente aos compostos constituídos de 100% de

cascas de amendoim. Nota-se que o aumento progressivo da inclusão de partículas de cascas de amendoim proporcionou aumentos sucessivos no inchamento em 24h dos painéis fabricados.

Nascimento (2003), em caracterização de chapas industrializadas de *Pinus* e *Eucalyptus*, obteve valores médios para IE – 24h de 16 e 21%, respectivamente, acima dos encontrados para os painéis híbridos em estudo (T1 – T7) e semelhante

TABELA 4: Teste de Tukey para os materiais referentes aos tratamentos T1 a T7.

TABLE 4: Tukey test for the material manufactured concerning the treatments T1 to T7.

		Absorção em 2 horas (%)						
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Médias		6,72	7,95	12,32	9,56	8,78	9,69	10,41
Agrupamento		E	E	A	C	D	BC	B
		Absorção em 24 horas (%)						
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Médias		20,62	21,88	34,47	29,42	25,28	25,81	33,45
Agrupamento		D	D	A	B	C	C	A
		Inchamento em 2 horas (%)						
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Médias		3,61	3,07	3,14	3,05	2,96	2,96	8,04
Agrupamento		B	C	C	C	C	C	A
		Inchamento em 24 horas (%)						
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Médias		6,4	8,66	9,06	9,48	9,72	12,5	14,62
Agrupamento		E	D	CD	C	C	B	A
		MOR (MPa)						
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Médias		17,41	20,97	16,16	17,10	16,17	14,85	12
Agrupamento		B	A	C	B	C	D	E
		MOE (MPa)						
		T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7
Médias		2700	2790	2353	2398	2156	2046	1538
Agrupamento		A	A	B	B	C	D	E

ao resultado obtido para o painel T8, produzido com resina ureia-formaldeído.

O valor inferior do MOR dos materiais ocorreu para a condição com 100% de cascas de amendoim, sendo o maior valor proveniente da composição com 20% de cascas de amendoim (Tabela 4). A inclusão progressiva de cascas de amendoim conferiu reduções sucessivas no MOR dos compostos fabricados.

Os documentos normativos NBR 14810:2006, ANSI A 208.1:1999 e CS236-66:1968 indicam valores mínimos de MOR para painéis de alta densidade (> 0,7 g/cm³) de 18 MPa, 16,5 Mpa e 16,8 MPa, respectivamente. Os resultados obtidos no presente estudo, com exceção do tratamento T7 (100% de casca de amendoim), foram próximos aos estabelecidos pela norma, indicando a inclusão de partículas de madeira representa uma alternativa

para maximizar as propriedades dos painéis de casca de amendoim, proporcionando novos usos para esse produto.

O menor valor do MOE dos materiais fabricados ocorreu na composição com 100% de casca de amendoim (vide MOR), sendo os maiores provenientes da composição com 100% de partículas de madeira itaúba ou com 20% de casca de amendoim (Tabela 4), apresentando reduções sucessivas nos valores do MOE com a inclusão de cascas de amendoim.

A norma brasileira não menciona esta propriedade, porém, as normas ANSI A 208.1:1999 e CS236-66:1968 indicam valores de 2400 e 2450 MPa, respectivamente. No presente estudo, os tratamentos T1, T2, T3 e T4 apresentaram valores de MOE próximos aos indicados pelas normas.

A influência das proporções de partículas

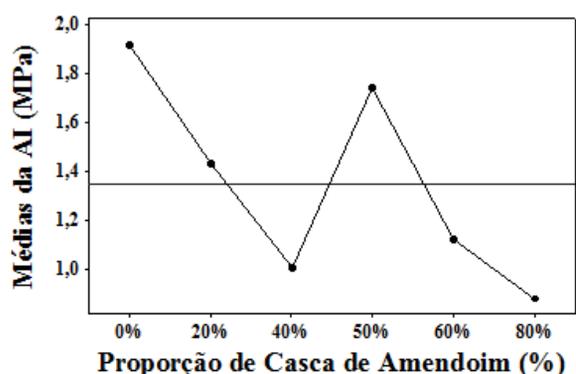


FIGURA 4: Efeitos principais para a adesão interna (T1 - T6).

FIGURE 4: Main effects for the internal adhesion (T1 - T6).

de cascas de amendoim na Adesão Interna foi investigada apenas entre os tratamentos T1 a T6, não sendo avaliado o tratamento T7 (100% de casca de amendoim). Os P-valores obtidos do teste de normalidade de Anderson-Darling sobre os resíduos da ANOVA e da equivalência entre variâncias foram, respectivamente, iguais a 0,382 e 0,185, comprovando a normalidade dos resíduos e a equivalências das variâncias. A Figura 4 apresenta o gráfico de efeitos principais dos tratamentos T1 a T6 sobre a Adesão Interna e a Tabela 5 apresenta os resultados do agrupamento pelo teste de Tukey.

Para a adesão interna o valor superior ocorreu nos materiais feitos com 100% de partículas de madeira itaúba e o menor valor ocorreu nos materiais fabricados com 80% de casca de amendoim (Tabela 5). A adesão interna dos materiais sofreu redução de 46,32% da composição de 0% para 40%, aumento de 69,61% da composição de 40% para 60% e redução de 52,06% da composição de 50% para 80% de casca de amendoim. Nota-se que todos os painéis em estudo

(T1 a T6) atenderam às recomendações mínimas de AI estabelecidas pela norma ABNT 14810:2006 (AI = 0,40).

Envelhecimento acelerado

A Tabela 6 apresenta os resultados dos P-valores e do coeficiente R^2 (Adj.) da ANOVA do fator condição de ensaio (não envelhecido (NE) e pós-envelhecido (PE)) sobre as propriedades mecânicas MOE e MOR. Os P-valores do teste de normalidade dos resíduos da análise de variância ([0,153; 0,410]) e do teste de hipótese para equivalência de variâncias ([0,227; 0,386]) por variável investigada foram ambos superiores a 0,05, comprovando a normalidade dos resíduos e a equivalências das variâncias.

Os P-valores apresentados na Tabela 6 comprovam que o MOE e o MOR dos materiais que passaram pelo processo de pós-envelhecimento são significativamente inferiores quando comparados ao MOE e o MOR dos materiais não envelhecidos. As Figuras 5 e 6 ilustram os gráficos de efeitos principais do MOR e do MOE respectivamente.

Com relação à condição T9, o MOE dos materiais envelhecidos foi em média 44,72% inferior aos não envelhecidos (T4), sofrendo o MOR uma redução de 36,30%.

Da condição T10, o MOE dos materiais envelhecidos foi em média 35,10% inferior aos não envelhecidos (T7), sofrendo o MOR uma redução de 8,90%.

Para a condição T11, o MOE dos materiais envelhecidos foi 24,30% inferior aos não envelhecidos (T1), sofrendo o MOR uma redução de apenas 7,40%.

Diferentes adesivos

Com relação às condições T6 e T8, distintas

TABELA 5: Teste de Tukey para a adesão interna dos materiais fabricados com os tratamentos T1 a T6.

TABLE 5: Tukey test for internal adhesion of the material manufactured with the treatments T1 to T6.

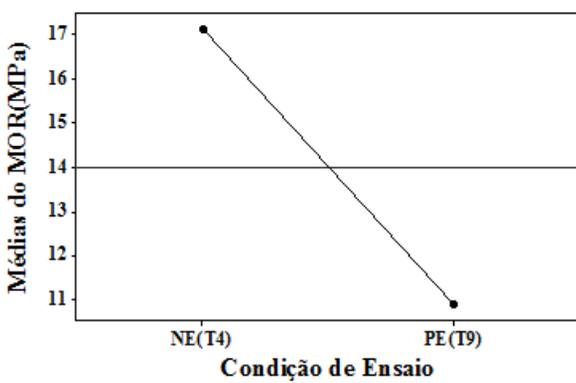
	Adesão Interna (MPa)					
	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Médias	1,90	1,42	1,02	1,73	1,12	0,82
Agrupamento	A	B	C	B	C	D

TABELA 6: P-valores da ANOVA para o MOR e MOE dos materiais não envelhecidos e pós-envelhecidos.
 TABLE 6: P-values of ANOVA for the MOR and MOE of the non-aged and post-aged materials.

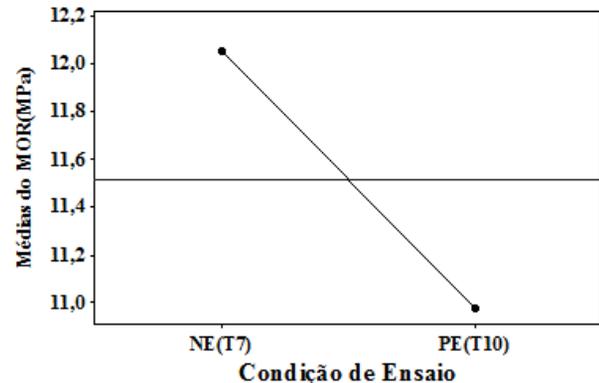
	MOR		MOE	
	NE (T4)	PE (T9)	NE (T4)	PE (T9)
P-valor	0,002	0,000	0,000	0,011
R ² (Adjunto)	83,21%	62,46%		

	MOR		MOE	
	NE (T7)	PE (T10)	NE (T7)	PE (T10)
P-valor	0,000	0,006	0,000	0,000
R ² (Adjunto)	76,23%	85,01%		

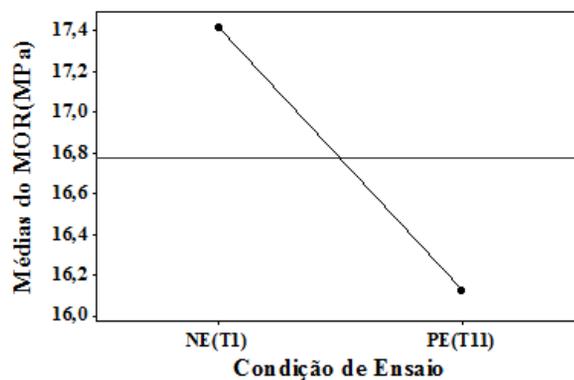
	MOR		MOE	
	NE (T1)	PE (T11)	NE (T1)	PE (T11)
P-valor	0,000	0,000	0,018	0,000
R ² (Adjunto)	67,53%	73,29%		



(a)



(b)



(c)

FIGURA 5: Gráficos de efeitos principais para o MOR entre as condições sem e pós-envelhecimento.
 FIGURE 5: Main effect plots for MOR between conditions without and after the aging.

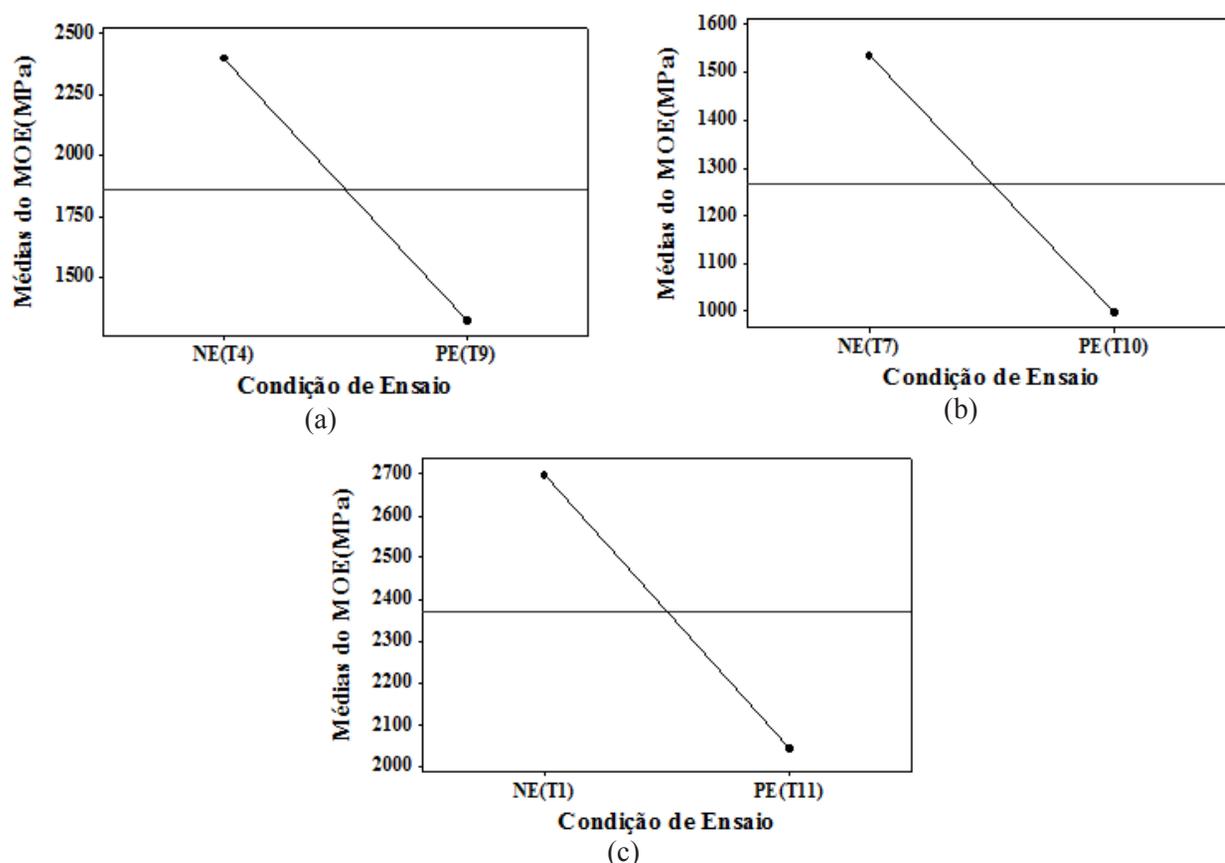


FIGURA 6: Gráficos de efeitos principais para o MOE entre as condições sem e pós-envelhecimento.
FIGURE 6: Main effect plots for MOE between conditions without and after aging.

apenas pelo tipo de adesivo, a resina à base de óleo de mamona conduziu aos melhores resultados de propriedades físico-mecânicas. A absorção em 2h dos painéis fabricados com resina à base ureia-formaldeído foi em média 6,50 superior à Absorção em 2h dos materiais fabricados com a resina poliuretana derivada de mamona. O Inchamento em 2h e 24h dos materiais confeccionados com o adesivo à base de ureia-formaldeído foi em média 5,93 e 1,90 vezes superior aos elaborados com o adesivo à base de óleo de mamona.

O MOR e o MOE dos materiais elaborados com resina a base de mamona (T6) foram em média 2,5 e 2,10 vezes superiores respectivamente aos MOR e MOE dos compostos fabricados com a resina ureia-formaldeído (T8).

Análise por microscopia de varredura

A Figura 7 apresenta imagens por microscopia eletrônica de varredura (MEV) para o tratamento T4 (50% de partículas de casca de amendoim e 50% de partículas de madeira itaúba

com poliuretana à base de óleo de mamona. Usando diferentes aumentos, nota-se uma homogeneidade de dispersão das partículas de amendoim, madeira e resina poliuretana de óleo de mamona. Essa característica destaca-se como fator essencial para que ocorra uma distribuição homogênea de cargas entre as fibras constituintes de um material composto, conforme destacado por Callister (2002). A Figura 7 ilustra de maneira qualitativa as propriedades obtidas para esse painel.

CONCLUSÕES

A casca de amendoim é um resíduo agroindustrial com potencial para fabricação de painéis de partículas, no entanto, as propriedades físico-mecânicas mais satisfatórias foram observadas para painéis híbridos de casca de amendoim e partículas de madeira.

Os painéis híbridos com densidade 0,8 g/cm³, produzidos com proporção de 50% casca de amendoim, 50% madeira itaúba (*Mezilaurus itauba*) e aglomerados com resina poliuretana de óleo de

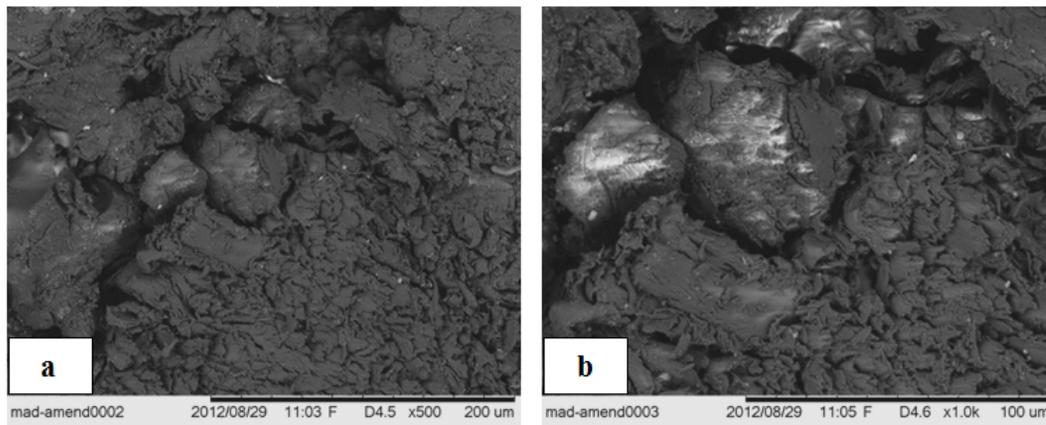


FIGURA 7: Imagem de MEV – Painel híbrido (T4): a) aumento ($\times 500$) e b) aumento ($\times 1000$).
 FIGURE 7: Image of MEV - Hybrid Panel (T4): a) increase ($\times 500$) and b) increase ($\times 1000$).

mamona atenderam às recomendações mínimas dos documentos normativos nacionais e internacionais e representam a formulação que proporciona um uso significativo de partículas de casca de amendoim, sem prejuízo das propriedades físico-mecânicas.

Os painéis híbridos aglomerados com resina poliuretana de óleo de mamona apresentaram resultados superiores quando comparados com aqueles produzidos com a resina ureia-formaldeído, viabilizando o uso dessa resina para produção de painéis de partículas aglomeradas.

Os painéis submetidos ao ensaio de envelhecimento acelerado apresentaram propriedades físico-mecânicas inferiores aos painéis não envelhecidos, indicando que os painéis híbridos revestidos com a mesma resina poliuretana de óleo de mamona devem ser utilizados em condições de baixa exposição à umidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro à FAPESP, CNPq e FINEP.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS: NBR 14810-3. - **Chapas de madeira aglomerada**. Parte 3: Método de ensaio, terminologia. Rio de Janeiro, 2006. 32 p.
 AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE: ANSI A208.1. **Mat-formed wood particleboard: Specification**. National Particlepanel Association. Gaithersburg,

1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS: ASTM D 1037. **Standard test method for properties of wood-based fiber and particle panel materials**. Philadelphia, 1996.

BERTOLINI, M. S.; NASCIMENTO, M. F.; ROCCO LAHR, F. A. Emprego de resíduos de *Pinus sp.* tratado com CCB na produção de chapas de partículas. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 13., 2012, Vitória. **Anais...** Vitória, 2012.

CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 5. ed. São Paulo: LTC, 2002.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; COIADO CHAMMA, P. V. Avaliação de painéis produzidos a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 47-53, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento de safra brasileira: amendoim - Companhia Nacional de Abastecimento. Brasília: Conab 2009.

COMMERCIAL STANDARD. Mat-formed wood particleboard. CS 236-66. 1968.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada**. Produtos derivados de madeira: síntese dos trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira, SET-EESC-USP. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008. p 73-92.

- FIORELLI, J. et al. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An ecoefficient product. **Industrial Crops and Products**, v. 40, p. 69-75, 2012.
- GATANI, M. et al. Propriedades físico-mecânicas de painéis de partículas a base de casca de mani em matriz polimérica. In: SIMPÓSIO SOBRE APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS COMO MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO. 2., 2010, Valencia. **Anais...** Valencia, 2010. v. 1., p. 01-07.
- GULER, C.; COPUR, Y.; TASCIOGLU, C. The manufacture of particleboards using mixture of peanut hull (*Arachis hypoqaea*L.) and European Black pine (*Pinus nigra* Arnold) wood chips. **Bioresource Technology**, v. 99, p. 2893-2897, 2008.
- MALONEY, T. M. The family of wood composite materials. **Forest Products Journal**. v. 46, n. 2, p. 19-26. 1996.
- MATOS, J. L. M. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais Waferboards**. 1988. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.
- MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**, 6th ed. Arizona, John Wiley & Sons Inc., 2005.
- NASCIMENTO, M. F. **CPH – Chapas de partículas homogêneas: madeiras do nordeste do Brasil**. 2003. 117f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.
- PABLO, A. A.; PEREZ, E. B.; ELLA, A. B. **Development of particleboard on a pilot-plant and semi-commercial scale using plantation and secondary wood species and agricultural fibrous waste materials**. Forest Products Research and Industries, Development Commission, University of the Philippines, Philippines, 1975.
- PRP 108 D1 – Performance Standards and Policies for Structural – Use Panels.
- ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and Factors Affecting Fiber Properties. In: NATURAL POLYMERS AND AGROFIBERS BASED COMPOSITES, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária 2000.
- SAYAMA, J. T.; FIORELLI, J.; BARBIRATO, G. H. A. Estudo da viabilidade de uso da casca do amendoim para a fabricação de painéis de partículas. In. I PRO-AFRICA CONFERENCE: NON-CONVENTIONAL BUILDING MATERIALS BASED ON AGROINDUSTRIAL WASTES, 1., 2010, São Paulo. **Anais ...** São Paulo: Universidade de São Paulo, 2010.