UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

STEPHEN BONILLA BUENO

**Chapas de partículas multicamadas com resíduos lignocelulósicos e
resina PU de mamona**

Pirassununga

2015

STEPHEN BONILLA BUENO

**Chapas de partículas multicamadas com resíduos lignocelulósicos e
resina PU de mamona
Versão corrigida**

Dissertação apresentada à
Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo, como
parte dos requisitos para a obtenção
do Título de Mestre em Engenharia e
Ciência de Materiais.

Área de Concentração:
Desenvolvimento, Caracterização e
Aplicação de Materiais Voltados à
Agroindústria.

Orientador: Prof. Dr. Juliano Fiorelli

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Serviço de Biblioteca e Informação da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da
Universidade de São Paulo

B715c Bonilla Bueno, Stephen
Chapas de partículas multicamadas com resíduos
lignocelulósicos e resina PU de mamona / Stephen Bonilla
Bueno. -- Pirassununga, 2015.
88 f.
Dissertação (Mestrado) -- Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos - Universidade de São Paulo.
Departamento de Engenharia de Biossistemas.
Área de Concentração: Desenvolvimento, Caracterização
e Aplicação de Materiais voltados à Agroindústria.
Orientador: Prof. Dr. Juliano Fiorelli.

1. Fibra da casca do coco 2. Bagaço de cana
3. Durabilidade. I. Título.

DEDICATÓRIA

A minha mãe Marina por todo o amor e a meu pai Júlio por todos os conselhos.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Juliano Fiorelli pela oportunidade, dedicação e confiança depositada em mim.

Meus colegas do Laboratório de Construções Rurais e Ambiente que me ajudaram, aconselharam e orientaram no desenvolvimento do meu trabalho.

Ao pessoal do Laboratório de Construções Rurais e Ambiente pelo apoio e logística prestada.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão da bolsa de mestrado (2013/107998-0) e pelo apoio financeiro para realização desta pesquisa.

Ao Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira, da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, pela ajuda com a execução de ensaios do projeto.

À Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” da Universidade de São Paulo de Piracicaba, pela colaboração na prestação de equipamentos para realizar parte da pesquisa do projeto.

“Veja essa vida aqui, encare seu medo, não importa quem você é, você tem que lutar pelo seu mundo, esse dia está aqui, viva ele agora, encare seu medo, não importa quem você é, você tem que tentar”.

Norther

Resumo

BONILLA BUENO, S. **Chapas de partículas multicamadas com resíduos lignocelulósicos e resina PU de mamona. 2015.** 88 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.

O presente trabalho considerou o potencial de utilização de subprodutos da agroindústria como casca de coco verde e bagaço de cana-de-açúcar, com o intuito de agregar valor a esses materiais, por meio da fabricação de chapas de partículas multicamadas (3 camadas: 2 camadas externas – CE e uma camada interna – CI), utilizando resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona (PU-mamona). As chapas produzidas foram avaliadas por ensaios **termo-físico-mecânicos**: condutividade térmica, densidade aparente, perfil de densidade, absorção de água, inchamento em espessura, flexão estática, flexão dinâmica, tração perpendicular, arranchamento de parafuso, dureza Janka e abrasão, com objetivo de verificar as características do material e indicá-lo para usos específicos; **microestrutural**: microscopia eletrônica de varredura visando identificar características microestruturais do compósito para interpretar as propriedades físico-mecânicas do produto; **durabilidade**: envelhecimento natural para expor o material a condições ambientais externas e envelhecimento acelerado para exposição a condições internas. Os resíduos utilizados, o adesivo PU-mamona e os parâmetros de produção adotados mostraram-se adequados para fabricar chapas de partículas multicamadas de baixa (529 kg/m^3) e média (692 kg/m^3) densidade. O ensaio de condutividade térmica permitiu classificar as chapas em estudo na categoria de materiais isolantes onde os valores estiveram entre 0,14 e 0,17 W/m.K. Os perfis de densidade obtidos permitiram observar a variação da densidade ao longo da espessura das chapas e indicou diferenças entre as chapas homogêneas e multicamadas. As chapas multicamadas apresentaram melhores propriedades físico-mecânicas, em comparação com as chapas de partículas homogêneas e atenderam os requerimentos estabelecidos pelos documentos normativos nacionais e internacionais. Os resultados de envelhecimento natural e acelerado indicaram que as chapas em estudo (homogêneas e multicamadas) são sensíveis às condições de exposição externas (temperatura, umidade e radiação) e às condições extremas de exposição interna (umidade e radiação UVB).

Palavras-chave: Fibra da casca do coco, bagaço de cana, durabilidade.

Abstract

BONILLA BUENO, S. **Multilayer Particleboard with Lignocellulosic Wastes and Castor Oil Polyurethane Adhesive**. 2015. 88 p. M.Sc. Dissertation – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2015.

This study considered the potential use of agro-industrial wastes like green coconut shell and sugarcane bagasse in order to add value to those materials, by mean fabrication of multilayer particleboards (3 layers: 2 external layers – EL and internal layer – IL), using castor oil-based polyurethane adhesive. The particleboards were evaluated using **physic-mechanics tests**: density, density profile, water absorption, thickness swelling, static flexure, dynamic flexural, perpendicular traction, screw pullout, Janka hardness and abrasion with the objective to verify the material characteristics and to indicate specific uses, **microstructural**: Scanning electron microscopy looking to identify microstructural characteristics of composite to interpret the physic-mechanics properties of product, **durability**: natural aging to expose the material to external environmental conditions and accelerated aging for exposure to indoor conditions. The residues used, the castor oil-based polyurethane adhesive and the parameters of production adopted; proved to be suitable for making multilayer particleboard of low (529 kg/m^3) and medium (692 kg/m^3) density. The thermal conductivity test allowed to classify the plates in the category of insulating materials with values between 0,14 e 0,17 W/m.K. The density profiles obtained made possible to observe the change of density along the thickness of the boards and showed differences between the homogeneous and multilayer sheets. The multilayer boards presented better physical and mechanical properties in comparison with the homogeneous particleboards and complied with the standards national and international. The results obtained after the natural and accelerated aging indicated that the plates being studied (homogeneous and multilayer) are sensitive to external exposure conditions (temperature, humidity and radiation) and to the extreme conditions of internal exposure (moisture and UVB radiation).

Keywords: Coconut fiber, sugar cane bagasse, durability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Etapas de produção da chapa de partícula multicamada de bagaço de cana e fibra da casca do coco verde. a) Moinho de facas. b) Peneira de classificação de partícula. c) Mistura por aspersão e Misturador Planetário. d) Colchão formador de partícula. e) Prensa termo-hidráulica f) Chapas de partícula Multicamada	37
Figura 2 Vista superficial e lateral da chapa de partícula multicamada	37
Figura 3 Representação esquemática da retirada dos corpos de prova da chapa de partícula.....	38
Figura 4 Multipicnômetro gás hélio	39
Figura 5 Obtenção da densidade e perfil de densidade. a) medição dos corpos de prova. b) pesagem dos corpos de prova. c) posicionamento dos corpos de prova no densitometro GreCon modelo DA-X. d) perfil e valores e densidade das chapas	41
Figura 6 Posicionamento do corpo de prova para o ensaio de flexão estática (EMIC)	43
Figura 7 Posicionamento do corpo de prova para o ensaio de flexão dinâmica	44
Figura 8 Forma e duração dos ciclos de carregamento.....	45
Figura 9 Posicionamento do corpo de prova para o ensaio de tração perpendicular.....	45
Figura 10 Fixação de parafuso. a) Superfície. b) Topo.....	46
Figura 11 Dispositivo de ensaio de tração perpendicular. a) Arracamento na superfície. b) Arranchamento no topo	47
Figura 12 Ensaio de dureza janka. a) Mecanismo de esfera. b) Posicionamento do corpo de prova. c) Penetração total da esfera.....	47
Figura 13 Procedimento do ensaio de abrasão. a) Medição da espessura do corpo de prova inicial e após 300 ciclos. b) Pesagem do corpo de prova inicial e após 300 ciclos. c) Posicionamento do corpo de prova no equipamento de abrasão	48
Figura 14 Revestimento das bordas com pasta acrílica e selante	50
Figura 15 Posicionamento dos corpos de prova no campo experimental de envelhecimento natural	50
Figura 16 Posicionamento dos corpos de prova na câmara de envelhecimento acelerado.....	51
Figura 17 Thermal Conductivity Tester DTC-300 Marca Discovery	52

Figura 18 Ensaio de condutividade térmica. a) Corpo de prova com creme térmico. b) Posicionamento do corpo de prova entre os pratos	52
Figura 19 Perfis de densidade por defeitos no processo. A) aquecimento ou pressão desigual nas superfícies. b) baixas pressões durante a prensagem ou baixa humidade do colchão. c) baixa velocidade de prensagem. d) alta velocidade de prensagem	57
Figura 20 Perfil de densidade do tratamento T1	57
Figura 21 Perfil de densidade do tratamento T2.....	58
Figura 22 Perfil de densidade do tratamento T3.....	58
Figura 23 Perfil de densidade do tratamento T4.....	59
Figura 24 Corpos de prova com diferentes inchamentos em espessura após imersão em água por 24 h	61
Figura 25 Curvas típicas de tensão versus deformação	63
Figura 26 Ruptura das camadas: (a) Externa. (b) Interna.....	64
Figura 27 Curvas típicas de tensão versus deformação - T1 e T2	66
Figura 28 Curvas típicas de tensão versus deformação - T3 e T4	67
Figura 29 Ruptura típica do painel multicamada no ensaio de tração perpendicular.....	69
Figura 30 MEV da superfície das chapas de partículas com aumento 50x . a) T1. b) T2. c) T3. d) T4.	74
Figura 31 MEV da superfície das chapas de partículas com aumento 200x. a) T1. b) T2. c) T3. d) T4.	74
Figura 32 MEV da secção transversal com aumento de 50x – T2.....	75
Figura 33 Imagens da superfície e da secção transversal de chapas de partículas antes e após ensaio de envelhecimento (EA e EN)	77
Figura 34 curvas de tensão vs deformação sem envelhecimento e com envelhecimento acelerado e natural. a) T1. b) T2. c) T3. c) T4.....	79

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades físico-mecânicas de chapas de partículas	33
Tabela 2 - Parâmetros de produção de chapas de partículas multicamada e homogêneas.....	35
Tabela 3 - Plano experimental	36
Tabela 4 - Estatística inferencial entre tratamento para cada propriedade.	53
Tabela 5 - Valores de densidade real e teor de Celulose, Hemicelulose e Lignina das fibras de coco e bagaço de cana	54
Tabela 6 - Valores da composição química das fibras de coco e bagaço de cana	55
Tabela 7 - Valores médios de densidade de chapas de partículas homogêneas e multicamadas (T1, T2, T3 e T4)	56
Tabela 8 - Valores de densidade média máxima, mínima, face superior e inferior	59
Tabela 9 - Valores médios de IE - 2 e 24 h - T1, T2, T3 e T4	60
Tabela 10 - Valores médios de AA - 2 e 24 h – T1, T2, T3 e T4	61
Tabela 11 - Valores médios de MOR e MOE – T1, T2, T3 e T4	62
Tabela 12 - MOR e MOE antes e após 40.000 ciclos de carregamento	65
Tabela 13 - Adesão Interna - T1, T2, T3 e T4	68
Tabela 14 - Valores médios do arranchamento de parafuso na superfície e no topo – T1, T2, T3 e T4.....	70
Tabela 15 - Valores médios de dureza janka	71
Tabela 16 - Valores médios de perda de massa e redução da espessura após	72
Tabela 17 - Valores médios de MOR antes e após ensaio de envelhecimento	76
Tabela 18 - Valores médios de MOE antes e após ensaio de envelhecimento	76
Tabela 19 - Valores médios de condutividade térmica.....	80

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	14
	OBJETIVOS	16
1.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1	FIBRAS VEGETAIS	17
2.1.1	FIBRA DE COCO	18
2.1.2	BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR	19
2.2	ADESIVOS PARA PRODUÇÃO DE CHAPAS DE PARTÍCULAS	20
2.2.1	ADESIVO POLIURETANO À BASE DE ÓLEO DE MAMONA	21
2.3	PARÂMETROS DE PRODUÇÃO – CHAPAS DE PARTÍCULAS.....	23
2.3.1	GEOMETRIA DAS PARTÍCULAS.....	23
2.3.3	RAZÃO DE COMPACTAÇÃO	24
2.3.4	UMIDADE DAS PARTÍCULAS	25
2.3.5	ADESIVO	25
2.3.6	PROCESSO DE Prensagem: Pressão e Temperatura.....	26
2.4	CHAPAS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA.....	26
2.5	CHAPAS DE PARTÍCULAS COM RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS	29
2.6	PROPRIEDADES FÍSICO MECÂNICAS DAS CHAPAS DE PARTÍCULAS	32
2.7	CONCLUSÕES DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	33
3.	METODOLOGIA.....	35
3.1	MATERIAL E OBTENÇÃO DOS CORPOS DE PROVA.....	35
3.2	MÉTODOS DE ENSAIO.....	39
3.2.1	CARACTERIZAÇÃO DAS FIBRAS.....	39
3.2.1.1	DENSIDADE REAL E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FIBRAS	39
3.2.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS CHAPAS DE PARTÍCULAS	40
4.2.2.1	DENSIDADE E PERFIL DE DENSIDADE	40
4.2.2.2	INCHAMENTO EM ESPESSURA E ABSORÇÃO DE ÁGUA	41
3.2.3	CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DAS CHAPAS DE PARTÍCULAS	42
3.2.3.1	FLEXÃO ESTÁTICA	42
3.2.3.2	FLEXÃO DINÂMICA	44
3.2.3.3	TRAÇÃO PERPENDICULAR.....	45
3.2.3.4	ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NA SUPERFÍCIE E NO TOPO	46
3.2.3.5	DUREZA JANKA	47
3.2.3.6	ENSAIOS DE ABRASÃO	48
3.2.4	CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL.....	49
3.2.4.1	ANÁLISE DE MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA.....	49

3.2.5	ANALISE DA DURABILIDADE DAS CHAPAS DE PARTÍCULAS	49
3.2.5.1	ENVELHECIMENTO NATURAL E ACELERADO	49
3.2.5.2	ENVELHECIMENTO ACELERADO	51
3.2.6	ENSAIO CONDUTIVIDADE TÉRMICA	51
3.2.7	ANALISE ESTATÍSTICA.....	52
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	54
4.1	DENSIDADE E COMPOSIÇÃO QUÍMICA DAS FIBRAS	54
4.2	CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DAS CHAPAS DE PARTÍCULAS	55
4.2.1	DENSIDADE DA CHAPA E PERFIL DE DENSIDADE	55
4.2.2	INCHAMENTO EM ESPESSURA E ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	60
4.2.3	MÓDULO DE RUPTURA E MÓDULO DE ELASTICIDADE.....	62
4.2.4	RESISTÊNCIA À FADIGA	65
4.2.5	ADESÃO INTERNA	68
4.2.6	ARRANCAMENTO DE PARAFUSO NA SUPERFÍCIE E NO TOPO	69
4.2.7	DUREZA JANKA	71
4.2.8	RESISTÊNCIA À ABRASÃO	72
4.3	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA	73
4.4	ENVELHECIMENTO NATURAL E ACELERADO	75
4.5	CONDUTIVIDADE TÉRMICA.....	80
5.	CONCLUSÕES	82
6.	REFERENCIAS	83

1. INTRODUÇÃO

A tendência atual para o desenvolvimento de novos materiais traz como expectativa o aproveitamento de recursos naturais locais próprios de cada comunidade (ALVAREZ, 2008). No entanto, é necessário o desenvolvimento de pesquisas na área de engenharia e ciência de materiais que permitam a aplicação adequada desses novos produtos (ORELLANA, 2009). O surgimento de novos materiais, produto de avanços tecnológicos e científicos, destacando àqueles que empregam como matéria-prima, resíduos agroindustriais ou industriais, diminui o uso de material de valor nobre (SILVA, 2006).

Segundo Iwakiri *et al.* (2005) na indústria de chapas, a madeira da espécie *Pinus* sp é a principal matéria-prima utilizada. No Brasil, na fabricação de chapas estão sendo utilizadas madeiras de *Pinus* sp e *Eucalyptus*, nas quais são aplicadas varias proporções comumente de 70% *Pinus* e 30% *Eucalyptus* (TORQUATO, 2008). No entanto, vários trabalhos em desenvolvimento avaliaram a possibilidade de substituir a madeira por fibras naturais ou subprodutos agroindustriais como matéria-prima para produção desses painéis. Fiorelli *et al.* (2012) avaliaram o uso de fibra da casca do coco verde na produção de chapas de partículas homogêneas e os resultados indicaram que o produto obtido pode ser aplicado na indústria moveleira e de construção civil.

Resultados de pesquisas nacionais e internacionais indicam a viabilidade da utilização do bagaço de cana-de-açúcar com diferentes matrizes poliméricas para a confecção de chapas de partículas BELINI *et al.* (2011); FIORELLI *et al.* (2011); CAMPOS *et al.* (2009); WIDYORINI; XU; UMEMURA (2005); TEIXEIRA; COSTA; SANTANA (1997).

Porém, a maioria das pesquisas referenciadas enfocou o estudo em chapas de partículas homogêneas, diferenciando das chapas produzidos pela indústria, que normalmente são confeccionadas com partículas de maior granulometria na camada interna e de menor granulometria nas camadas externas, melhorando o acabamento superficial e as condições de aplicação de revestimentos (IWAKIRI *et al.*, 2005).

O uso de resíduo agroindustrial lignocelulósico representa uma alternativa recente para produzir chapas de partículas e o aumento na oferta destes subprodutos pode favorecer a sua utilização em substituição à madeira, além de contribuir com a produção de materiais sustentáveis (FIORELLI *et al.*, 2012).

Dentro desse escopo, o presente projeto tem como objetivo produzir chapas de partículas multicamadas com fibra da casca do coco verde e bagaço de cana-de-açúcar aglomerados com resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona (PU-mamona) e avaliar esse produto por meio de técnicas avançadas de caracterização (ensaios termo-físico-mecânicos, microestruturais e de durabilidade), visando sua aplicação na construção civil, indústria moveleira, embalagens e áreas afins.

O uso de bagaço de cana-de-açúcar nas camadas externas e de fibra da casca de coco verde nas camadas internas das chapas de partículas multicamadas se justifica pelas características químicas, microestruturais e geométricas dessas fibras e resultados referentes a essas especificidades serão apresentados nesse trabalho.

OBJETIVOS

Produzir chapas de partículas multicamadas com fibra da casca de coco verde (camada interna), bagaço de cana-de-açúcar (camada externa) e resina PU-mamona e avaliar esse material por meio de ensaios termo-físico-mecânicos, microestruturais e de durabilidade.

1.1 Objetivos específicos

- Determinar propriedades térmicas, físicas e mecânicas de chapas de partículas multicamadas de bagaço de cana-de-açúcar, fibra da casca do coco verde e resina PU-mamona com densidade de 500 e 700 kg/m³;
- Analisar as características e interações macroestruturais das partículas;
- Avaliar o comportamento das chapas multicamadas quando submetidas a ensaios de envelhecimento natural e acelerado.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Esse item apresenta informações das matérias primas, fibras vegetais, bagaço de cana-de-açúcar, fibra da casca do coco verde e adesivo poliuretano bi-componente à base de óleo de mamona (PU-mamona) e o estado da arte de pesquisas desenvolvidas nessa área do conhecimento que utilizam madeira e fibras naturais para produção de chapas de partículas aglomeradas.

2.1 Fibras vegetais

As fibras são a composição primordial dos vegetais, sendo possível encontrá-las em toda sua estrutura e podem ser classificadas de acordo sua origem anatômica: fibras do talo como a juta, fibras da folha como o sisal, fibras do lenho como o bagaço de cana e fibras da superfície no caso do coco (FAGURY, 2005).

As fibras vegetais existem em abundância e têm seu uso motivado por serem renováveis e abundantes, biodegradáveis, grande disponibilidade a baixo custo, menos abrasivas, muitas vezes como resíduos, possibilitando a produção de compósitos também viáveis economicamente (BLEDZKI; GASSAN, 1999; MOTTA; AGOPYAN, 2007).

A opção de aproveitar fibras de resíduos agrícolas é atrativa não só do ponto de vista econômico, como também ambiental. Como exemplo de materiais residuais disponíveis no Brasil, com potencial para produção de fibras podem ser citados o bagaço da cana, pseudocaule de bananeira, fibra do coco, rejeito de polpa celulósica de eucalipto, sisal, entre outros (AGOPYAN, 1991).

Os componentes principais das fibras são celulose, hemicelulose e lignina, dependendo das porcentagens destes constituintes é possível determinar para que aplicação são adequadas as fibras, a saber: fibras com conteúdo predominante de celulose são recomendadas para uso pelas indústrias têxtil e de papel e como reforço em compósitos cimentício devido à estabilidade estrutural que proporciona; as fibras com conteúdos de hemicelulose são utilizadas para fabricação de açúcares e combustíveis; a lignina é um componente que interfere nas propriedades mecânicas, fornecendo boa qualidade uma vez que melhora a resistência à compressão, flexibilidade, morfologia, enrijecimento da parede celular protegendo de danos físicos e químicos (PASSOS, 2005).

A celulose é o principal componente das fibras e esta interligado por moléculas de hemicelulose e lignina, que é encontrada na superfície e tem como função sustentar a rede celulose-hemicelulose (FAGURY, 2005).

Para aproveitar ao máximo o potencial das fibras é importante conhecer algumas propriedades físicas tais como a relação comprimento/largura que é utilizada como um indicador de resistência, defeitos, resistência, variabilidade, cristalinidade e morfologia que pode ter efeito em propriedades físicas como a densidade, diâmetro, comprimento, espessura da parede celular. No entanto, há fatores que afetam as propriedades das fibras, como por exemplo, a planta da qual é extraída, idade da planta e processo extração (ROWELL, 2000).

Outro fator importante é a temperatura de processamento uma vez que as fibras se decompõem acima dos 220°C, limitando o uso de algumas resinas termorrígidas (FRANCO, 2010; VILARIM DA SILVA, 2003).

O estudo de Fiorelli *et al.* (2014) apresenta uma caracterização físico-química e anatômica de fibras de bagaço de cana-de-açúcar, fibra de coco e casca de amendoim, como conclusões os autores apresentam a compatibilidade dessas fibras com resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona e uma similaridade de algumas características anatômicas (porosidade de superfície, diâmetro e espessura das fibrilas), química (pH) e física (densidade real) com as da madeira de *Pinus sp.*, comercialmente utilizada na produção de chapas de partículas.

2.1.1 Fibra de coco

A fibra da casca do coco pertence à família das fibras duras, tais como o “sisal”, ou seja, é uma fibra multicelular que tem como principais componentes, a celulose e o lenho, o que lhe confere elevados índices de rigidez e dureza em relação às outras fibras vegetais. Além disso, a fibra de coco é também um material versátil, devido à sua resistência, durabilidade e resiliência (VIEIRA, 2008).

A fibra é obtida pela destruição do mesocarpo ou casca externa do coco, para coco maduro é obtida fibra dura e lenhosa e para coco verde fibra do tipo celulósica e contém alto teor de lignina (SENHORAS, 2003; VAN DAM, 2004; VILARIM DA SILVA, 2003)

Bastos (2009) afirma que as fibras do coco são recicláveis, biodegradáveis, não deformáveis, duráveis, possuem baixa condutividade térmica, elevada resistência ao impacto, contém em sua composição tanino, um fungicida natural, tornando o material mais durável ao ataque de fungos e insetos.

Segundo Damasceno *et al.* (2012) a fibra de coco foi selecionada como matéria-prima para a produção de painéis devido a grande disponibilidade desse material em regiões urbanas da região norte de Minas Gerais. Os autores afirmam que aproximadamente 45% do coco são enviadas para lixões e aterro sanitários, gerando custos adicionais no processo de decomposição.

Fontanele (2005) descreve outras vantagens do uso da fibra de coco, como tempo de vida útil de noventa anos quando processada e por ser um material natural e biodegradável. Sebrae (2010) observou outras características dessa fibra como a resistência à umidade, a fungos, com propriedades térmicas e acústicas.

No Brasil com uma área plantada de 290.515 hectares são produzidos 3,84 milhões de tonelada de resíduos derivados do coco, sendo 1,53 milhões toneladas da casca e 1,69 milhões de toneladas são das folhas (EMBRAPA, 2015).

2.1.2 Bagaço de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) é uma gramínea, cultivada nas regiões tropicais e subtropicais (SILVA; GOMES; ALSINA, 2007). No Brasil, a cana-de-açúcar esta destinada à produção de álcool, açúcar e cachaça e estes processos industriais geram uma quantidade de resíduo denominada de bagaço. As condições de cada região, como o solo, clima, tempos de cultivo e outras condições externas influenciam a composição básica da cana-de-açúcar (teor de água, açúcares, sólidos solúveis e fibras) e as variações destes componentes afetam diretamente a composição final do bagaço da cana (BARROS FILHO, 2009).

Segundo Mendes (2010) o bagaço de cana é um conjunto de fibras celulósicas geradas pelo setor sucroalcooleiro. Fiorelli *et al.* (2014) determinaram a composição química do bagaço de cana, sendo identificado 56% de celulose, 25% de lignina e 30% de hemicelulose, esses resultados são similares aos obtidos na literatura.

Silva, Gomes e Alsina (2007) afirmam que para cada tonelada de cana-de-açúcar processada são gerados 280 kg de resíduo. No período de 2013-2014, segundo os dados da União da Indústria de Cana-de-açúcar, foi cultivada em todo o

Brasil aproximadamente 653 mil t, sendo o estado de São Paulo o maior produtor de cana com uma produção de 367 mil t, gerando aproximadamente 92 mil t de resíduo (ÚNICA, 2015).

2.2 Adesivos para produção de chapas de partículas

O adesivo é uma parte importante da produção de chapas de partículas devido às implicações técnicas e econômicas, pelo qual a resina pode significar 50% do custo da produção de chapas (CARNEIRO *et al.*, 2004).

Dependendo da característica dos adesivos, a classificação pode ser realizada considerando a origem das matérias primas, temperatura de cura, resistência à umidade, composição química entre outras. Dentro destas classificações há os adesivos inorgânicos que geralmente estão constituídos por silicatos e possuem elevadas propriedades mecânicas e os adesivos orgânicos que são divididos em sintéticos e naturais. Os primeiros são mais utilizados na indústria madeireira, pelas qualidades como resistência mecânica, à umidade e fungos. Os adesivos sintéticos também podem ser classificados em termofixos que endurecem pela ação do calor ou catalizadores e sua cura não é reversível (ureia-formaldeído, fenol formaldeído e poliuretanos) e em termoplásticos de cura reversível (polietileno, polistírol e borracha sintética). Já, os adesivos orgânicos são obtidos de proteínas animais (BARROS FILHO, 2009; CAMPOS *et al.*, 2005, VICK, 1999).

A indústria de painéis de partículas utiliza com maior frequência a resina uréia-formaldeído, para produção de chapa não estrutural e de uso interno e as resinas fenol-formaldeído e melanina são empregadas na produção de chapa estrutural e resistente a umidade. Para obter um balanço entre custo e melhoria das propriedades os fabricantes produziram resinas mistas tais como melanina-uréia-formaldeído ou fenol-melanina-uréia-formaldeído. Aproximadamente 90% das indústrias de chapas utilizam uréia-formaldeído em porcentagem de 8 a 10% do peso seco das partículas (ELEOTERIO, 2000; IWAKIRI, 2005; MARRA, 1992; MENDES *et al.*, 2010; MELLO DA SILVA, 2003).

A desvantagem na utilização desses adesivos esta na liberação de formal para o ambiente, o qual é um gás incolor, com forte odor, alta reatividade química e solúvel em água. Esse gás provoca irritação nos olhos, na pele e no trato respiratório (IWAKIRI, 2005; KHODER *et al.*, 2000).

As resinas poliuretanas podem ser utilizadas na produção de chapas de partículas aglomeradas. Este adesivo apresenta características similares aos adesivos à base de formaldeído, com vantagens de apresentar melhores propriedades mecânicas, resistência à umidade e não emitir formal (DIAS, 2005).

2.2.1 Adesivo poliuretano à base de óleo de mamona

A mamona (*Ricinus communis*) é uma planta da família das *Euphorbiaceae*, de fibras não lenhosas de rápido crescimento, nas zonas tropicais é cultivada durante o ano todo. A mamona é cultivada pelas sementes, as quais contêm 55% de óleo natural. A produção anual mundial é cerca de 460 mil t (1,1 milhão de t de sementes), e os principais produtores são Índia, Brasil e China (GRIGORIOU; NTALOS, 2000).

Segundo Araújo (1992) e Jesus (2000) essa planta é facilmente encontrada na maioria das regiões do país, principalmente em estado natural, e a partir dela, é possível sintetizar um adesivo (PU de mamona) composto por poliál e pré-polímeros (isocianato). Esse adesivo apresenta grande versatilidade de aplicação, com propriedades superiores aos polímeros derivados do petróleo, além de serem provenientes de fontes naturais e de matérias-primas renováveis (SAMLAIK, 1983).

As resinas poliuretanas derivadas de vegetais são caracterizadas como “bimônômeros” e podem ser obtidas de fontes naturais renováveis como soja, milho, girassol, mamona entre outros (PETRIVIC, 1999). O emprego de resinas poliuretanas teve seu início nas chapas de madeira, pois alguns estudos demonstraram que as propriedades melhoravam quando comparadas com as chapas produzidas com resinas fenólicas, e também apresentam baixa emissão de formol (CHIPANSKI, 2006; DIAS, 2005).

Na produção de chapas de partículas é importante observar o tipo e quantidade de resina utilizada, pois esses parâmetros apresentam relação com as ligações entre a superfície das partículas, propriedades mecânicas e estabilidade do painel (WEBER, 2011).

Bertolini *et al.* (2013) fabricou chapas de partículas de alta densidade (970, 890 e 800 kg/m³) com resíduos das podas das árvores urbanas como Jatobá, Canelinha e uma mistura entre eles, aglomerados com resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona em porcentagem de 16%. O valor de MOR

para as chapas com partículas de resíduo de Jatobá foi de 17,3 MPa, desempenho acima das recomendações da norma ANSI A208-1:1999 que indica valores mínimos de 16 MPa. Para a adesão interna o valor obtido foi superior ao 0,4 MPa exigido pela norma NBR 14810:2006, sendo 1 MPa para a Jatobá e 0,8 MPa para Canelinha e mistura. O trabalho concluiu que as chapas produzidas com resíduos do Jatobá foram superiores em comparação com as outras chapas e os autores recomendaram estes tipos de partículas para fabricar chapas de alta densidade.

Poleto *et al.* (2010) estudou a incorporação de resíduos de poda de *Pinus elliottii* em chapas de madeira fabricadas com *Pinus elliottii* e *Eucalyptus grandis* utilizando resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona. Foram produzidas chapas de 100% madeira e chapas com inclusão de 30%, 50% e 70 % de resíduo de poda e 12% de teor de resina. As partículas utilizadas apresentavam 11% de umidade e as condições de prensagem foram 4,5 MPa e 90°C. O estudo concluiu que a inclusão destes resíduos nas chapas provocou uma redução nas propriedades mecânicas, sendo que as chapas fabricadas com 100% *pinus elliotti* apresentaram os melhores resultados. Os autores recomendaram ajustes nos parâmetros de processo e tratamento nos resíduos de poda, antes de utilizá-lo na produção das chapas.

Campos (2005) avaliou chapas MDF de *Pinnus caribaea* e *Eucalyptus grandis* produzidos com resina poliuretana mono e bi-componente derivada de óleo de mamona em diferentes teores. De acordo com a autora, os painéis produzidos com 10-12% de resina apresentaram um desempenho físico-mecânico que atende as recomendações da Norma Europeia de Chapas (EMB/IS – 2:1995 - EURO MDF BOARD - Medium density fiberboard.), recomendado seu uso para aplicações externas. Com o uso de 8% de resina, as características físicas e mecânicas dos painéis MDF atendem as exigências mínimas do documento normativo, no entanto, os autores recomendam o uso desse produto em ambientes internos, sem contato com água.

Silva *et al.* (2012) desenvolveram chapas de partículas homogêneas com três tipos de madeiras diferentes e resina de mamona bi-componente, com densidade de 800 kg/m³ e partículas com teor de umidade de 5%. Como parâmetros de processo os autores utilizaram 15% de resina pu-mamona, 10 min. de prensagem, temperatura de 100°C e pressão de 5 MPa. Como conclusão, os autores afirmam que a quantidade de resina utilizada garantiu uma forte adesão das partículas

obtendo os seguintes resultados de adesão interna (Canelinha 0,85 MPa, Cambará 1,20 MPa e Cedrinho 1,00 MPa), todos acima do recomendado pela norma NBR 14810:2006 – Chapas de partículas de madeira (AI = 0,40 MPa). Devido aos bons resultados, os autores recomendam ajustes no processo de fabricação dos painéis visando à redução da quantidade de resina empregada, permitindo assim, redução de custos.

A eficiência do emprego de resinas mono e bi-componente derivadas do óleo de mamona, foram avaliadas por Silva *et al.* (2013) mediante ensaios de tração perpendicular em corpos de prova extraídos de chapas de MDF produzidos com *Pinnus Elliotti*, com espessura de 8 e 15 mm e 6% de resina. Os resultados de AI para painéis com espessura média de 8 mm foi de 1,4 MPa e com espessura de 15 mm, 0,8MPa. Estes resultados foram comparados com aqueles indicados pela Norma Europeia EMB/IS-2:1995, a qual recomendada 0,55 MPa, para chapas com espessuras variando de 6-19 mm.

Dias (2005) utilizou 10% de resina poliuretana à base de óleo de mamona para produzir chapas de partículas de madeira aglomeradas. Os resultados das propriedades mecânicas foram satisfatórios quando comparados com as recomendações da Norma NBR 14810:2002 – Chapas de partículas de madeira. O estudo obteve resultados de AI de 1,09 MPa, sendo que a norma recomenda mínimo de 0,35 MPa.

2.3 Parâmetros de Produção – chapas de partículas

As propriedades ou características das chapas de partículas são influenciadas por uma série de variáveis que incluem o tipo e origem da matéria prima, o processo de produção e os produtos incorporados.

2.3.1 Geometria das partículas

A geometria das partículas é determinada pela espessura, largura e comprimento, com estas informações é possível determinar a razão da esbeltes (relação entre o comprimento e espessura das partículas), esta razão influi nas propriedades mecânicas, dimensionais, de acabamento na face e borda e usinabilidade. A área superficial específica determina o consumo de resina e disponibilidade da mesma por unidade de área de partícula (BARROS FILHO, 2010).

Segundo a distribuição das partículas, a chapa pode ser classificada em : 1- homogêneas, que não apresentam diferenciação nas dimensões e distribuição das partículas; 2- chapas multicamadas que apresentam partículas com dimensões e distribuição variando nas camadas externas (menor dimensão) e miolo (maior dimensão); 3- chapas multicamadas graduadas que apresentam tamanho de partículas decrescente gradualmente do miolo até a superfície. A configuração mais utilizada é de três camadas, nas quais as partículas do miolo requerem teores de resina inferiores, quando comparadas com as camadas externas, que apresentam maior área superficial e proporcionam melhor acabamento da superfície e apresentam propriedades de resistência superiores (BOWYER, SHMULSKY, HAYGREEN, 2003; BRITO *et al.*, 2005; KELLY, 1977; MALLONEY, 1993).

2.3.2 Densidade dos painéis

A densidade da chapa é definida pela razão entre massa e volume. A densidade permite avaliar a compactação das partículas constituintes das chapas e é influenciada pelo processo de prensagem, pressão e material utilizado. Geralmente as propriedades mecânicas como adesão interna das partículas, resistência à flexão estática, entre outras melhoram com o aumento da densidade. A maioria dos trabalhos publicados indicam que a absorção de água e inchamento em espessura aumentaram, com o incremento da densidade, esse comportamento é justificado pelo aumento da quantidade e da área de contato das partículas (IWAKIRI *et. al.*, 2005; KELLY, 1977; MALLONEY, 1993).

2.3.3 Razão de compactação

A razão entre a densidade da chapa e a densidade aparente da madeira determina a razão de compactação (MALLONEY, 1993). Estudos desenvolvidos por esse autor indicam valores ideais entre 1,3 e 1,6 para chapas de partículas de madeira. Sabe-se que a razão de compactação define o grau de densificação do material e apresenta relação com as propriedades físicas e mecânicas dos painéis de partículas.

Quando a chapa apresenta baixa razão de compactação, há redução em sua resistência e baixa adesão entre as partículas, aumentando a absorção de água e o

inchamento de espessura, afetando sua estabilidade dimensional (HILLIG; HASELEIN; e SANTINI, 2002; TEODORO, 2008)

Fiorelli (2013) apresenta valores de razão de compactação variando de 0,6 a 0,8 para chapas de partículas produzidas com fibra da casca de coco e com bagaço de cana-de-açúcar e propriedades físico-mecânicas das chapas avaliadas, que atendem as recomendações normativas. Esses valores se diferem dos obtidos por Maloney (1993), pois, o autor realizou uma adaptação na metodologia e variações nos resultados da razão de compactação eram esperadas, uma vez que, não foi considerada a densidade aparente, mas sim, a densidade real das partículas.

2.3.4 Umidade das partículas

A umidade das partículas é considerada uma variável importante a ser considerada no processo de produção das chapas, pois, afeta o gradiente de densidade. Altos teores de umidade ajudam a reduzir o tempo de prensagem, uma vez que as partículas tornam-se flexíveis, mas o excesso de umidade pode retardar a cura da resina ou gerar acúmulo de vapor no miolo da chapa, gerando deformações no painel. Já, o baixo teor de umidade afeta a transferência de calor, reduzindo adesão entre as partículas. No processo industrial a umidade utilizada varia de entre 3 e 6%, a elevação desse valor esta relacionado com a aplicação do adesivo (ALBUQUERQUE, et. al. 2000; BARROS FILHO, 2009; BERTOLINI, 2011; CHAMMA, 2004; KELLY, 1977; MALLONEY, 1993; MATOS, 1988).

2.3.5 Adesivo

Um dos fatores mais significativos na composição das chapas é a quantidade de adesivo, pois essa variável apresenta estreita relação com as propriedades mecânicas e de estabilidade dimensional. A literatura indica que o módulo de ruptura e a adesão interna das partículas apresenta estreita relação com a quantidade e distribuição da resina (KELLY, 1977).

Economicamente o adesivo pode representar de 30 a 60% do custo de produção da chapa, por norma o teor de resina em chapas de partículas pode variar de 6 a 12% do peso seco das partículas (BARROS FILHO, 2009).

De acordo com a configuração da chapa, há variação na forma de aplicação do adesivo. Para as chapas homogêneas, o adesivo é adicionado em apenas uma

etapa, para as chapas multicamadas, o adesivo deve ser aplicado separadamente, segundo o tamanho das partículas, sendo maior quantidade nas camadas externas e menores quantidades nas camadas internas, dependendo da área superficial específica (BARROS FILHO, 2009).

A quantidade de resina empregada na produção de chapas de partículas depende da relação custo/benefício, propriedades mecânicas e tipo de resina dependem do uso (interno ou externo) (CHAMMA, 2004).

2.3.6 Processo de prensagem: pressão e temperatura

A prensagem a quente tem a função de garantir a espessura e densidade desejada para a chapa, além de obter uma maior área de contato entre as partículas, mediante a cura acelerada da resina, diminuindo o tempo de prensagem. O sistema comumente utilizado é de pratos aquecidos, que entram em contato com a superfície da chapa começando a evaporação da água na superfície e em direção às camadas internas. Para que o miolo alcance a temperatura adequada para a cura da resina é preciso que o gradiente de temperatura seja uniforme ao longo da espessura. Além disso, a temperatura deve permitir a evaporação do excesso de umidade presente no colchão de partículas, diminuir a tensão superficial e acelerar a cura do adesivo (BARROS FILHO, 2009; CHAMMA, 2004; IWAKIRI *et al.* 2005; MALONEY, 1993). Experiências de estudos relacionados com a produção de chapas de partículas com resíduos lignocelulósicos utilizando como adesivo a resina à base de óleo de mamona indicaram a viabilidade de parâmetros de produção utilizando pressão de 5 MPa, 100 °C, por 10 min. (CRAVO, 2013; FIORELLI *et al.* 2012; GARZON *et al.* 2013; SARTORI, 2012).

2.4 Chapas de partículas de madeira

A fabricação das chapas de partículas teve início na década de 40 devido à dificuldade para a obtenção de madeiras de boa qualidade para fabricar compensados, já que a Alemanha sofreu um isolamento durante a segunda guerra mundial (MENDES *et al.* 2010).

Silva *et al.* (2013) afirmam que atualmente o Brasil é um dos países mais avançados do mundo na produção de chapas de partículas e de fibras. Suas

fábricas detém uma produção anual estimada em 1,8 milhões de metros cúbicos, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira (ABIPA).

A chapa de partículas é um material em forma plana, que pode ser fabricado com pequenas lascas de madeira ou qualquer outro material lignocelulósico, unido por meio de adesivo, sob a ação de calor e pressão durante um período de tempo suficiente para que a cura da resina se efetue (FUENTES, 1989).

As chapas produzidas com partículas mais finas e longas são produtos com alta resistência à flexão e rigidez. Aquelas produzidas com multicamadas, com partículas finas na superfície e partículas mais longas no centro, proporcionam produtos com excelente aspecto visual e com melhores propriedades físico-mecânicas (MALONEY, 1993).

A chapa de partículas de média densidade (MDP) é uma evolução da chapa de madeira aglomerada em termos de processo produtivo e qualidade do produto final. As partículas são posicionadas de forma diferenciada, com as maiores dispostas na região central da chapa e as mais finas nas superfícies externas formando três camadas. As partículas são aglutinadas e compactadas entre si com resina sintética por meio da ação conjunta de pressão e calor (CAMPOS, 2005).

Segundo os fabricantes de MDP, as densidades comerciais das chapas variam entre 600 – 700 kg/m³ dependendo do procedimento de fabricação e do material lignocelulósico utilizado, a espessura pode variar de 12 a 30 mm dependendo das necessidades da aplicação (PAZETTO, 2009).

Paes *et al.* (2011) produziram e avaliaram chapas de partículas com resíduos do processamento da madeira de *Pinus elliottii*, coladas com resina poliuretana à base de mamona. Foram confeccionadas 12 chapas, subdivididas em quatro tratamentos em função da pressão (2,0; 3,0; 3,5; e 3,5 MPa) e temperatura (90; 90; 50; e 60 °C). Depois de prensadas e climatizadas, as chapas foram seccionadas em corpos de prova e avaliadas por meio de ensaios físico-mecânicos para determinação da densidade, inchamento e absorção de água (0-2h; 2-24h e 0-24h), módulo de ruptura e de elasticidade na flexão estática, adesão interna e arrancamento de parafuso. As chapas prensadas com pressão de 3,0 MPa e temperatura de 90°C e aquelas com pressão de 3,5 MPa e temperatura de 60°C, apresentaram os melhores resultados.

Iwakiri *et al.* (2005) estudou a possibilidade de fabricar chapas de alta densidade para uso semi-estrutural, utilizando partículas finas nas camadas externas. As

densidades nominais foram de 650 e 900 kg/m³, foi utilizado 8% de resina ureia-formaldeído e 8, 12 e 15 % de resina melanina-ureia-formaldeído, as condições de prensagem foram 140°C e 4 MPa durante 8 min. As conclusões deste estudo determinaram que a absorção de água e o inchamento em espessura diminuíram com o aumento da densidade e o teor de resina. Também concluíram que as propriedades mecânicas como MOR, MOE e AI foram influenciadas pelo aumento da densidade e não pelo aumento da resina. As chapas fabricadas com densidade 900 kg/m³ com 12% de resina melanina-ureia-formaldeído foram as mais adequadas para uso semi-estrutural.

Dias (2005) avaliou as propriedades de chapas aglomeradas em multicamada em proporção (25-50-25) utilizando três tipos de madeira (*Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophilla*, *Pinus elliottii*). As chapas foram produzidas com densidade de 750 kg/m³, espessura nominal de 15 mm e partículas das camadas externas de 4 mm e das camadas internas 6 mm. Foi aplicado 10% de resina poliuretana de mamona, os parâmetros de da prensagem foram 4 MPa a temperaturas de 60 e 90 °C por 10 min. . O autor concluiu que as propriedades mecânicas e estabilidade dimensional das chapas com resina de mamona apresentaram valores superiores quando comparadas com chapas fabricadas com uréia-formaldeído.

O trabalho desenvolvido por Sanches (2012) teve como objetivo avaliar a qualidade de chapas de partículas aglomeradas fabricadas com madeira de *Pinus taeda* (pinus), *Eucalyptus saligna* (eucalipto), *Mimosa scabrella* (bracatinga) e *Hovenia dulcis* (uva-do-japão) em diferentes proporções de misturas e em duas composições de chapa. As chapas foram produzidas nas proporções de 100% (pinus), 50-50%, 50-25-25% e 25-25-25-25% de cada espécie para as chapas homogêneas e nas proporções de 50-50% e 100% (pinus) para os painéis multicamadas. O adesivo usado foi à base de uréia-formaldeído e a massa específica nominal estabelecida foi de 650 kg/m³. As espécies que mais se destacaram quando analisada as propriedades mecânicas foram o pinus e a uva-do-Japão e quando analisada as propriedades físicas, o eucalipto e a uva-do-japão. Em relação à composição, as chapas multicamadas, em sua maioria, apresentaram propriedades superiores aos painéis homogêneos.

Nascimento *et al.* (2013) avaliou chapas de partículas homogêneas produzidas com espécies de madeira do nordeste de Brasil como Angico, Algobora e Jurema Preta, utilizando como adesivo fenol-formaldeído. As variáveis de processo foram:

temperatura de 140°C e pressão de 4,5 MPa por 3 minutos, seguido do alívio de pressão por um período de 30 segundos e posterior emprego da pressão de 4,5 MPa por 10 min. As chapas em estudo apresentaram propriedades físico-mecânicas equivalentes com chapas fabricadas industrialmente, além disso destacaram que as chapas com partículas de Jurema Preta apresentaram melhor desempenho.

Iwakiri *et al.* (2012) avaliaram a qualidade de chapas aglomeradas homogêneas e multicamadas produzidas com madeira de *Melia azedarach* e *Pinus taeda* com diferentes teores de resina. Foram produzidas chapas experimentais com densidade nominal de 750 kg/m³, utilizando resina uréia-formaldeído na proporção de 6% e 8% (sólido resinoso - base peso seco das partículas) na camada interna e de 8% e 10% nas camadas externas. As chapas foram prensadas com 4 MPa, temperatura de 160°C e tempo de prensagem de 8 min. As avaliações das propriedades físicas e mecânicas das chapas indicaram um grande potencial da espécie *Melia azedarach* para a produção de chapas aglomeradas. O aumento no teor de resina da camada externa melhorou as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura. Entretanto, as propriedades mecânicas não foram afetadas.

Bertolini *et al.* (2013) avaliaram a viabilidade de fabricar chapas particuladas de alta densidade utilizando resíduos de madeira de *Eucalypto sp.* tratado com CCA e CCB e utilizando como adesivo resina poliuretana à base de óleo de mamona. A pressão utilizada foi de 2,5 – 3 MPa, por 10 min. e temperatura de 60 a 90 °C. Para avaliar as chapas foram realizados ensaio de absorção de água, inchamento em espessura, flexão estática, tração perpendicular e arranchamento de parafuso. Os resultados obtidos foram superiores aos indicados pelas normas NBR 14810:2006 e ANSI A 208-1:1999. Como conclusão os autores indicaram que os resíduos de madeira utilizados são adequados para a produção de chapas de partículas homogêneas podendo ser utilizados em construção civil e indústria moveleira.

2.5 Chapas de partículas com resíduos lignocelulósicos

O volume de resíduos gerados pela agroindústria brasileira representa uma alternativa para a demanda de matéria-prima do setor de chapas aglomeradas, sendo possível identificar vários tipos de resíduos lignocelulósicos com potencial para esse uso: sabugo de milho, casca de arroz, casca de café, casca de amendoim,

caule de bananeira, casca de coco, caule de mandioca, casca de mamona, bagaço de cana, casca de aveia entre outros (MENDES *et al.*, 2009; OKINO *et al.*, 1997; ROWELL; HAN; ROWELL, 2000).

A princípio, as chapas de partículas aglomeradas podem ser fabricadas a partir de qualquer material lignocelulósico que lhes confira alta resistência mecânica e peso específico pré-estabelecido (OKINO *et al.*, 1997).

A produção de chapas de partículas lignocelulósicas de resíduos agroindustriais é uma solução que permite agregar valor a esse subproduto, possibilitando atender a crescente demanda da indústria de chapas de madeira, reduzindo custos de produção e tornando-as mais competitivas no cenário econômico (MENDES *et al.*, 2010).

Quanto às propriedades e qualidade das chapas, muitos são os fatores que contribuem para as características do produto final, dentre eles pode-se destacar: a densidade do material lignocelulósico, densidade das chapas, umidade das partículas, razão de compactação, ciclo de prensagem, temperatura, quantidade e tipo de adesivo (KELLY, 1977 e MALONEY, 1993).

Silva (2006) estudou a aplicação de fibras longas do bagaço de cana em painéis de partículas similares ao OSB. O uso de partículas longas permitiu aproveitar as propriedades mecânicas naturais dessas fibras. O trabalho concluiu pela viabilidade de fabricar painéis tipo OSB, ressaltando que o material produzido atende as recomendações do documento normativo EN-300/2002.

Barros filho (2009) desenvolveu, caracterizou e comparou chapas de partículas feitas com bagaço de cana-de-açúcar proveniente de usina e alambique e utilizando dois tipos de resinas a ureia-formaldeído e melanina-formaldeído. Os parâmetros de produção foram densidade nominal de 700 kg/m³, pressão de 4 MPa, temperatura de 160°C por 8 minutos. Nesse estudo os resultados de absorção de água, inchamento em espessura, MOR, MOE e adesão interna foram comparados entre as mesmas chapas e com as recomendações da norma CS 236-66. As chapas que apresentaram melhor desempenho, em geral, foram as de bagaço de cana-de-açúcar oriundos de plantas industriais, aglomerado com adesivo melanina-formaldeído.

Varanda (2012) realizou um estudo para avaliar a eficiência da inclusão de casca de aveia em proporções 15, 30 e 100% em chapas de partículas produzidas com *Eucalyptus grandis* e diferentes porcentagens de adesivo poliuretano de óleo de

mamona e uréia-formaldeído. Os resultados de MOR (17 a 27 MPa) para todos os tratamentos, com exceção dos envelhecidos, estiveram acima das recomendações da norma NBR 14810:2006. A melhor combinação de matérias-primas foi 10% casca de aveia, 90% de *Eucalyptus grandis* e 14% de adesivo.

Chamma (2004) desenvolveu chapas de partículas com finalidade arquitetônica (forros, divisórias, mobiliários) utilizando três tipos de resíduos (agroindustrial, industrial e doméstico) sem resina, obtendo um total de 18 tratamentos. As condições de prensagem foram 150°C, pressão de 1,52 MPa por 4 minutos. As densidades obtidas para estas chapas foram de 650 e 750 kg/m³. O estudo concluiu que a mistura entre embalagens plásticas e casca de arroz em proporções de 50/50 e 60/40 cumpriram com os requerimentos da norma ANSI 208-1(1993) como MOR, tração perpendicular, inchamento em espessura e densidade. Estas chapas foram recomendadas para uso em forros, divisórias, elementos decorativos e outros que exijam as mesmas propriedades mecânicas e físicas.

Brito *et al.* (2004) estudaram o efeito de combinar fibra de coco e madeira *Pinus Elliottii* em diferentes proporções (0, 10, 20, 30% de fibra de coco), utilizando como adesivo ureia-formaldeído em proporções de 6 e 8%. A densidade nominal foi de 700 kg/m³, pressão de 3 MPa, temperatura de 160 °C, por 10 min. O estudo destacou que estas inclusões de fibra de coco provocaram diferenças estatísticas significativas do MOR e da adesão interna, quando comparada com as chapas produzidas apenas com partículas de *Pinus*. Os autores atribuem a diminuição do inchamento em espessura ao incremento no teor de adesivo. Os resultados de MOR atenderam os requisitos mínimos estabelecidos pela norma CS236-66:1968.

Colli *et al.* (2010) estudaram as propriedades físico-mecânicas de chapas de partículas aglomeradas de baixa densidade (360 kg/m³) produzidos com partículas de madeira paricá, fibras da casca do coco verde e resina ureia formaldeído. Nesse estudo, os autores avaliaram diferentes níveis de fibra de coco (10, 20 e 30%) misturados com madeira paricá (0, 90, 80 e 70%). Os autores constataram aumento de MOR e MOE quando inserida fibra de coco verde à madeira, sendo a formulação 30% de fibra de coco verde e 70% de madeira a que apresentou melhor desempenho físico-mecânico, obtendo valores de MOR 4,46 MPa e MOE 255 MPa, comparados com as chapas produzidas somente com madeira (MOR 2,38 MPa e MOE 160 MPa).

A produção de chapas de partículas homogêneas de bagaço de cana-de-açúcar e resina bi-componente pu-mamona foram estudadas por Fiorelli *et al.* (2011). Os autores utilizaram 15% de resina, como parâmetros de processo temperatura de 100°C e pressão de 4 MPa. Foram obtidas chapas de 40 x 40 cm com densidade de 930 kg/m³. Os resultados desse trabalho indicam que as chapas podem ser empregadas para uso estrutural ou decorativo e que a resina pu-mamona é uma alternativa eficiente para substituir as resinas à base de formol, comercialmente utilizadas pela indústria de chapas.

Sartori (2012) avaliou o desempenho mecânico de chapas de partículas homogêneas produzidas com bagaço de cana-de-açúcar e resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona. Foram utilizadas partículas com 5 e 8 mm e produzidas chapas com densidades de 883 e 947 kg/m³. Como resultado o autor obteve, respectivamente, valores de MOR (21,6 e 22,6 MPa) e MOE (2571 e 2848 MPa), todos acima dos recomendados pelas normas NBR 14810:2006 e ANSI 208.1:1999.

Fiorelli *et al.* (2013) produziram e caracterizaram por meio de ensaios físico-mecânicos e microestruturais chapas de partículas homogêneas de bagaço de cana-de-açúcar e resina PU de mamona, com densidades 1000 kg/m³. Os autores indicam a viabilidade do processo de produção empregado e afirmam que as propriedades físico-mecânicas dos painéis produzidos atendem as recomendações dos documentos normativos NBR 14810:2006 e ANSI A 208.1:1999.

2.6 Propriedades físico mecânicas das chapas de partículas

Com base nas normas de chapas de partículas, a Tabela 1 apresenta os valores mínimos indicados pela norma NBR 14810:2006 - Chapas de partículas de madeira, CS236-66:1968 – Mat. Formed Wood Particleboard e ANSI A208.1-1999 – American National Standard Particleboard.

Tabela 1 – Propriedades físico-mecânicas de chapas de partículas

Propriedades	Unidade	ANSI A208.1-1999		NBR 14810:2006	CS236-66:1968	
		Chapa de baixa densidade	Chapa de média densidade	Chapa entre 14-20 mm de espessura	Chapa de baixa densidade	Chapa de média densidade
Inchamento 24horas	%	8	8	8	30	25-35
MOR	MPa	3	11	16	5,6-9,8	12,6-17,5
MOE		550	1725	---	1050-1750	2450-2800
AI		0,1	0,4	0,35	0,14-0,21	0,42-0,45
Arrancamento na superfície	N	400	1100	Não especificado	Não especificado	Não especificado
Arrancamento no topo		Não especificado	1000			

2.7 Conclusões da revisão bibliográfica

As fibras naturais representam nos dias atuais, uma matéria-prima abundante e de origem renovável, que pode ser aplicada em diversos seguimentos industriais, como, por exemplo, na indústria de produção de chapas de partículas.

A fibra da casca do coco é um resíduo agroindustrial gerado em grandes quantidades e possui propriedades físico-química-mecânicas que a classificam como um material com elevado potencial para produção de chapas de partículas.

O bagaço de cana-de-açúcar proveniente de plantas industriais é um resíduo gerado em grande escala nas regiões produtoras de açúcar e álcool brasileiras e possuem características físico-químicas-mecânicas que permitem sua aplicação em substituição à madeira para produção de chapas.

Os adesivos representam cerca de 50% do custo da produção das chapas de partículas. Industrialmente são utilizados os adesivos ureia-formaldeído o fenol-formaldeído, no entanto essas resinas liberam formol durante o processo de produção, sendo prejudicial à saúde humana e ao meio ambiente. Resinas poliuretanas naturais de origem vegetal, como as sintetizadas a partir do óleo da mamona apresentam características similares as resinas derivadas do petróleo. Sua composição bi-componente é um fator importante uma vez que a relação pólio e polímero interferem na velocidade de reação e nas características mecânicas finais.

As chapas de partículas podem ser fabricadas a partir de qualquer material lignocelulósico unido por um adesivo e são classificadas segundo a densidade

(baixa, media e alta) e a disposição e dimensão das partículas (homogêneas ou multicamadas).

Diversos estudos com resíduos lignocelulósicos já foram conduzidos com ênfase na produção de chapas de partículas homogêneas. Esse trabalho difere dos existentes por avaliar por meio de ensaios termo-físico-mecânicos, microestruturais e de durabilidade a eficiência de chapas de partículas multicamadas produzidas com bagaço de cana-de-açúcar (camada externa), fibra da casca do coco verde (camada interna) e resina PU-mamona.

Durante a realização dessa pesquisa houve atualizações dos documentos normativos NBR 14810:2006 - Chapas de partículas de madeira, para nova versão 14810:2013 e NBR 14833-1:2008 - Revestimentos de pisos laminados melamínicos de alta resistência, para a nova versão NBR 14833-1:2014. No entanto, o início desse trabalho data de 2013 e as metodologias e comparação dos resultados obtidos foram baseadas nas normas de 2006 e 2008.

3. METODOLOGIA

Este item apresenta a descrição dos materiais e métodos utilizados no desenvolvimento dessa pesquisa.

3.1 Material e obtenção dos corpos de prova

Foram produzidos em laboratório chapas de partículas multicamadas com fibra da casca do coco verde e bagaço de cana-de-açúcar e chapas homogêneas de fibra da casca de coco verde, com resina PU-mamona (chapas de baixa densidade - 500 kg/m³ e de média densidade - 700 kg/m³). As chapas foram fabricadas em prensa termo-hidráulica com capacidade de 100 t, seguindo as recomendações detalhadas por Maloney (1996). A Tabela 2 apresenta os parâmetros de produção utilizados e a Tabela 3 o plano experimental.

Tabela 2 - Parâmetros de produção de chapas de partículas multicamada e homogêneas

Parâmetros de produção	
Dimensão das partículas de bagaço de cana – camada externa	0,3 – 1,0 mm
Dimensão das partículas de fibra da casca do coco – camada interna e chapas homogêneas	1,0 – 4,0 mm
Densidade das chapas	500 e 700 kg/m ³
Espessura da chapa	15 mm
Quantidade de resina para camadas externas	15% da massa de partículas
Quantidade de resina para camada interna e chapas homogêneas	12% da massa de partículas
Pressão	5 MPa
Temperatura	100°C
Tempo de prensagem	10 min.

Tabela 3 - Plano experimental

Tratamento	Configuração	Densidade (kg/m ³)	Teor de adesivo
T1	Homogênea	500	12%
T2	Multicamada	500	Camada interna 12% Camada externa 15%
T3	Homogênea	700	12%
T4	Multicamada	700	Camada interna 12% Camada externa 15%

O processo de produção foi iniciado com a coleta da fibra da casca do coco verde e do bagaço de cana-de-açúcar, oriundos do processo industrial. Os resíduos foram secos até um teor de umidade de 8 a 10%, posteriormente processados em moinho de facas modelo DPC-1, fabricante Cremaso. O material processado foi introduzido em um agitador da marca Proc-test e separado nas peneiras de abertura de 0,3 – 1,0 mm (camadas externas de bagaço de cana-de-açúcar) e 1,0 – 4,0 mm (camada interna fibra da casca do coco verde). Foram utilizadas 80% da massa das partículas na camada interna e 20% nas camadas externas (proporção de massa 10:80:10). Foram produzidas chapas de baixa e média densidade (500 e 700 kg/m³).

Para a fabricação das chapas de partículas foi utilizado 12% de adesivo PU-mamona na camada interna e chapas homogêneas e 15% na camada externa, na proporção de 1:1 (póliol Lecopol E0921+ isocianato Lecopol E0911), fornecido pela Indústria Plural Química Ltda. O adesivo PU-mamona foi misturado nas partículas de coco por meio de aspersão e nas partículas de bagaço-de-cana foi homogeneizado em um misturador planetário modelo LA20, fabricante Amadio. Posteriormente o material (partícula + resina) foi inserido em um molde formador de colchão e transferido para a prensa termo-hidráulica onde foi controlada a pressão em 5 MPa, temperatura 100°C e tempo de prensagem 10 min. (Figura 1). As chapas obtidas tinham dimensões de 400 mm x 400 mm e espessura de 15 mm (Figura 2).

Figura 1 Etapas de produção da chapa de partícula multicamada de bagaço de cana e fibra da casca do coco verde. a) Moinho de facas. b) Peneira de classificação de partícula. c) Mistura por aspersão e Misturador Planetário. d) Colchão formador de partícula. e) Prensa termo-hidráulica f) Chapas de partícula Multicamada

Figura 2 Vista superficial e lateral da chapa de partícula multicamada

Posteriormente, os corpos de prova foram acondicionados em sala climatizada com condições de umidade e temperatura controladas (22 ± 2 °C e $65 \pm 5\%$ de UR) até obtenção de massa constante. A Figura 3 apresenta o esquema de corte das chapas de partículas para retirada dos corpos de prova para os ensaios de absorção de água (AA), inchamento em espessura (IE), perfil de densidade (PD), flexão estática (FE), flexão dinâmica (FD), tração perpendicular (TP), arrancamento de parafuso na superfície (APS) e no topo (APT), dureza janka (DJ), condutividade térmica (CT), envelhecimento natural (EN) e envelhecimento acelerado (EA).

Figura 3 Representação esquemática da retirada dos corpos de prova da chapa de partícula

3.2 Métodos de ensaio

3.2.1 Caracterização das fibras

A caracterização das fibras é uma etapa importante desse trabalho, pois são materiais que variam pela sua natureza orgânica, sendo necessário conhecer algumas propriedades para determinar se o material selecionado é apto para produção de chapas de partículas.

3.2.1.1 Densidade real e composição química das fibras

Para a determinação da densidade real das fibras da casca do coco verde e de bagaço de cana-de-açúcar foi utilizado um multipicnômetro de gás hélio, marca Quantachrome Ultrapycnometer 100 (Figura 4).

Figura 4 Multipicnômetro gás hélio

A partir dos resultados obtidos, foi calculado o volume real da amostra pela equação (1) e posteriormente foi calculada a densidade pela equação (2).

$$V_p = V_c - V_r \left[\left(\frac{P_1}{P_2} \right) - 1 \right] \quad (1)$$

Onde:

V_p - volume da amostra (cm^3);

V_c - volume do porta amostra (cm^3);

V_r - volume da referência (cm^3);

P1 - pressão aferida após pressurização do volume de referência (PSI);

P2 - pressão aferida após a inclusão de Vc (PSI);

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (2)$$

Onde:

ρ - densidade (g/cm³);

m - massa da amostra (g)

V - volume da amostra (cm³)

Para determinar das frações de Celulose, Hemicelulose e Lignina da fibra de coco verde e bagaço de cana-de-açúcar, as amostras foram analisadas no laboratório de nutrição da FZEA/USP, por meio da metodologia de Van Soest (1991). Essa metodologia consiste em separar o conteúdo celular mediante o aquecimento da mostra em detergente neutro, posteriormente a solução é filtrada para separar a parede celular e o conteúdo celular solúvel no detergente, em seguida a fibra é aquecida em detergente ácido com propósito de solubilizar a celulose, hemicelulose e lignina.

3.2.2 Caracterização física das chapas de partículas

4.2.2.1 Densidade e perfil de densidade

Para a caracterização física das chapas de partículas foi realizado o ensaio de densidade, seguindo as recomendações da norma NBR 14810-3:2006 e para determinação do perfil de densidade das chapas, utilizando a técnica de densitometria de raios x.

Para o ensaio de perfil de densidade foram confeccionados corpos de prova nas dimensões 50 x 50 mm para cada tratamento e os valores de densidades determinados a cada 20 µm, ao longo da espessura da amostra. Foi utilizado um densitômetro de raios X marca GreCon modelo DA-X o qual conta com voltagem de 33 Kv, corrente entre 0-1 mA, ângulo de radiação de 11°, alienação inicial e final dos feixes de 100 e de 50 µm, do Laboratório de Anatomia, Identificação e Densitometria de Raios X em Madeira – ESALQ/USP, sendo possível determinar a densidade

média, densidade máxima das faces superior e inferior e densidade mínima (Figura 5).

Figura 5 Obtenção da densidade e perfil de densidade. a) medição dos corpos de prova. b) pesagem dos corpos de prova. c) posicionamento dos corpos de prova no densitometro GreCon modelo DA-X. d) perfil e valores e densidade das chapas

4.2.2.2 Inchamento em espessura e absorção de água

Os ensaios de absorção de água (AA) e inchamento em espessura (IE) após 2 h e 24 h de imersão e a determinação da taxa de não retorno em espessura (TNRE) e de expansão linear, seguiram as recomendações da norma NBR 14810-3:2006 – Chapas de partículas de madeira. Foram utilizados 10 corpos de prova de dimensões 25 x 25 mm de cada tratamento. A espessura foi medida em três pontos diferentes com paquímetro e a massa com balança analítica. As medidas foram tomadas antes e após 2 e 24 h de imersão em água a temperatura ambiente. Os valores de AA e IE são expressos em porcentagem.

Para o cálculo do IE foi utilizada a equação (3):

$$IE = \frac{E1-E0}{E0} * 100 \quad (3)$$

Onde:

I - inchamento em espessura do corpo de prova em porcentagem;

E1 - espessura do corpo de prova após período de imersão (mm);

E0 - espessura do corpo de prova antes da imersão (mm).

Para o cálculo AA foi utilizada a equação (4):

$$AA = \frac{M1-M0}{M0} * 100 \quad (4)$$

Onde:

AA - absorção de água do corpo de prova, em porcentagem;

M1 - massa do corpo de prova após período de imersão (g);

M0 - massa do corpo de prova antes da imersão (g).

3.2.3 Caracterização mecânica das chapas de partículas

Para a caracterização mecânica das chapas foram realizados ensaios de flexão estática, flexão dinâmica, tração perpendicular, arrancamento de parafuso, dureza janka e rugosidade.

Estes ensaios foram realizados em máquina universal de ensaio da marca EMIC, com capacidade de 30 t e em máquina universal de ensaio servo-hidráulica da marca MTS, com capacidade de 1 t, ambas dotadas de sistema computadorizado para controle das variáveis de ensaio e coleta dos dados.

3.2.3.1 Flexão estática

Esse ensaio foi realizado de acordo com a metodologia estabelecida pela norma NBR 14810-3: 2006. Foram utilizados 10 corpos de prova nas dimensões de 250 x 50 mm de cada tratamento, posicionados sobre dois apoios da máquina universal de ensaios, sendo o comprimento do vão 10 vezes a dimensão da espessura, com comprimento mínimo de 200 mm (Figura 6).

Figura 6 Posicionamento do corpo de prova para o ensaio de flexão estática (EMIC)

Foram determinados valores de Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de elasticidade (MOE) pelas equações 5 e 6.

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

Onde:

P - carga de ruptura (N);

D - distância entre apoios do aparelho (mm);

B - largura do corpo de prova (mm);

E - espessura média tomada em três pontos do corpo de prova (mm).

$$MOE = \frac{P1 * D^3}{d * 4 * B * E^3} \quad (6)$$

Onde:

P1 - carga no limite proporcional (N);

D - distância entre apoios do aparelho (mm);

d - deflexão correspondente à carga P1 (N);

B - largura do corpo de prova (mm);

E - espessura média referente a três pontos do corpo de prova (mm).

3.2.3.2 Flexão dinâmica

O ensaio de flexão dinâmica foi realizado de acordo com a metodologia adaptada de Del Menezzi *et al.* (2011). Foram utilizados corpos de prova nas dimensões de 250 x 50 mm. A Figura 7 apresenta o corpo de prova sendo ensaiado na máquina universal de ensaio servo-hidráulica MTS.

Figura 7 Posicionamento do corpo de prova para o ensaio de flexão dinâmica

Foram aplicados 40.000 ciclos de carregamento. O ensaio teve duração de 24,4 h e a carga aplicada foi de $T_1=30$ N, $T_2=68$ N, $T_3=95$ N e $T_4=215$ N, equivalente a 25% dos valores da carga de ruptura obtida no ensaio de flexão estática, sendo a duração do ciclo de 2,2 segundos (2 segundos de duração da carga e 0,2 segundo de tempo de aplicação e retorno do atuador). A frequência foi de 0,45 Hz. A Figura 8 apresenta configuração do equipamento para o ensaio, no primeiro segmento o atuador fornece força variando de zero a 215 N. No segundo segmento o atuador mantém a força constante e no terceiro segmento o atuador volta para a zero, finalizando o ciclo.

Figura 8 Forma e duração dos ciclos de carregamento

Posteriormente a este ensaio, os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de flexão estática, para a determinação do MOR e MOE, mediante a metodologia indicada no item 4.2.3.1.

3.2.3.3 Tração perpendicular

O ensaio de tração perpendicular seguiu as recomendações da norma NBR 14810-3:2006. Foram confeccionados 10 corpos de prova nas dimensões 50 x 50 mm, posicionados no dispositivo para ensaio de tração perpendicular e submetidos a esforços de tração a uma velocidade de 4 mm/min. (Figura 9).

Figura 9 Posicionamento do corpo de prova para o ensaio de tração perpendicular

Após a realização do ensaio, foi determinado o valor da adesão interna (AI) das partículas (equação 7), visando identificar a eficiência e quantidade do adesivo.

$$AI = \frac{P}{S} \quad (7)$$

Onde:

AI - Resistência à tração perpendicular (MPa);

P - Carga de ruptura (N);

S - Área da superfície do CP (mm²).

3.2.3.4 Arrancamento de parafuso na superfície e no topo

O ensaio de arrancamento de parafuso foi realizado seguindo as recomendações da norma NBR 14810-3:2006. Para esse ensaio foram confeccionados 10 corpos de prova por tratamento, nas dimensões 150 x 75 mm (superfície) e 10 corpos de prova nas dimensões 115 x 65 mm (topo). Um parafuso foi fixado em um orifício com profundidade de 17 mm, ou passante para chapas com espessuras inferiores, centrado na superfície / topo do corpo de prova (Figura 10).

Figura 10 Fixação de parafuso. a) Superfície. b) Topo

Posteriormente foi realizado ensaio de tração em máquina universal de ensaios, a uma velocidade de 15 mm/min. e determinado o valor da força de arrancamento do parafuso (Figura 11).

Figura 11 Dispositivo de ensaio de tração perpendicular. a) Arracamento na superfície. b) Arranchamento no topo

3.2.3.5 Dureza Janka

O ensaio de dureza Janka seguiu as recomendações da norma NBR 14810-3:2006. Foram confeccionados 10 corpos de prova nas dimensões 150 x 75 mm. Os corpos de prova foram posicionados em máquina universal de ensaio e avaliados até o limite de penetração da metade do diâmetro de 11,3 mm de uma esfera (Figura 12).

Figura 12 Ensaio de dureza janka. a) Mecanismo de esfera. b) Posicionamento do corpo de prova. c) Penetração total da esfera

A dureza janka (Fh) foi determinada por meio da equação (8).

$$Fh = \frac{F_{\max.}}{A \text{ seção diametral}} \quad (8)$$

Onde:

Fh - Dureza Janka;

$F_{\max}$ - força máxima aplica ao corpo de prova necessária para penetração de uma semiesfera de seção diametral com 1 cm² de área na profundidade igual ao seu raio (N);

A - área da seção diametral da esfera (1 cm²).

3.2.3.6 Ensaios de abrasão

Para o ensaio de abrasão foram selecionados aleatoriamente, três corpos-de-prova de cada tratamento com dimensões de 100 mm x 100 mm, obedecendo aos preceitos da norma NBR 14833-1:2008 - Revestimentos de pisos laminados melamínicos de alta resistência. A Figura 13 apresenta o procedimento para o ensaio e abrasão.

Figura 13 Procedimento do ensaio de abrasão. a) Medição da espessura do corpo de prova inicial e após 300 ciclos. b) Pesagem do corpo de prova inicial e após 300 ciclos. c) Posicionamento do corpo de prova no equipamento de abrasão

Os corpos-de-prova foram pesados e medidos com micrômetro a cada 300 ciclos, totalizando 33 leituras individuais. Nesse ensaio foram utilizados micrômetro, balança de precisão 0,01g, aparelho Taber Rotary Platform Abrasion Tester Model 5135/5155, Taber Abraser Vacuum Unit.

3.2.4 Caracterização microestrutural

3.2.4.1 Análise de microscopia eletrônica de varredura

Para a análise de microscopia eletrônica de varredura das fibras de bagaço de cana-de-açúcar, fibra da casca do coco verde e das chapas de partículas foi utilizado um Microscópio Eletrônico de Varredura da marca TM 3000 TABLETOP MICROSCOPE HITACHI, instalado no Laboratório de Tecnologia de Alimentos – FZEA/USP. Esse equipamento utiliza detector de elétrons retroespalhados e as magnificações utilizadas foram de 50x, 200x, dimensões de amostras de 25 x 25 mm, sem tratamento ou embutimento.

3.2.5 Análise da durabilidade das chapas de partículas

3.2.5.1 Envelhecimento natural e acelerado

Para o ensaio de envelhecimento natural foram avaliados 20 corpos de prova, referentes aos tratamentos (T2 e T4 - chapas multicamadas) nas dimensões 250 x 50 mm. Os corpos de prova foram revestidos apenas nas bordas com uma pasta acrílica e coberto com um produto selante (Figura 14), seguindo metodologia estabelecida por Garzon *et al.* (2013). A superfície da proteção de borda foi utilizada com o fim específico de minimizar a ação dos agentes de degradação (água, umidade e temperatura) nessa área, que representa 36% da superfície do corpo de prova.

Figura 14 Revestimento das bordas com pasta acrílica e selante

O ensaio de envelhecimento natural foi realizado no campo de envelhecimento natural da FZEA-USP, utilizando uma mesa inclinada a 30° voltada para o norte magnético (Figura 15). Os corpos foram expostos ao tempo por seis meses e os dados climatológicos foram monitorados diariamente, seguindo as recomendações da norma ASTM D 1435:2005 – STANDARD PRACTICE FOR OUTDOOR WEATHERING OF PLASTICS. Posteriormente foram realizados ensaios mecânicos de flexão estática para determinação do MOR e MOE.

Figura 15 Posicionamento dos corpos de prova no campo experimental de envelhecimento natural

3.2.5.2 Envelhecimento acelerado

Para o ensaio de envelhecimento acelerado foram avaliados 20 corpos de prova nas dimensões 350 x 50 mm, revestidos nas bordas com uma pasta acrílica e coberto com um vedante (Figura 14).

O ensaio de envelhecimento acelerado foi uma adaptação da norma APA – Standard Accelerating Tests com objetivo de simular as condições de exposição desses painéis em ambientes internos, com alto teor de umidade e temperatura. As chapas foram inseridas em câmara de envelhecimento acelerado UV, modelo EQUV – EQUILAN, em submetidas a 8 ciclos de 12 h (8 h de radiação UVB com 0,49 de irradiância a 60°C e 4 h de condensação a 50°C) (Figura 16). Posteriormente, foram realizados os ensaios mecânicos de flexão estática para determinação do MOR e MOE.

Figura 16 Posicionamento dos corpos de prova na câmara de envelhecimento acelerado

3.2.6 Ensaio condutividade térmica

O ensaio de condutividade térmica foi realizado seguindo as recomendações da norma ASTM E1530-11 - Evaluating the Resistance to Thermal Transmission of Materials by the Guarded Heat Flow Meter Technique. Para esse ensaio foi utilizado o equipamento Thermal Conductivity Tester DTC-300 Marca Discovery que opera com medidores de fluxo de calor e em estado estacionário com fluxo de calor descendente (Figura 17).

Figura 17 Thermal Conductivity Tester DTC-300 Marca Discovery

O corpo de prova extraído das chapas de partículas (multicamadas e homogênea) foi impregnado com um creme térmico para diminuir a resistência térmica da superfície entre o corpo de prova e os pratos. A pressão de compressão do corpo entre os pratos foi de 0,28 MPa, para garantir o fluxo de calor a diferença de temperatura foi de 30°C entre o pratos onde o prato superior teve um temperatura de 45°C e o prato inferior 15°C. Foram utilizados 10 corpos de prova com diâmetro de 50 mm para cada tratamento (Figura 18).

(a)

(b)

Figura 18 Ensaio de condutividade térmica. a) Corpo de prova com creme térmico.
b) Posicionamento do corpo de prova entre os pratos

3.2.7 Análise estatística

Os resultados de propriedades físico-mecânicas (sem envelhecimento, envelhecimento natural e envelhecimento acelerado) dos corpos de prova extraídos das chapas de partículas lignocelulósicas homogêneas e multicamadas foram

comparados por meio da estatística inferencial – análise da variância a 5% de significância, com posterior teste de média de Tukey, também a 5% de significância.

Essa análise foi realizada visando avaliar o efeito da configuração das camadas e do envelhecimento (natural e acelerado) nas chapas de partículas lignocelulósicas de resíduos agroindustriais, com objetivo de nortear a discussão dos resultados e conclusões do trabalho. Para analisar a diferença entre as propriedades dos corpos de prova de cada tratamento foi utilizado o modelo de análise proposto por Fonseca e Martins (1996) onde o coeficiente de variação (CV) menor 15%, indica homogeneidade nas amostras, CV entre 15 e 35 %, indica valores de média homogeneidade e CV maior que 35%, indica amostras heterogêneas. A Tabela 4 apresenta como foram analisados estatisticamente os tratamentos para cada propriedade

Tabela 4 - Estatística inferencial entre tratamento para cada propriedade.

Propriedade	Tratamentos comparados
Densidade	T1 x T2 x T3 x T4
IE e AA	T1 x T2 - T3 x T4
MOR e MOE	T1 x T2 - T3 x T4
Fadiga (MOR e MOR)	T1 antes x T1 depois T2 antes x T2 depois T3 antes x T3 depois T4 antes x T4 depois
Adesão interna	T1 x T2 - T3 x T4
Arranchamento na superfície e topo	T1 x T2 - T3 x T4
Dureza Janka	T1 x T2 - T3 x T4
Resistência à abrasão	T1 x T2 - T3 x T4
(MOR e MOE) Sem envelhecimento (SE), Envelhecimento acelerado (EA) , Envelhecimento natural (EN)	T1 SE x T1 EA x T1 EN T2 SE x T2 EA x T2 EN T3 SE x T3 EA x T3 EN T4 SE x T4 EA x T4 EN
Condutividade térmica	T1 x T2 - T3 x T4

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esse capítulo apresenta os resultados da caracterização físico-química-microestrutural das fibras de coco e bagaço de cana-de-açúcar e da caracterização físico-mecânica-microestrutural e de durabilidade de chapas de partículas (homogêneas e multicamadas) de fibra de coco e bagaço de cana-de-açúcar aglomeradas com resina PU-mamona. São apresentados valores experimentais médios e valores mínimos recomendados pelos documentos normativos NBR 14810:2006, CS236-66:1968, ANSI A208.1-1999, devido a semelhança das chapas produzidas com as de partículas de madeira.

4.1 Densidade e composição química das fibras

A Tabela 5 apresenta valores de densidade real e de teores de Celulose, Hemicelulose e Lignina das fibras de coco verde e bagaço de cana-de-açúcar.

Tabela 5 - Valores de densidade real e teor de Celulose, Hemicelulose e Lignina das fibras de coco e bagaço de cana

Matéria prima	Densidade Real (kg/m ³)	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)
Fibra de coco	1420 a	53,71	13,04	30,08
Bagaço de cana	1406 a	52,24	26,92	13,32

Os resultados de densidade real das fibras apresentaram valor médio similar. No estudo de Fiorelli *et al.* (2014), os autores determinaram valores de 1300 kg/m³ para a fibra de coco e 1400 kg/m³ para bagaço de cana. Sartori (2012) determinou que densidade do bagaço de cana foi 1410 kg/m³ e valores próximos para a fibra de coco foram encontrados por Fargury (2005) e Pereira (2012) onde a densidade foi de 1305 kg/m³ e 1400 kg/m³, respectivamente. A densidade dessas fibras é superior a da madeira *Pinus spp.*, que varia de 800 a 900 kg/m³ (Fiorelli *et al.*, 2014 e Bertolini, 2011). Sendo assim, as fibras de coco e bagaço possuem uma densidade maior que a da madeira de pinus utilizada pela indústria de chapas de partículas. Segundo Marra (1992) o uso de fibras de baixa densidade em chapas de alta densidade produz um maior consumo de resina por unidade de volume.

Dos resultados da composição química predomina a celulose para ambas as fibras, a fibra de coco tem maior conteúdo de lignina em comparação com o bagaço de cana, esse com maior teor de hemicelulose. Na Tabela 6 são apresentados alguns valores encontrados na literatura, nota-se que a composição química das fibras naturais pode variar devido à planta da qual é extraída a fibra, idade da planta, processo extração da fibra, local de produção etc, mas as proporções dos constituintes químicos são constantes.

Tabela 6 - Valores da composição química das fibras de coco e bagaço de cana

Matéria prima	% Celulose	% Hemicelulose	% Lignina	Referência
Fibra de coco	49,9	11,7	33,8	Motta, 2007
	Sem analise	Sem analise	35,72	Rowell, 2000
	36,43	15-25	20-45	Passos, 2005
	56,69	16,64	25,11	Fiorelli, 2014
Bagaço de cana-de-açúcar	44,9	31	23,8	Motta, 2007
	32-48	Sem analise	19-24	Rowell, 2000
	32-48	19-24	23,32	Passos, 2005
	50,47	15,1	27,29	Fiorelli, 2014

Os valores obtidos demonstram que o conteúdo de celulose faz das fibras uma opção adequada para produção de chapas de partículas devido à similaridade das fibras com a madeira.

4.2 Caracterização física das chapas de partículas

4.2.1 Densidade da chapa e perfil de densidade

A Tabela 7 apresenta os valores médios de densidade das chapas de partículas e a análise estatística inferencial indica que não houve diferença significativa ($p > 0,05$) dessa propriedade para as chapas de partículas homogêneas e multicamadas (T1 – T2 e T3 – T4), os coeficientes de variação para cada tratamento estiveram abaixo dos 15%, o que indica uma baixa dispersão dos valores obtidos.

Os tratamentos T1 e T2 são classificados como de baixa densidade e os tratamentos T3 e T4 como de média densidade, segundo a classificação da norma ANSI 208-1:1999 American National Standard Particleboard (chapas de baixa densidade apresentam densidades abaixo de 640 kg/m^3 e chapas de média densidade variação de 640 a 800 kg/m^3).

Tabela 7 - Valores médios de densidade de chapas de partículas homogêneas e multicamadas (T1, T2, T3 e T4)

Tratamento	Densidade (kg/m ³)	Coefficiente de variação (%)
T1	518,43 (a)	9,6
T2	529,71 (a)	5,36
T3	667,71 (b)	4,81
T4	692,29 (b)	3,72

*letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$)

Como os tratamentos T1 e T2 apresentaram valores de densidade diferentes estatisticamente ($p < 0,05$) dos tratamentos T3 e T4, as propriedades físico-mecânicas foram analisadas separadamente para estes dois grupos, foram cruzados os dados T1xT2 e T3xT4. As propriedades mecânicas e físicas são altamente influenciadas pela densidade, sendo este, um dos parâmetros que deve ser considerado no processo de produção de chapas de partículas (SALDANHA, 2004).

A Figura 19 apresenta deformações significativas causadas por defeitos no processo (aquecimento ou pressão desigual nas superfícies, baixas pressões, baixa umidade no colchão, baixa ou alta velocidade de prensagem) (SICOPLAN, 1996).

Os resultados obtidos pela avaliação por densitometria de raios x são perfis típicos de chapas homogêneas e multicamadas (Figura 20, Figura 21, Figura 22 e Figura 23). Observa-se que as chapas em estudo apresentaram perfis de densidade adequados ao tipo de chapa. Os tratamentos T1 e T3 apresentaram um perfil de densidade típico de chapas homogêneas, ou seja, a densidade não tem variações ao longo da espessura da chapa. Já, os tratamentos T2 e T4, apresentaram um perfil de densidade para chapas multicamadas, sendo possível observar que nos dois primeiros milímetros, de ambas as faces, existem picos de densidade relacionados com maior distribuição da pressão nessas regiões, menor granulometria das partículas, melhor aglomeração e maior teor de resina (15%).

Figura 19 Perfis de densidade por defeitos no processo. A) aquecimento ou pressão desigual nas superfícies. b) baixas pressões durante a prensagem ou baixa humidade do colchão. c) baixa velocidade de prensagem. d) alta velocidade de prensagem

Figura 20 Perfil de densidade do tratamento T1

Figura 21 Perfil de densidade do tratamento T2

Figura 22 Perfil de densidade do tratamento T3

Figura 23 Perfil de densidade do tratamento T4

A Tabela 8 apresenta os valores médios da densidade média máxima, mínima, e das faces para os tratamentos T2 e T4. Os valores de densidade média máxima e mínima fornecem informação da distribuição de fibras e de resina ao longo da espessura da chapa o que pode significar: 1- altos valores representam aglomerações de resina; 2- baixos valores indicam a presença de espaços ou vazios, o que pode influenciar as propriedades físicas e mecânicas da chapa. Melo *et al.* (2009) atribuíram que as variações de densidade ocorrem durante a manufatura dos compósitos e tem como principal causa variações na massa devido à distribuição das partículas no colchão. Nas chapas de partículas em estudo, observa-se que a densidade máxima e mínima não variou significativamente em relação à média, indicando uma confiabilidade nos parâmetros de processo adotados.

Tabela 8 - Valores de densidade média máxima, mínima, face superior e inferior

Tratamento	Densidade média máxima	Densidade média mínima	Densidade da face superior	Densidade da face inferior
T1	534	497	Não aplica	
T2	557	502	628	604
T3	686	645	Não aplica	
T4	716	630	840	825

Os valores de densidade das faces dos tratamentos T2 e T4 indicam que a configuração multicamada das chapas permitiu elevar a densidade das camadas externas. Para o tratamento T2 o aumento da densidade das camadas externas foi de 10% e para o tratamento T4 o incremento foi de 20%, em relação à densidade média.

4.2.2 Inchamento em espessura e absorção de água

A Tabela 9 apresenta valores médios de inchamento em espessura (IE), coeficiente de variação e resultados da análise estatística inferencial.

Tabela 9 - Valores médios de IE - 2 e 24 h - T1, T2, T3 e T4

Tratamento	Inchamento espessura 2 horas	Coeficiente de variação (%)	Inchamento espessura 24 horas	Coeficiente de variação (%)
T1	11,88 (a)	15,82	27,65 (a)	16,66
T2	5,92 (b)	6,39	13,83 (b)	16,42
T3	6,77 (c)	11,72	19,34 (c)	25,60
T4	8,04 (c)	14,94	23,08 (c)	22,07

*letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$)

Os valores obtidos para IE 2h e 24h indicaram que os tratamentos de T1 e T2 foram diferentes entre si ($p < 0,05$). Esse resultado indica que para chapas de baixa densidade, o efeito da multicamada reflete na redução do IE (2 e 24h), contribuindo com a melhora do desempenho físico. Para os tratamentos T3 e T4 não foi observada diferença estatística significativa ($p > 0,05$), esse comportamento tem relação com a maior quantidade de partículas e menor porosidade. No entanto, os coeficientes de variação para IE-24h foram superiores aos obtidos para IE 2h. Esse resultado tem relação com alguns corpos que apresentaram inchamento acima do padrão (Figura 24). Essas variações do inchamento podem ser explicadas por alguns aspectos que influenciam as propriedades físicas, como por exemplo, a liberação de tensões geradas durante a prensagem, a distribuição da resina e a densidade das chapas (MELO, R.R.; DEL MENEZZI, C.H., 2010).

Figura 24 Corpos de prova com diferentes inchamentos em espessura após imersão em água por 24 h

Os valores obtidos para IE em 24 h cumpriram com os requerimentos da norma CS 236-66:1968 onde os valores para chapas de baixa e média densidade são 30% e 25-35 %, respectivamente.

Na Tabela 10 são apresentados os valores médios de absorção de água (AA), coeficiente de variação e resultados da análise estatística inferencial.

Tabela 10 - Valores médios de AA - 2 e 24 h – T1, T2, T3 e T4

Tratamento	Absorção de água 2 horas	Coeficiente de variação (%)	Absorção de água 24 horas	Coeficiente de variação (%)
T1	26,21 (a)	29,71	74,28 (a)	17,13
T2	17,97 (b)	19,17	40,22 (b)	13,6
T3	14,61 (c)	15,72	50,67 (c)	13
T4	17,38 (c)	20,73	54,56 (c)	13,99

*letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$)

Pela Tabela 10 foi possível identificar que painéis com maior densidade (T3 e T4) apresentaram valores de AA 2h e 24 h que não diferem estatisticamente entre si ($p > 0,05$). Esse comportamento tem relação com a maior quantidade de partículas e menor porosidade. Já, para os painéis T1 e T2, os valores de AA 2h e 24 h apresentaram diferença estatística significativa ($p < 0,05$), indicando que o uso de bagaço de cana de açúcar nas camadas externas contribuiu com a densificação da chapa e refletiu em menores valores de AA. Os coeficientes de variação apresentam uma redução de 2 para 24 h, o que indica que as chapas alcançaram a absorção máxima, reduzindo a dispersão dos resultados. Segundo Tangjuank e kumfu (2011)

as chapas fabricadas com maiores níveis de resina diminuem a absorção de água pelas partículas e a maior quantidade de resina reduz os espaços vazios no material.

Comportamento similar foi apresentado estudo de Colli *et al.* (2010) com chapas de baixa densidade de madeira de paricá com inclusão de fibra de coco em porcentagens de (10, 20, 30%), utilizando como adesivo uréia-formaldeído em proporções de 6 e 8%, na prensagem foi utilizado 3,2 MPa de pressão e temperatura de 170 °C. Os autores determinaram, em função do teor de adesivo, valores médios gerais de IE 24 h de 13 e 10% e AA em 24 h de 228 e 211%, para 6 e 8% de adesivo. Os autores concluíram que com aumento da resina contribuiu com a redução do IE e da AA.

No estudo de Barros Filho (2009) foram produzidas chapas de partículas de bagaço de cana com densidades nominais de 700 kg/m³, utilizando resinas uréia-formaldeído e melanina-formaldeído em porcentagem de 9%, os parâmetros de prensagem foram de 4 MPa de pressão, temperatura de 180 °C, por 8 minutos. Os valores médios apresentados para IE 24 h foram de 36 e 24%, respectivamente. Para AA 24 h foram obtidos valores médios de 146 e 119%, superiores aos obtidos nesse estudo.

Fiorelli *et al.* (2012) trabalharam com chapas de fibra de coco de alta densidade (800 e 1000 kg/m³), utilizando como adesivo resina poliuretana à base de óleo de mamona (10-15%), as condições de prensagem foram 5 MPa, 100°C por 10 min. Os resultados de IE e AA após 24 h foram, respectivamente: 1- chapas de 800 kg/m³, 15 e 36%; 2- chapas de 1000 kg/m³, 19 e 22%. A análise estatística inferencial mostrou diferença apenas para AA, sendo inferior para as chapas de 1000 kg/m³.

4.2.3 Módulo de ruptura e módulo de elasticidade

Na Tabela 11 são apresentados os valores médios de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) e os respectivos coeficientes de variação.

Tabela 11 - Valores médios de MOR e MOE – T1, T2, T3 e T4

Tratamento	MOR	Coefficiente de variação (%)	MOE	Coefficiente de variação (%)
T1	2,39 (a)	17,16	324 (a)	17,18
T2	5,89 (b)	17,26	650 (b)	25,96
T3	11,28 (c)	23,27	1133 (c)	17,7
T4	16,20 (d)	15,06	1879 (d)	14,47

*letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$)

Os valores de MOR e MOE apresentaram diferença estatística significativa ($p < 0,05$) para todos os tratamentos. Nota-se que as chapas multicamadas de baixa e média densidade (T2 e T4) apresentaram um melhor desempenho mecânico quando comparadas com chapas de partículas homogêneas (T1 e T3) e também, atenderam as recomendações da norma ANSI A208:1999.

O aumento dos valores de MOR e MOE nos tratamentos T2 e T4 podem ser explicado pelo aumento da densidade nas camadas externas, vide Figura 21 e Figura 23. As camadas externas apresentam uma densidade superior devido à presença de partículas de menor granulometria (0,3 – 1,0 mm) e maior teor de resina (15%). Essa configuração de chapas em multicamadas reflete positivamente nas propriedades mecânicas do compósito. A Figura 25 apresenta as curvas típicas de força versus deslocamento para os tratamentos T1, T2, T3 e T4.

Figura 25 Curvas típicas de tensão versus deformação

Pela Figura 25 é possível observar maiores valores de tensões para as chapas multicamadas (T2 e T4). No entanto, após a ruptura das amostras, observa-se uma redução repentina nas tensões atuantes. Esse resultado pode ser explicado pela existência de uma camada mais densa e resistente nas bordas da chapa. Após a ruptura dessa camada, a resistência do compósito passará a ser guiada pela resistência da camada interna. Para as chapas de partículas homogêneas (T1 e T3) não é possível observar essa redução, nota-se um comportamento elasto-plástico, sem variação repentina das tensões atuantes. Esse comportamento indica que as camadas externas trabalham como reforço. A Figura 26 ilustra esses resultados, com uma ruptura definida da camada externa e ruptura difusa da camada interna.

Figura 26 Ruptura das camadas: (a) Externa. (b) Interna.

Comparando os resultados de MOR obtidos com os requerimentos normativos apresentados na Tabela 1, observa-se que o tratamento T1 não atingiu os valores mínimos recomendados pelas normas. Para T2 os valores de MOR obtidos atenderam os requisitos da norma ANSI A208.1-1999 e da norma CS236-66:1968. O tratamento T3 atende as recomendações mínimas da ANSI A208.1-1999. Já o tratamento T4 atendeu os requisitos mínimos estabelecidos pela ANSI A208.1-1999, NBR 14810:2006 e CS236-66:1968.

Mendes *et al.* (2010) produziram e avaliaram chapas de partículas homogêneas com densidade de 660 kg/m^3 de bagaço de cana-de-açúcar e de *Eucalyptus*, em porcentagem de 25, 50 e 75% de cada material, usando como adesivo uréia-formaldeído e fenol-formaldeído, nas proporções de 6, 9 e 12%. As condições de processamento foram 4 MPa de pressão, 160 °C de temperatura para resina uréia-formaldeído e 180°C para resina fenol-formaldeído, por 8 min. Os resultados desse estudo concluíram que a configuração com melhores propriedades de MOR e MOE

foram às de 75% de bagaço e, 12% de ureia-formaldeído, tendo valores médios de 14MPa e 1043 MPa. . Estes valores foram inferiores aos obtidos no nesse estudo para o T4 e similar ao T3.

Fiorelli *et al.* (2012) fabricou chapas de partículas homogêneas de fibra de coco utilizando como adesivo poliuretano à base de óleo de mamona com densidades de 800 e 1000 kg/m³. A porcentagem de adesivo utilizada no estudo foi de 10-15%, os parâmetros de processo foram 5 MPa de pressão, 100 °C de temperatura, por 10 min. Os resultados de MOR e MOE foram 17,94 MPa e 1405 MPa para chapas com densidade de 800 kg/m³ e 17,92 MPa e 1792 MPa para chapas com densidade 1000 kg/m³. Comparando esses resultados com os valores obtidos nesse estudo observa-se que a configuração multicamada (T4 – 700 kg/m³) proporciona a obtenção de chapas de partículas com média densidade e propriedades mecânicas similares a chapas de alta densidade.

4.2.4 Resistência à Fadiga

As tensões e deformações exercidas ao longo do tempo sobre um determinado material podem gerar mudanças estruturais permanentes, localizadas e progressivas, em casos mais extremos levando à ruptura ou provocando rachaduras no material (DEL MENEZZI *et al.*, 2011). A fadiga é uma forma de falha decorrentes de tensões dinâmicas ao longo do tempo de vida útil do material (CALLISTER JR, 2008). Na Tabela 12 são apresentados os valores de MOR e MOE antes e após os 40.000 ciclos de carregamento do ensaio de fadiga (vide item 4.2.3.2). A estatística inferencial foi realizada cruzando valores de MOR e MOE antes e após o ensaio de fadiga, para o mesmo tratamento.

Tabela 12 - MOR e MOE antes e após 40.000 ciclos de carregamento

Tratamento	MOR (MPa)		MOE (MPa)	
	Antes	Depois	Antes	Depois
T1	2,39 (a)	2,18 (a)	324 (a)	101 (b)
T2	5,89 (a)	5,47 (a)	650 (a)	733 (a)
T3	11,28 (a)	6,61 (b)	1133 (a)	654 (b)
T4	16,2 (a)	12,79 (a)	1879 (a)	1706 (a)

*letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa (p<0,05)

Para as chapas multicamadas (T2 e T4) não foi observada diferença estatística significativa ($p>0,05$) entre os valores de MOR e MOE antes e após a aplicação de 40.000 ciclos de carregamento. Para as chapas de partículas homogêneas (T1 e T3) observa-se reduções nos valores de MOR e MOE após os ciclos de carregamento. Para T1 ocorreu uma redução significativa no MOE e para T3 no MOR e MOE.

A diferença de comportamento de chapas multicamadas em comparação com as homogêneas pode ser explicado, segundo Callister Jr. (2008), pelo endurecimento da camada superficial. Neste caso, nos tratamentos T2 e T4 esse endurecimento foi provocado pelo aumento da quantidade de resina, que melhorou as propriedades mecânicas das chapas. Para as condições do ensaio de flexão dinâmica, os tratamentos T2 e T4 apresentaram comportamento de vida de fadiga de baixo ciclo, ou seja, baixa tensão e alta quantidade de ciclos, e os tratamentos T1 e T3 apresentaram fadiga de alto ciclo, alta tensão e menor número de ciclos.

As Figura 27 e Figura 28 apresentam curvas típicas de tensão x deformação para os tratamentos T1, T2, T3 e T4 antes e após 40.000 ciclos de carregamento. Observa-se, para alguns tratamentos variações na rigidez e na resistência após o ensaio de fadiga. Baseado nos valores médios, as reduções do MOR foram: T1 = 0%, T2 = 7,2%, T3 = 41% e T4 = 21%. Para os valores de MOE as reduções foram: T1 = 68,8%, T2 = 0%, T3 = 42,3% e T4 = 9,2%. Os valores indicados como 0% são justificados pelos maiores valores após os ciclos de carregamento, não sendo correto expressar porcentagem negativamente. Para esses casos, a estatística inferencial indicou que não existe diferença significativa ($p>0,05$).

Figura 27 Curvas típicas de tensão versus deformação - T1 e T2

Figura 28 Curvas típicas de tensão versus deformação - T3 e T4

Del Menezzi et al. (2011) estudou o efeito de fadiga por carregamento cíclico em chapas MDP comerciais, sendo a duração do ciclo de 2,2 segundos (2 segundos de duração da carga e 0,2 segundo de tempo de aplicação e retorno do atuador). A frequência foi de 0,45 hz e a carga do atuador foi equivalente a 25% do MOR da chapa, os números de ciclos foram 20.000, 40.000 e 80.000. Os resultados desta pesquisa não apresentaram redução das propriedades de MOR e MOE com a variação do número de ciclos, indicando que as chapas de MDP comerciais suportam carregamentos longos, com carga reduzida.

No estudo de Oliveira (2013) foram avaliadas chapas de partículas de Pinus, Eucaliptus e bagaço de cana com densidade nominal de 600 kg/m³ antes e após ensaio de fadiga de 20.000 ciclos de 2,2 segundos (2 segundos de duração da carga e 0,2 segundo de tempo de aplicação e retorno do atuador). A frequência foi de 0,45 hz e a carga do atuador foi 120 N. O autor encontrou uma redução significativa no MOE entre 16 e 27% para todas as chapas, no entanto as chapas de pinus quando comparadas com as chapas de bagaço de cana apresentaram os mesmos valores antes e depois do carregamento. Os valores de MOR não apresentaram variação depois do carregamento para cada chapa. As chapas T1 e T3 (homogêneas) apresentaram um comportamento similar ao obtido por Oliveira (2013), sendo o MOE a principal propriedade afetada.

4.2.5 Adesão Interna

A adesão interna das partículas (AI) pode ser descrita como uma força de coesão adequada para transmissão de tensões entre a fibra e a resina (BARROS FILHO, 2009). Os valores de AI são apresentados na Tabela 13 junto com a comparação estatística entre os tratamentos (T1-T2 e T3-T4).

Tabela 13- Adesão Interna - T1, T2, T3 e T4

Tratamento	AI (MPa)	Coefficiente de variação (%)
T1	0,13 (a)	19,43
T2	0,20 (b)	20,86
T3	0,36 (c)	56,35
T4	0,35 (c)	12,18

*letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$).

Os valores obtidos para os tratamentos T1 e T2 atendem os requerimentos da norma ANSI A208.1:1999 (0,1 MPa). Os tratamentos T3 e T4 atendem os requisitos mínimos estabelecidos pela NBR 14810:2006 (0,35), isso significa que o teor de resina utilizado foi adequado. Os valores de AI das chapas T1 e T2 apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$), indicando que para chapas de baixa densidade, a configuração multicamada contribuiu com o aumento da AI. Para as chapas T3 e T4 não foi observada diferença significativa para a AI. Esse resultado pode ser explicado pelo gradiente de densidade vertical, com menor densidade no Centro Geométrico da espessura, região com menor contato entre as partículas (KELLY, 1977).

Para todos os tratamentos em estudo, foi observado que após o ensaio de tração perpendicular não ocorreu separação das camadas, demonstrando a existência de compatibilidade entre os materiais (bagaço de cana-de-açúcar e fibra da casca do coco). A Figura 29 apresenta uma ruptura típica dos painéis multicamadas, na região central da chapa.

Figura 29 Ruptura típica do painel multicamada no ensaio de tração perpendicular

Iwakiri *et al.* (2012) não encontraram uma relação direta entre o aumento de resina de 6 a 8% com o aumento da AI de chapas de partículas multicamada de *Pinus taeda* e *Melia azedarach*, concluindo que esse aspecto é uma vantagem econômica devido ao possível uso de menor quantidade de resina.

Mendes *et al.* (2012) no estudo de produção de chapas de madeira de *Pinus spp.* com inclusão de bagaço de cana-de-açúcar e usando dois tipos de resina, encontraram que não houve uma relação do aumento da AI com o aumento dos teores de resina de 6, 9 e 12%, esse resultado corrobora com os obtidos no presente estudo.

4.2.6 Arrancamento de parafuso na superfície e no topo

Na Tabela 14 são apresentados os valores médios de arrancamento de parafuso na superfície e no topo e respectivo coeficiente de variação. A estatística inferencial foi realizada por meio do cruzamento dos dados em dois grupos (T1 x T2 e T3 x T4).

Tabela 14 - Valores médios do arrancamento de parafuso na superfície e no topo – T1, T2, T3 e T4

Tratamento	Arrancamento na superfície (N)	Coefficiente de variação (%)	Arrancamento no topo (N)	Coefficiente de variação (%)
T1	382 (a)	33,57	136 (b)	34,84
T2	541 (a)	5,30	456 (a)	14,75
T3	867 (c)	23,91	449 (c)	10,00
T4	1329 (d)	7,11	1341 (d)	4,72

*letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$).

Segundo os requisitos mínimos de arrancamento de parafuso na superfície e no topo estabelecidos pela norma ANSI A208.1:1999, somente os tratamentos T2 e T4 atendem aos valores mínimos estabelecidos (0,1 e 0,4). Os tratamentos T1 e T2 não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$), no entanto nota-se diferenças nos coeficientes de variação, indicando maior uniformidade entre os valores das chapas multicamadas.

Trianosky (2010), Oliveira (2013) e Wever (2011) explicam que geralmente os valores de arrancamento no topo são menores que da superfície devido ao gradiente de densidade da chapa por que o parafuso está localizado no ponto médio da espessura o qual possui menor densidade pelo efeito de prensagem. Com base no conceito anterior, os perfis de densidade e os valores e adesão interna demonstram que a queda de densidade no centro da espessura é menor para as chapas em multicamada.

Colli *et al.* (2010) obtiveram valores máximos no arrancamento de parafuso de 295 N para chapas homogêneas de partículas de baixa densidade de madeira de Paricá com 30% de fibra de coco e 8% de ureia-formaldeído e encontrou uma diminuição a 240 N usando 6% de adesivo.

Oliveira (2013) no estudo de chapas de partículas de média densidade de bagaço de cana importadas da China e Pinus e Eucaliptus de duas empresas nacionais, determinou valores de arrancamento de parafuso na superfície de 594 N, 447 N e 848 N, e para arrancamento de topo 531 N, 484 N e 724 N,

respectivamente. As chapas do tratamento T4 demonstraram desempenho superior aos apresentados nesse estudo.

Valores similares de arrancamento na superfície e no topo para chapas em multicamada de *Pinus taeda* de média densidade foram encontradas por Iwakiri et al. (2012) (arrancamento na superfície 1031 N e topo de 754 N).

4.2.7 Dureza Janka

A dureza é considerada a resistência do material a uma deformação plástica pontual (CALLISTER JR, 2008). A norma ANSI A208.1:1999 estabelece para chapas de partículas de madeira de média densidade uma dureza de 22,25 MPa e para chapas de partículas de baixa densidade, a norma não especifica valor. Na Tabela 15 são apresentados os valores médios de dureza Janka e respectivo coeficiente e variação.

Tabela 15 - Valores médios de dureza janka

Tratamento	Dureza Janka (MPa)	Coeficiente de variação (%)
T1	18,88 (a)	14,91
T2	18,88 (a)	2,6
T3	58,61 (b)	16,7
T4	73,57 (c)	21,08

*letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa ($p < 0,05$).

Observa-se que os valores obtidos para as chapas T3 e T4 cumpriram com os requisitos estabelecidos na norma ANSI A208.1:1999, sendo os valores comparáveis com valores exigidos para chapas de alta densidade (22,25 a 66,75 MPa). As chapas T1 e T2 não apresentaram diferença significativa ($p > 0,05$), o que significa neste caso que a densificação produzida na camada externa da chapa T2 não teve efeito nesta propriedade. As chapas T3 e T4 apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$). O valor de dureza da chapa T4 pode ser atribuído à existência da camada externa mais densificada. Segundo Bianche (2009) no seu estudo de chapas de partículas de média densidade utilizando Madeiras de Paricá, Vassoura e Eucalipto em proporções de (20, 50, 75 e 100%) com 6 e 8% de resina uréia-formaldeído, os

valores e dureza janka para os tratamentos oscilaram entre 40 e 50 MPa, o autor não encontrou uma relação de aumento da dureza com o aumento da quantidade de resina, mas no caso da mistura Eucalipto com Vassoura de 20, 50 e 75 % a dureza aumentou, em decorrência da madeira Vassoura apresentar uma área superficial maior, o que aumenta a resistência pelo maior contato entre as partículas.

Cabral *et al.* (2007) estudaram chapas de partículas de maravalha e flocos de *Eucalyptus grandis*, *E. urophylla* e *E. cloeziana*. Foram fabricadas chapas de densidade 700 kg/m³ com 8% de resina uréia-formaldeído em relação a massa seca das partículas de madeira. Os resultados da dureza das chapas confeccionadas com diferentes misturas de madeiras não apresentaram diferenças significativas, sendo obtido valor médio de dureza de 48,1 MPa.

4.2.8 Resistência à abrasão

Na Tabela 16 são apresentados valores médios de perda de massa e redução da espessura das chapas T1, T2, T3 e T4 após 3000 ciclos de abrasão.

Tabela 16 - Valores médios de perda de massa e redução da espessura após 3000 ciclos de abrasão

Tratamento	Perda de massa (g)	Redução de espessura (mm)
T1	0,170 (a)	0,236 (a)
T2	0,023 (b)	0,061 (b)
T3	0,100 (c)	0,071 (c)
T4	0,026 (d)	0,054 (c)

*letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (p<0,05).

As chapas T1 e T3 apresentaram maiores valores de perda de massa e de redução de espessura, em comparação com as chapas T2 e T4. Observa-se também que as chapas multicamadas T2 e T4 apresentaram menores valores de perda de massa e redução de espessura. Esses resultados apresentam estreita relação com o perfil de densidade.

Rolleri e Roffael (2010) fabricaram chapas de partículas com densidade nominal de 700 kg/m³ em 3 camadas utilizando na camada interna partículas novas de *Picea abies* (Spruce) e *Pseudotsuga menziesii* (Douglas fir). Nas camadas externas foi utilizada partículas novas de *Picea abies* e *seudotsuga menziesii*, partículas recicladas *Picea abies* e *Pseudotsuga menziesii* de processo de fabricação de chapas e cortiça, o tamanho de partícula para cada tipo de madeira variou de 0,2 - 1 mm, e foram utilizados dois tipos de adesivos ureia-formaldeído (UF) e tanino-formaldeído (TF). Após a fabricação, as chapas foram cobertas com laca nitrocelulosica. Segundo as conclusões dos autores as chapas que apresentaram melhor resistência à abrasão foram às chapas de partículas novas de *Picea abies* e *seudotsuga menziesii* com adesivos UF e TF os quais apresentaram desgaste após 109 e 118 ciclos. As chapas com partículas recicladas com adesivo UF e TF apresentaram resistência à abrasão até 36 e 53 ciclos respectivamente e as chapas com superfície de cortiça com UF e TF resistência à abrasão de 35 e 36 ciclos.

4.3 Microscopia Eletrônica de Varredura

A análise do material por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) é uma ferramenta utilizada para obter resultados qualitativos que ajudam a interpretar os resultados físico-mecânicos. Nas Figura 30 e 31 são apresentadas as imagens da superfície das chapas T1, T2, T3 e T4, com aumento de 50x. Essas imagens permitem obter uma visualização da aglomeração das partículas. Nota-se claramente que as chapas multicamadas (T2 e T4) apresentaram melhor aglomeração de partículas e menor quantidade de espaços vazios (poros), quando comparadas com as chapas T1 e T3. Essa característica tem relação com a dimensão das partículas da camada externa (0,3 – 1,0 mm), com a quantidade de resina (15%) e com a densidade das camadas. Essa configuração pode explicar os menores valores de inchamento em espessura e absorção de água e maiores valores de MOR e MOE, obtidos para essas chapas.

Figura 30 MEV da superfície das chapas de partículas com aumento 50x . a) T1. b) T2. c) T3. d) T4.

Figura 31 MEV da superfície das chapas de partículas com aumento 200x. a) T1. b) T2. c) T3. d) T4.

A redução de espaços ou vazios na superfície das chapas multicamadas tem relação também com o aumento da densidade das camadas externas. A Figura 32 apresenta a imagem da seção transversal da chapa T2, sendo possível observar o gradiente de aglomeração das partículas (mais denso na camada externa e mais poroso na camada interna).

Figura 32 MEV da secção transversal com aumento de 50x – T2

4.4 Envelhecimento natural e acelerado

Na Tabela 17 são apresentados os valores de MOR dos tratamentos antes e depois do envelhecimento acelerado (EA) e envelhecimento natural (EN). As chapas T1 não apresentaram variação estatística significativa no MOR ($p > 0,05$) o que indica que as condições do ensaio não afetaram a integridade estrutural dessas chapas.

Para as chapas T2, T3 e T4 observa-se uma variação estatística significativa ($p < 0,05$) no valor de MOR após ensaio de EA e EN. Esse comportamento pode ser explicado pela liberação de tensões ocasionada pela variação da AA, IE e temperatura; redução da densidade devido a perda de massa das chapas ao longo do processo de envelhecimento; degradação da resina provocada pela radiação

UVA e UVB, refletindo diretamente na perda da capacidade estrutural das chapas em estudo.

Tabela 17 - Valores médios de MOR antes e após ensaio de envelhecimento

Tratamento	MOR (MPa)		
	Sem envelhecimento	EA	EN
T1	2,39 (a)	2,19 (a)	NA
T2	5,89 (a)	4,99 (b)	0,98 (c)
T3	11,28 (a)	7,4 (b)	NA
T4	16,2 (a)	10 (b)	2,37 (c)

*letras diferentes na mesma linha indicam diferença significativa ($p < 0,05$)

Na Tabela 18 são apresentados os valores de MOE antes após ensaio de EA e EN. Todos os tratamentos apresentaram uma diminuição no MOE após os ensaios de envelhecimento, indicando perda da rigidez das chapas, ocasionada pela degradação da resina e consequentemente descolamento das partículas. Nota-se que o EN foi mais severo, anulando a rigidez do material.

Tabela 18 - Valores médios de MOE antes e após ensaio de envelhecimento

Tratamento	MOE (MPa)		
	Sem envelhecimento	EA	EN
T1	323,88 (a)	0 (b)	NA
T2	650,5 (a)	473 (b)	0 (c)
T3	1133 (a)	523 (b)	NA
T4	1879,3 (a)	1099 (b)	18 (c)

*letras diferentes na mesma fila indicam diferença significativa ($p < 0,05$)

A Figura 33 apresenta imagens da superfície e da seção transversal de corpos de prova de das chapas de partículas (T1, T2, T3 e T4) antes e após os ensaios de EA e EN.

	Sem Envelhecer	EA	EN
T1			Não aplica
T2
T3			Não aplica
T4

Figura 33 Imagens da superfície e da seção transversal de chapas de partículas antes e após ensaio de envelhecimento (EA e EN)

Existem três fatores no ensaio de envelhecimento natural e acelerado que em conjunto geram o efeito de degradação no material. 1- fotodegradação ou fotooxidação por radiação ultravioleta pela incidência solar que junto com o oxigênio, geram uma reação com os polímeros ocasionando alterações em suas estruturas moleculares e composições químicas; 2- temperatura é chamada de termooxidação devido à geração de radicais livres, ocasionada pela dissociação de hidrogênio da cadeia do polímero gerando hiperóxidos de rápida decomposição, ocorrendo alterações nas propriedades dos polímeros, essa degradação é refletida geralmente na alteração da cor, causado pela oxidação e pela hidrólise; 3 umidade ocasionada pela absorção de água pelas cadeias poliméricas gerando rupturas moleculares (ABRAMENTO, 1995; MATHEUS, 2002).

As imagens da Figura 33 permitem identificar alterações na superfície e seção transversal dos corpos de prova submetidos ao EA e EN. De maneira qualitativa, nota-se que as amostras envelhecidas aceleradamente apresentam menos degradação na superfície, fator que justifica maiores valores de MOR e MOE. Esse resultado também indica que as condições de exposição do ensaio de EA foram menos severas que as do EN. Esse comportamento já era esperado, uma vez que o objetivo do EA foi simular condições de exposição de ambientes internos, sem contato direto com fontes de umidade.

Na Figura 34 são apresentadas as curvas de tensão versus deformação das chapas de partículas (T1, T2, T3 e T4) antes e após os ensaios de envelhecimento (EN e EA). Nesses gráficos é possível observar a diminuição de MOR e MOE.

Figura 34 curvas de tensão vs deformação sem envelhecimento e com envelhecimento acelerado e natural. a) T1. b) T2. c) T3. c) T4.

Oliveira (2013) avaliou os efeitos do envelhecimento natural em chapas de *Pinus*, *Eucalyptus* e bagaço de cana com densidades nominais de 600 kg/m^3 , expostas em mesa inclinada de 30° , durante quatro meses, posteriormente foi realizado o ensaio de flexão estática para avaliar perda de resistência. Os resultados obtidos indicaram uma redução de 19% no MOE para chapas de *Pinus* e para as chapas de *Eucalyptus* e bagaço de cana a perda foi de 39% e 35%, respectivamente. Nos valores de MOR os três tipos de chapas apresentaram valores após o envelhecimento de 10 MPa, mas a perda em porcentagem foi diferente sendo para *Pinus* 23%, *Eucalypto* 36% e bagaço 31%. O autor concluiu que a diminuição que

das propriedades mecânicas foi devido ao aumento da espessura e redução da densidade.

Sartori (2012) analisou o efeito do envelhecimento natural em chapas de partículas de bagaço de alta densidade sem e com revestimento de resina poliuretana à base de óleo de mamona. Os corpos de prova foram deixados por 6 meses em uma mesa inclinada a 30° para o norte. O autor identificou uma redução nos valores das propriedades mecânicas (MOR e MOE), no entanto afirma que a resina PU-mamona foi eficiente como impermeabilizante.

Bertolini (2011) fabricou chapas de partículas homogêneas empregando resíduos de *Pinus spp* com preservante CCB utilizando como aglomerante resina poliuretana à base de óleo de mamona. As características das chapas empregadas para o ensaio de envelhecimento acelerado foram: 1- densidade 900 kg/m³, 12 % de adesivo, 4 MPa de pressão e temperatura de 100°C por 12 min.; 2- densidade 950 kg/m³, 15% de adesivo, 4 MPa de pressão e temperatura de 100°C por 10 min. Os corpos de prova foram submetidos a envelhecimento acelerado por 55 dias, o equivalente 1200 horas, que segundo o fabricante do equipamento, esse tempo equivale a um ano de envelhecimento natural. Os valores de MOR após o ensaio de envelhecimento acelerado não apresentaram diferença estatística significativa em relação às amostras não envelhecidas.

4.5 Condutividade térmica

A norma NBR 15220: 2003 – Desempenho térmico de edificações parte 1: Definições, símbolos e unidades, define a condutividade térmica como sendo a capacidade do material conduzir energia térmica. A Tabela 19 apresenta os valores médios da condutividade térmica para as chapas T1, T2, T3 e T4.

Tabela 19 - Valores médios de condutividade térmica

Tratamento	Condutividade térmica (W/m.k)
T1	0,1433 (a)
T2	0,1426 (a)
T3	0,1546 (b)
T4	0,1766 (c)

*letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa (p<0,05).

Os valores da condutividade térmica não apresentaram diferença estatística significativa ($p>0,05$) entre os tratamentos T1 e T2, indicando que o uso de bagaço de cana-de-açúcar nas camadas externas dos painéis de baixa densidade não interferiu nessa propriedade.

Os painéis de média densidade (T3 e T4) apresentaram diferença significativa ($p<0,05$) nos valores de condutividade térmica, indicando que a inserção de bagaço de cana-de-açúcar contribuiu com o aumento da condutividade térmica. Esse resultado pode ser explicado pela maior teor de resina e menor dimensão das partículas nas chapas multicamadas.

Nota-se uma similaridade entre os valores obtidos com polipropileno (0,12 W/m.K), poliestireno (0,13 W/m.K) e Fenol formaldeído (0,15 W/m.K) (Callister Jr., 2008).

Payakaew (2011) estudou as propriedades térmicas para chapas de partículas feitas com fibra de coco e bagaço de cana sem o uso de adesivo, as densidades trabalhadas foram de 250 e 350 kg.m⁻³, os resultados obtidos para as chapas de fibra de coco foram 0,046 - 0,068 W/m.K e para as chapas de bagaço de cana 0,049 - 0,055 W/m.K. Esses valores são similares as fibras celulósicas que tem uma condutividade térmica variando de 0,04 e 0,045 W/m.K.

A norma NBR 15220:2003 apresenta valores de condutividade térmica para chapas de partículas de madeira, indicando para chapas de media densidade 0,17 W/m.K e para chapas de baixa densidade é 0,14 W/m.K. Os valores obtidos para as chapas produzidas estão de acordo com os requisitos da norma e as classifica como material isolante.

5. CONCLUSÕES

A fibra de coco e o bagaço de cana-de-açúcar são fibras que apresentam valores de densidade real acima das madeiras comercialmente utilizadas na produção de chapas de partículas. Essa característica contribuiu com a redução nos valores da razão de compactação.

Os parâmetros de processo adotados foram adequados para a fabricação de chapas de partículas homogêneas e multicamadas com fibra da casca do coco e resina PU-mamona.

Os perfis de densidade se diferem entre chapas de partículas homogêneas e multicamadas, influenciada pelo uso de menor granulometria nas camadas externas e maior teor de resina (15%).

As propriedades térmicas das chapas de partículas enquadram o material em estudo na categoria de materiais isolantes.

Chapas de partículas multicamadas apresentaram desempenho físico-mecânico superiores às chapas de partículas homogêneas, indicando a eficiência da configuração multicamada.

As imagens da MEV demonstraram diferenças na microestrutura das chapas homogêneas e multicamadas e ilustraram a existência de uma maior quantidade de poros nas chapas homogêneas, justificando assim, maiores valores de AA e IE e menores propriedades mecânicas, quando comparadas com chapas multicamadas.

Os ensaios de envelhecimento natural e acelerado provocaram degradação nas chapas homogêneas e multicamadas e indicaram que as condições de exposição (temperatura, umidade, radiação UVA e UVB) provocam perda de massa, degradação da resina e descolamento das partículas, refletindo diretamente nas propriedades mecânicas do compósito.

Os resultados das caracterizações físicas, mecânicas e térmicas indicaram que as chapas multicamadas de baixa densidade são adequadas para aplicações que requerem um material isolante térmico. As chapas multicamadas de média densidade podem ser aplicadas em condições não estruturais e ambientes internos.

6. REFERENCIAS

ABRAMENTO, M. Durabilidade e comportamento de longo prazo de geossintéticos - Parte 11 - Durabilidade dos Materiais, São Paulo. In: SIMPÓSIO DE APLICAÇÕES DE GEOSSINTÉTICOS, 2., 1995, São Paulo. **Anais...** São Paulo, 1995b. p. 227-235.

AGOPYAN, V. **Materiais reforçados com fibras para a construção civil nos países em desenvolvimento: o uso das fibras vegetais.** 1991. 204f. Tese (Livredocência) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Construção Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1991.

ALBUQUERQUE, C.E. C. et al. Diagnóstico da variação do conteúdo de umidade da madeira no processo de produção de chapas de madeira aglomerada. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, n.1, p.121-128, 2000.

ALVAREZ, D.O. **Caracterización físico – mecánica de morteros fibroreforzados de matriz cementicia y fibra de coco.** 2008. 85f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2008.

AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. **ANSI A208.1-1999:** Particleboard. Gaithersburg, 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-2017:** Standard Method for Accelerated Laboratory Test of Natural Decay Resistance for Woods. Philadelphia, 2005.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM E1530-11:** Evaluating the Resistance to Thermal Transmission of Materials by the Guarded Heat Flow Meter Technique. West Conshohocken, 2014.

ARAUJO, L.C.R. **Caracterização química e mecânica de poliuretanas elastoméricas baseadas em materiais oleoquímicos.** 1992. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física e Química, Departamento de Física e Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-3:** Chapas de Madeira Aglomerada: Parte 3: Métodos de Ensaio. Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14833-1:** Revestimento de Pisos Laminados Melaninicos de Alta Resistencia. Parte 1: Requisitos, características, classes e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações parte 1: Definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro, 2003.

BASTOS, L.P. **Desenvolvimento e caracterização acústica de painéis multicamadas unifibra, multifibras e mesclados, fabricados a partir de fibras vegetais**. 2009. 155f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Concentração em Vibrações e Acústica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

BARROS FILHO, R.M. **Painéis aglomerado a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas uréia formaldeído e melamina formaldeído**. 2009. 99f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais – Processos de Fabricação, Departamento de Engenharia de Materiais, Rede Temática em Engenharia de Materiais, Ouro Preto, 2009.

BELINI, U.L. et al. Near infrared spectroscopy for estimating sugarcane bagasse content in medium density fiberboard. **Bioresources**, [S.L.], v.6, n.2, p.1816-1829, abr. 2011.

BERTOLINI, M.S. **Emprego de resíduos de *Pinus sp* tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona**. 2011. 129f. Dissertação (Mestrado) – Curso em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011

BERTOLINI, M.S. et al. Eco-panels based on wastes from urban trees and castor oil polyurethane resin. **International Journal Of Agriculture And Forestry**, [S. L.], p.12-15.2013.

BIANCHE, J.J. **Propriedades de aglomerado fabricado com partiulas de eulipto (*Eucalyptus urophylla*), Paricá (*Schizoloviu amazonicum*) e vassoura (*Sida spp*)**. 2009. 93f. Dissertação (Mestrado) – Curso em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

BLEDZKI, A.K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. **Progress in Polymer Science**, Oxford, v. 24, p. 221-274, 1999.

BOWYER, J.L.; SHMULSKY, R.; HAYGREEN, J.G. **Forest products and wood science**: an introduction. 4. ed. Ames, Iowa State Press, 2003.

BRITO, E.O. et al. Propriedade de chapas produzidas com resíduos do fruto de coco e partículas de pinus. **Floresta e Ambiente**, v.1, n. 2, p. 1-6, 2004.

BRITO, E. O.; BATISTA, D. C.; VIDAURRE, G. B.; SAMPAIO, L. de C. Chapas de madeira aglomerada de uma camada de *Pinus elliottii* Engelm com a adição das cascas de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Revista Cerne**, v. 11, n. 4, p. 369-375, 2005.

CABRAL, C.P. et al. Propriedades de chapas de aglomerado confeccionadas com misturas de partículas de *Eucalyptus spp* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 5, p. 897-905, 2007.

CALLISTER Jr, W.D. **Ciência e engenharia de materiais**. 7.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CAMPOS, C.I. **Propriedades físico-mecânicas de MDF produzido com fibras de madeira de reflorestamento e adesivos alternativos em diferentes teores.** 2005. 113f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

CAMPOS, A.C.M. et al. Near infrared spectroscopy to evaluate composition of agro-based particleboards. **Bioresources**, Raleigh, USA, v.4, p.1058-1069, jun. 2009.

CARNEIRO, A.C.O. et al. Propriedades de chapas de flocos fabricadas com adesivo ureia-formaldeído e de taninos da casaca de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden ou de *Eucalyptus pellita* F.Muell. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v. 28, n. 5, p. 715-724, 2004.

CHAMMA, P.V.C. **Produção de painéis a partir de resíduos sólidos para uso como elemento arquitetônico**. Tese (Doutorado) – Curso em Agronomia, Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004.

CHIPANSKI, E. do R. **Proposição para melhoria do desempenho ambiental da indústria de aglomerado no Brasil**. 2006. 193f. Dissertação (Mestrado) – Curso em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

CRAVO, J. C. M. **Compósito particulado de baixa densidade com casca de amendoim, fibra de coco verde e resina poliuretana à base de óleo de mamona para aplicação como forro de galpões avícolas**. 2013. 167f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Departamento de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

COLLI, A. et al. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex. Ducke) e fibras de coco (*Cocos nucifera* L.). **Revista Árvore**, Viçosa, v.34, n.2, p.333-338, out. 2010.

COMMERCIAL SATANDARD. Mat formed Wood particleboard. CS 236-66. 1968.

DAMASCENO, S.M. et al. Utilização da biomassa no desenvolvimento de novos produtos. **Revista Pesquisa e Extensão**, Montes Claros, v. 2, n. 1, p 17-19, 2012.

DIAS, F.M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 2005. 151f. Tese (Doutorado) - Curso de Física e Química, Departamento de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

DEL MENEZZI, C. H. S et al. Efeito do carregamento cíclico sobre as propriedades de flexão de painéis comerciais de MDF e MDP. **Cerne**, Lavras, v.17, n.3, p.403-409, jul/set. 2011.

EMBRAPA. **Importância econômica da cocoicultura no Brasil**. Disponível em: <http://www.sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Coco/ACulturadoCoqueiro/importancia.htm> . Acesso em: 1 jun. 2015.

ELEOTÉRIO, J. R. **Propriedades físicas e mecânicas de painéis MDF de diferentes densidades e teores de resina**. 121 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.

FAGURY, R.V.G. **Avaliação de fibras naturais para a fabricação de compósitos: açaí, coco e juta**. 2005. 83f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica. Universidade Federal do Pará, Belém, 2005.

FIORELLI, J. et al. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona: produção e propriedades. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v.33, p.401-406, 2011.

FIORELLI, J. et al. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v.40, n.4, p.69-75, Nov. 2012.

FIORELLI, J. **Desenvolvimento, produção e caracterização de painéis de partículas lignocelulósicas de resíduos agroindustriais**. 2013. 161f. Tese (Livre Docência), Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

FIORELLI, J. et al. Physico-chemical and anatomical characterization of residual lignocellulosic fibers. **Cellulose**, Dordrecht, v. 21, p. 3269-3277, 2014

FONTENELE, R.E.S. Cultura do Coco no Brasil: caracterização do mercado atual e perspectivas futuras. In: CONGRESSO DA SOBER “INSTITUIÇÕES, EFICIÊNCIA, GESTÃO E CONTRATOS NO SISTEMA AGROINDUSTRIAL”, 18., 2005, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2005. p. 24-27.

FRANCO, F.J.P. **Aproveitamento da fibra do epicarpo do coco babaçu e compósito com matriz de epóxi: estudo do efeito do tratamento da fibra**. 2010. 77f. Dissertação (Mestrado) – Curso em Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

FUENTES, T. **Elaboración y evaluación físico mecánica de tableros aglomerados a partir de las partículas de las astillas del fuste de la palma de coco**. 1989. 104f. Tese (Doctorado) - Curso de Ingeniería, Departamento de Madera, Celulosa y Papel, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, 1989.

GARZÓN, N. et al. Application of methodologies for durability evaluation of sugar cane bagasse particle boards, 2013. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON NON-CONVENTIONAL MATERIALS AND TECHNOLOGIES, 14. João Pessoa, 2013. **Anais...** João Pessoa, 2013.

GRIGORIOU, A.H.; NTALOS, G.A. The potential use of *Ricinus communis* L. (Castor) stalks as a lignocellulosic resource for particleboards. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, p. 209-218. abr. 2000.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de *Pinus*, *Eucalipto* e *cácianegra*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n.1, p. 59-65, 2002.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melanina-ureia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, out./dez. 2005.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados homogêneos e multicamadas de *Melia azedarach* (Cinamono) e *Pinus taeda* com diferentes teores de resina. **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 3, p. 465-470, 2012.

JESUS, J.H. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada**. 2000. 106f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia, Departamento de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

KELLY, M. W. Critical Literature Review of Relationships Between Processing Parameters and Physical Properties of Particleboard. **USDA, for. Ser. Gen. Tech. Rep. FPL**, Madison, v.10, p. 66, 1977.

KHODER, M.I.; SHAKOUR, A.A.; FARAG, S.A.; HAMEED, A.A.A. Indoor and outdoor formaldehyde concentrations in homes in residential areas in Greater Cairo, J.E.M., 2, 123, 2000.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 3.ed. São Francisco: M. Freeman, 1993.

MARRA, A. A. **Technology of Wood bonding**: principles and practice. New York, Van Nostrand Reinhold 1992, 453 p.

MATHEUS, E. **Efeitos do envelhecimento acelerado e do dano mecânico induzido no desempenho e durabilidade de alguns geossintéticos**. 2002. 324f. Tese (Doutorado) – Curso em Engenharia Civil e Ambiental, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2002.

MATOS, J. L. M. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais Waferboards**. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MENDES, R.F et al. The adhesive effect on the properties of particleboards made from sugar cane generate in the distiller. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.32, n.2, p. 209-218, 2009.

MENDES, R.F. et al. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, p.285-295, 2010.

MELO, R.R. et al. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 4, p. 449-460, 2009.

MELO, R.R.; DEL MENEZZI, C.H. Influencia da massa específica nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados. **Silva Lusitana**, v. 18, n. 1, p. 59-73, 2010.

MELLO DA SILVA, S.A. **Chapa de media densidade (MDF) fabricada com poliuretana mono-componente derivada de óleo de mamona- caracterização por método destrutivo e por ultra som**. 2003. Tese (Doutorado) – Curso em Engenharia Agrícola, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

MOTTA, L.A.C.; AGOPYAN, V. **Caracterização de fibras curtas empregadas na construção civil**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, 2007.

NASCIMENTO, M.F. et al., Painéis de partículas homogêneas fabricados com espécies de manejo da região da Caatinga do Brasil. **Construindo**, Belo Horizonte, v. 5, n. 2, p. 1-10, 2013.

OKINO, E.Y.A. et al. Physico-mechanical properties of chemically modified sugar cane bagasse particleboards. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.52, p.35-42, 1997.

OLIVEIRA, S.L. **Painéis aglomerados de bagaço de cana de açúcar: caracterização visando ao uso na indústria moveleira**. 2013. 145f. dissertação (Mestrado) – Curso em Ciência e Tecnologia em Madeiras, Universidade federal de Lavras, Lavras, 2013.

ORELLANA, A. **Inventario de sistemas constructivos a base de paneles prefabricados, normalización y procedimientos para su caracterización**. 2009. 85f. TCC (Pre-grado) - Curso de Ingeniería Civil, Departamento de Escuela de Ingeniería Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala, 2009.

PAES, J.B. et al. Qualidade de chapas de partículas de Pinus elliottii coladas com resina poliuretana sob diferentes combinações de pressão e temperatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 551-558, 2011.

PASSOS, P.R. **Destinação sustentável de cascas de coco (Cocos nucifera) verde: Obtenção de telhas e chapas de partículas**. 2005. 186f. Tese (Doutorado) – Curso de Ciência em Planejamento, Universidade Federal de Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PANYAKAEW, S.; FOTIOS, S.; New Thermal Insulation Boards Made from Coconut Husk and Bagasse. **Energy and Buildings**, Lausanne, 2011, v.43, 1732-1739.

PAZETTO, V.M.F. **Efeito da espessura e do vão sobre deformação em flexão de painéis de madeira utilizados na produção de móveis**. 2009. 60f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Florestais, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

PEREIRA, C.L. **Aproveitamento do resíduos do coco verde para produção de compósitos destinados à construção rural**. 2012. 137 f. Tese (Doutorado) – Curso em Zootecnia, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.

PETROVIC, Z.S. et al. Thermosetting resins from vegetable oils. In: Annual Technical Conference, 57., 1999, New York. **Processdings...** New York, 1999. 1CD Rom.

POLETO, S.F.S et al. Evaluation of the mechanical properties of particleboards manufactures with waste of *Pinus elliottii*. **International Journal of Composite Materials**, Rosemead, USA, v. 3, n. 3, p. 56-60, 2013.

ROLLERI, A.; ROFFAEL, E. Influence of the surface roughness of particleboards and their performance towards coating. **Maderas, Cienc. Tecnol.** Concepcion, v. 12, n.2, p. 143-149, 2010.

ROWELL, R.M.; HAN, J.S.; ROWELL, J.S. Characterization and factors effecting fiber properties. **Natural Polymers And Agrofibers Composites**, São Carlos, p.115-134. 2000.

SALDANHA, L. K. **Alternativas tecnológicas para produção de chapas de partículas orientadas “OSB”**. 83 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

SAMLAIC, J. Os atuais problemas e as possibilidades dos adesivos para madeira. **Revista da Madeira**, [S. L.], v. 374, p.7-10, 1983.

SANCHES, F.L. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de quatro espécies florestais**. 2012. 80f. Dissertação (Mestrado) – Curso em Ciências Florestais, Universidade Estadual de Centro-Oeste, Iriti, 2012.

SARTORI, D.L. **Painel portante estrutural com chapa de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resina de mamona para centro de manejo bovino**. 2012. 128f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Departamento de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.

SENHORAS, E.M. **Estratégias de uma agenda para a cadeia agroindustrial do coco**: Transformando a ameaça dos resíduos em oportunidades eco-

eficientes. 2003. 38f. Univerisade Estadual de Campinas Instituto de Economia, Campinas, 2003.

SICOPLAN. **MDF plant: technology manual**. 1996. v.1.

SILVA, A.J.P. **Aplicação de partículas longas e orientadas de bagaço de cana-de-açúcar na produção de painel particulado similar ao osb**. 2006. 167f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

SILVA, S.A.M. et al. Particleboard manufactured with bicomponent polyurethane resin base on castor oil. **International Journal of Composite Materials**, Rosemead, USA, p.115-118, 2012.

SILVA, S.A.M. et al. Strength properties of medium density fiberboards (mdf) manufactured with pinus elliottii wood and polyurethane resin derived from castor oil. **International Journal Of Composite Materials**, Rosemead, USA, p.7-14, 2013.

SILVA, V.L.M.M; GOMES, W.C.O.; ALSINA, L.S. Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v.2, p.27-32, 2007.

VILARIM DA SILVA, R. **Composito de resina de poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. 157f. Tese (Doutorado) – Curso Engenharia e Ciencia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

TANGJUANK, S. e KUMFU, S. Partileboard from papyrus fibers as termal insulation. **Journal of Applied Sciences**, v. 11, n. 14, p. 2640-2645, 2011.

TEIXEIRA, D.E.; COSTA, A.F.; SANTANA, M.A.E. Aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar: resistência natural ao ataque de fungos apodrecedores. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 52, p.29-34, 1997.

TEODORO, A. S. **Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB**. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

TORQUATO, L.P. **Caracterização dos painéis MDF comerciais produzidos no Brasil**. 2008. 94f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia florestal, Universidade Federal de Paraná. Curitiba, 2008.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010. 262f. dissertação (Mestrado) – Curso em Engenharia Florestal, Universidade Florestal do Paraná, Curitiba, 2010.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Disponível em:
<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php>. Acesso em:
01 jun. 2015.

VAN DAM, J. E. G.; VAN DEN OEVER, M. J. A.; KEIJSERS, W. E. R. P.; PERALTA, A. G. Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk - Part 1: Lignin as intrinsic thermosetting binder resin. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 19, n.3, p.207–216, 2004

VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. New York: Cornell University Press, 1994. 476p.

VARANDA, L.D. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de Eucalyptus grandis confeccionados com adição de casca de aveia**. 2012. 155f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais, Departamento de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

VICK, C. B. Adhesive bonding of wood materials. In: Forest Products laboratory. **Wood Handbook: Wood as an engineering material**. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1999, chapter 9, p. 199-222.

VIEIRA, R.J.A. **Desenvolvimento de painéis confeccionados a partir de fibras de coco para controle acústico de recintos**. 2008. 262f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Setor de Ciências Exatas, Departamento de Vibrações e Acústica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2008.

WIDYORINI, R.; XU, J.; UMEMURA, K. Manufacture and properties of binderless particleboard from bagasse I: effects of raw material type, storage methods, and manufacturing process. **Journal Of Wood Science**, Tokyo, v.51, p.648-654, 2005.

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.