



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Julio de Mesquita Filho”

Campus de Itapeva

Engenharia Industrial Madeireira

**MADEIRA DE *Hevea brasiliensis* COMO MATÉRIA PRIMA PARA A PRODUÇÃO
DE CHAPA DE PARTÍCULAS AGLOMERADAS.**

SARAH DAVID MÜZEL

Itapeva, SP

2013

SARAH DAVID MÜZEL

**MADEIRA DE *Hevea brasiliensis* COMO MATÉRIA PRIMA PARA A PRODUÇÃO
DE CHAPA DE PARTÍCULAS AGLOMERADAS.**

Trabalho de Graduação apresentado no Campus de
Itapeva - UNESP - Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho", como requisito para a
conclusão do curso Engenharia Industrial
Madeireira.

Orientadora:

Prof^a. Dr^a. Maristela Gava

Co-orientador:

Prof. Dr. José Nivaldo Garcia

Itapeva, SP

2013

Müzel, Sarah David

M999m Madeira de *Hevea brasiliensis* como matéria prima para a
produção de chapa de partículas aglomeradas / Sarah David Müzel. –
– Itapeva, SP, 2013
80 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Engenharia
Industrial Madeireira) - Universidade Estadual Paulista, Câmpus de
Itapeva, 2013

Orientador: Profª. Drª. Maristela Gava

Co-orientador: Prof. Dr. José Nivaldo Garcia

Banca examinadora: Profª. Drª. Juliana Cortez Barbosa; Prof. MSc.
Bruno Santos Ferreira
Bibliografia

1. Chapa de madeira aglomerada. 2. Madeira -- Testes. 3.
Seringueira. I. Título. II. Itapeva - Curso de Engenharia Industrial
Madeireira.

CDD 674.836

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca - UNESP, Câmpus de Itapeva

A Jane, Jacyra, Euclides e Maristela

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe por todo o apoio, paciência e compreensão.

Agradeço aos meus professores: Barreiros, Cristiane, Caraschi, Maria Angélica, Ju Cortez, Elen e Venturin; aos técnicos: Brito, Anderson, Davi, Alex, Jucelino, Fanco e Waldecir, sem vocês não seria possível a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr José Nivaldo Garcia pela confiança e ensinamentos preciosos para a realização deste trabalho.

A Fati pelo apoio e conselhos que me permitiram a concretização deste trabalho.

Agradeço ao Dr. Henrique José Servolo Filho e ao Prof Dr. Marcos Silveira Bernardes da ESALQ pela doação da madeira utilizada nesse trabalho.

Aos meus amigos, Maurício Cardoso e Maria Angelica Soares, por me ajudarem e me apoiarem na realização deste trabalho, por dividir as aflições e as vitórias durante toda a graduação.

Agradeço ao Bruno Santos por me ajudar na fabricação dos painéis.

A minha grande amiga Larissa Ribas por me ajudar na realização deste trabalho, pela amizade e companheirismo durante toda a graduação.

Para a realização deste trabalho foi necessária a ideia inicial, por isso, agradeço a minha orientadora Prof^a Dr^a Maristela Gava. Uma pessoa que sempre me encorajou a buscar o novo e enfrentar os desafios que a vida nos prepara.

Muitíssimo obrigada pela orientação acadêmica, amizade e companheirismo Mamma Gava.

Agradeço a todos aqueles que direta ou indiretamente contribuíram para esta monografia

Obrigada!

A mente que se abre a uma nova ideia jamais retornará ao seu tamanho original.

Albert Einstein

RESUMO

A exploração econômica da *Hevea brasiliensis*, popularmente conhecida como Seringueira, é direcionada principalmente para a extração do látex, com o objetivo de atender às indústrias de artefatos de borracha e de pneumáticos. Quando se caracteriza o final da vida produtiva de látex, procede-se a derrubada das árvores, para reformulação do plantio e a madeira, na maioria das vezes, é utilizada para fins energéticos. O objetivo do trabalho foi estudar a viabilidade da utilização da madeira de *Hevea brasiliensis* na produção de painéis de madeira aglomerada. Foram confeccionados e testados painéis homogêneos e painéis multicamadas com dimensões nominais de 500 x 500 mm e de espessura de 10 mm, utilizando-se partículas de *H. brasiliensis* provenientes dos clones GT1 e RRIM 600. Após o processamento da madeira e peneiramento das partículas, as mesmas foram encoladas e formados os colchões que foram prensados a 140°C por 12 minutos com pressão específica de 40kgf/cm². Foram utilizadas as resinas à base de ureia formaldeído e poliuretano à base de óleo de mamona na proporção de 12% (relação à base seca de partículas). Foram realizados ensaios para a determinação da densidade, teor de umidade inchamento em espessura e absorção de água para 2 e 24 horas, flexão estática e adesão interna, segundo as recomendações da NBR 14810/2006, para a caracterização físico-mecânica dos painéis. Os resultados obtidos foram comparados aos valores de referência estabelecidos pelas normas NBR 14810/2006 e EN 312/2003, bem como entre os diferentes tratamentos avaliados, para verificar a influência do tipo de camada e do adesivo na qualidade das chapas. Com base nos resultados analisados conclui-se que é possível confeccionar painéis de aglomerado utilizando-se a madeira de *H. brasiliensis* como matéria-prima, sendo o adesivo mais indicado o de poliuretano e produção de chapas com múltiplas camadas que proporciona melhorias nas características físico-mecânicas dos painéis.

Palavras-chave: Propriedades Físico-Mecânica. Derivados. Seringueira.

ABSTRACT

The economic exploitation of *Hevea brasiliensis*, popularly known as Rubber Tree (Seringueira), is focused primarily on the extraction of the látex, aiming to supply industries of rubber products and tires. In the characterization of the end of the productive life cycle of latex, results in the trees cutting to the reformulation of the planting and the wood is mostly used for energy. The objective was to study the feasibility of using of *Hevea brasiliensis* in the production of plywood panels. Homogeneous panels and multilayer panels were prepared and tested with nominal dimensions of 500 x50 mm with 10 mm-thick, using particles of *H. brasiliensis* from the clones GT1 and RRIM 600. After the wood processing and the particles sifting, these particles were glued forming the boards, which were pressed at 40kgf/cm². Urea-formaldehyde-based resin and polyurethane resin based on castor oil in a proportion of 12% (relative to dry basis of particles) were used. Tests were performed to determine the density, moisture content, thickness swelling and water absorption for 2 and for 24 hours, static bending and internal adhesion, these according to the recommendations of NBR 14810/2006, for the physical-mechanical characterization of the panels. The results were compared to the reference values set by the standard, as well as among the different evaluated treatments, to verify the influence of layer-type and the adhesive in the board qualities. Based on the tested results it is concluded that it is possible to manufacture particleboards using *Hevea brasiliensis* wood as raw material, where the adhesive more suitable is the polyurethane and the production of boards with multiple layers providing enhancements their physical-mechanical characteristics.

Key-words: Physical-mechanical properties. Wooden derivatives. Rubber tree.

SUMÁRIO

1	Introdução.....	10
2	Objetivos	12
2.1	Geral	12
2.2	Específicos.....	12
3	Revisão Bibliográfica.....	13
3.1	Seringueira.....	13
3.2	Painéis derivados da madeira	15
3.2.1	Aglomerado	16
3.2.1.1	Etapas do processo de produção das chapas de aglomerado.....	17
3.2.1.1.1	Geração das partículas	18
3.2.1.1.2	Secagem das partículas	18
3.2.1.1.3	Classificação das partículas	18
3.2.1.1.4	Aplicação do adesivo	19
3.2.1.1.5	Formação do colchão	19
3.2.1.1.6	Prensagem.....	19
3.2.1.1.7	Acabamento	21
3.2.1.2	Fatores inerentes à madeira que influenciam nas propriedades das chapas de aglomerado	21
3.2.1.2.1	Densidade.....	21
3.2.1.2.2	Acidez	22
3.2.1.2.3	Teor de Extrativos.....	23
3.2.1.2.4	Teor de Umidade	23
3.2.1.2.5	Geometria das partículas.....	24
3.2.1.3	Classificação das chapas de aglomerado.....	25
3.3	Adesivos	26
3.3.1	Ureia-formaldeído	28
3.3.2	Resina Poliuretana	28
4	Material e métodos.....	30
4.1	Obtenção e preparo das partículas	31
4.1.1	Determinação da Razão de esbeltez	32
4.1.2	Secagem das partículas	34
4.2	Produção das chapas	34

4.3	Análise química	38
4.3.1	Teor de umidade	38
4.3.2	Teor de extrativos totais	39
4.3.3	Solubilidade da madeira em água fria, água quente e pH	41
4.3.3.1	Solubilidade em água fria.....	41
4.3.3.2	Solubilidade em água quente	42
4.3.3.3	pH.....	42
4.4	Avaliação das propriedades físicas dos painéis	43
4.4.1	Teor de umidade	43
4.4.2	Densidade	44
4.4.2.1	Densidade da madeira de seringueira.....	45
4.4.2.2	Razão de Compactação	46
4.4.3	Absorção de água.....	46
4.4.4	Inchamento em espessura	47
4.5	Avaliação das propriedades mecânicas dos painéis	47
4.5.1	Flexão estática	48
4.5.2	Adesão Interna.....	50
4.6	Delineamento experimental e forma de análise dos resultados	52
5	Resultados e Discussão	54
5.1	Razão de esbeltez.....	54
5.2	Análises químicas	54
5.3	Propriedades Físicas das chapas de madeira aglomerada.....	55
5.3.1	Teor de umidade	55
5.3.2	Densidade	58
5.3.3	Inchamento	60
5.3.4	Absorção	64
5.4	Propriedades Mecânicas das chapas de madeira aglomerada.....	67
5.4.1	Adesão interna	67
5.4.2	Flexão estática	69
6	Conclusão	75
7	Referências Bibliográficas	76

1 INTRODUÇÃO

Buscando inicialmente resolver problemas gerados pela escassez da madeira na Europa e, atualmente, visando a redução de desperdícios na indústria madeireira, e uma produção mais sustentável, métodos alternativos de utilização de matérias primas provenientes de resíduos se acentuaram e uma das respostas para esse problema é a produção de painéis derivados da madeira (CARVALHO; VALARELLI; VISNARDI, 2006; MASISA, 2013).

Inicialmente o setor de produção de derivados da madeira no Brasil, utilizava madeiras de espécies nativas no seu processo. Devido às pressões ambientais, ao aumento do consumo e ao distanciamento das reservas naturais, as indústrias precisaram encontrar espécies alternativas para a fabricação dos painéis. A solução para tal problema foi resolvido com a utilização de madeira de plantios florestais que hoje é utilizada pelas indústrias de papel, chapas de fibras, aglomerados, compensados e madeira serrada.

Atualmente, os gêneros mais plantados são, principalmente, o *Pinus* e o *Eucalyptus*, cujas espécies são consideradas de rápido crescimento (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS, 2006).

Em 2007, no Brasil existia aproximadamente 6 milhões de hectares de reflorestamento (*Pinus* e *Eucalyptus*). Sendo 1,8 milhões com o gênero *Pinus* e 3,75 milhões com *Eucalyptus*. Já em 2011, a área de reflorestamento aumentou para quase 6,5 milhões de hectares, sendo 1,6 milhões com o gênero *Pinus* e 4,9 milhões com *Eucalyptus*. Esse resultado mostra a redução da área plantada de *Pinus*. Considerando que a matéria-prima principal da indústria de aglomerado é o *Pinus*, essa redução pode ser um fator preocupante.

Embora o *Pinus* e *Eucalyptus* sejam as espécies mais significativas em termos de área plantada no Brasil, outras espécies como Teca, Acácia e Seringueira também são de grande importância econômica ao setor madeireiro.

Um dos plantios que vêm aumentando consideravelmente nos últimos anos é o da seringueira, sendo que, em 2007 a área plantada era de 85.768 hectares e em 2011 atingiu 165.648 hectares (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF 2008; 2012).

A cultura da seringueira pode ser utilizada de várias formas, a principal delas é para a extração do látex. A sua borracha é de suma importância para o país e para o mundo,

sendo a mesma utilizada na fabricação de centenas de artefatos de grande utilidade para a sociedade. Contudo, após a vida produtiva do látex, a madeira de seringueira é, geralmente destinada para fins energéticos, quando poderia ser empregada na produção de produtos de maior valor agregado, como em painéis derivados de madeira, por exemplo.

Na literatura consultada foram encontrados poucos estudos que abordam o tema da utilização da seringueira na produção de painéis derivados da madeira, o que justifica o desenvolvimento desta pesquisa. Dentre eles destaca-se o trabalho de Okino, Santana e Souza (2000) que confeccionaram painéis de madeira aglomerada constituídos de camadas homogêneas com partículas e “flakes” oriundos da madeira de seringueira, provenientes dos clones IAN 717, IAN 873, GT711 E AVRO 130, com resina de ureia-formaldeído. Segundo os autores, todos os resultados de propriedades mecânicas das chapas foram superiores aos exigidos pelas normas DIN 68761 e ANSI A208.1-93, com exceção do MOR, para chapas de partículas do clone IAN 873. Quanto às propriedades físicas (inchamento e absorção em água), todas as chapas de partículas excederam o valor máximo proposto pela norma DIN, mas estavam compatíveis com as encontradas no mercado. As chapas de “flake” apresentaram melhor resistência mecânica do que as de partículas. Okino, Santana e Souza (2000), concluíram que a madeira de *Hevea brasiliensis* é viável para a fabricação de painéis de madeira aglomerada constituídos com partículas e “flakes”.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral

Estudar a viabilidade da utilização da madeira de *H. brasiliensis*, como matéria prima para confecção de painéis de madeira aglomeradas.

2.2 Específicos

Verificar a influencia de diferentes composições de camada na qualidade dos painéis de madeira aglomerada, produzidos com madeira de *H. brasiliensis*.

Estudar as variações na qualidade painéis de madeira aglomerada, produzidos com madeira de *H. brasiliensis*, em função do tipo de resina utilizada no encolamento das partículas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Seringueira

Seringueira é o nome popular de uma planta que pertence ao gênero *Hevea*, família das Euphorbiaceae. A sua dispersão natural está fixada aos limites da região Amazônica brasileira, porém, vem mostrando grande adaptabilidade aos mais variados ambientes, como nas regiões Sudeste, Centro-oeste, na Bahia e mais recentemente no oeste do Paraná.

A espécie *Hevea brasiliensis* (Wild. Ex. A. Juss) Muell. Arg é explorada economicamente, por produzir látex de boa qualidade e com elevado teor de borracha (NOGUEIRA, PALMA E BALLARIN, 2009; MARINHO, 2006; MARTO, 2007). Ambientalmente a plantação de seringueira tem impacto positivo, pois o plantio de um seringal tem características de floresta tropical. Além disso, a borracha natural não necessita de muita energia para a sua produção e as árvores contribuem na fixação de CO₂, colaborando com a minimização dos problemas relacionados ao aumento do efeito estufa (Instituto Agrônômico de Campinas, 2012).

Atualmente o estado de São Paulo é responsável pela maior parte da produção borracha natural do Brasil. Somente esse estado em 2011 possuía 14 milhões de hectares aptos à heveicultura (OMINE; MORAES, 2013; SANTOS, 2011).

A importância da borracha natural está na sua qualidade, que combina leveza, elasticidade, termoplasticidade, resistência à abrasão e à corrosão, impermeabilidade a líquidos e gases, isolamento elétrico, bem como capacidade de adesão ao tecido e ao aço. A borracha natural, em alguns casos, pode ser substituída pela borracha sintética, proveniente do petróleo e de composição química semelhante, mas com qualidade diferenciada. A borracha natural apresenta características únicas, que possibilitam seu emprego, principalmente, na confecção de luvas cirúrgicas, preservativos, pneus automotivos e revestimentos diversos.

No contexto mundial, projeções indicam que o consumo de borracha crescerá mais do que a sua produção. Alguns especialistas estimam que no ano de 2020 o consumo de borracha natural será de 9,71 milhões de toneladas para uma produção de 7,06 milhões de toneladas. Nesse sentido, a renovação de seringais antigos e o incremento de novos, são

medidas que devem ser adotadas para suprir o déficit da produção de borracha natural no Brasil e no mundo (SANTOS, 2011).

Esse crescimento já pode ser visto, pois os plantios de seringueira vêm aumentando consideravelmente nos últimos anos no Brasil, passando de 85.768 hectares, em 2007 para 165.648 hectares em 2011 (ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF 2008; 2012).

A seringueira é uma árvore de fuste ereto, podendo atingir 30 m de altura total sob condições favoráveis. As árvores no estado de São Paulo apresentam um diâmetro de 30 a 35cm na região do DAP, estando aptas ao corte (IAC, 2012). A extração do látex se inicia no sexto ano de plantio, porém a produção só atinge seu nível máximo por volta do décimo ano e se mantém em média por 30 anos. Quando a extração de látex em um talhão não é mais economicamente viável, o que caracteriza o final de sua vida produtiva, procede-se a derrubada das árvores de *H. brasiliensis*, para reformulação do plantio.

No Brasil, a madeira de *H. brasiliensis* obtida ao final do ciclo produtivo do látex é, tradicionalmente, utilizada de forma quase que exclusiva para fins energéticos (PALMA, 2010). Porém, segundo Killmann (2001), citado por Nogueira, Palma e Ballarin (2009) a madeira de seringueira tem sido vista com novos olhares, pois pode gerar uma atividade lucrativa e sustentável.

A madeira da seringueira apresenta boas características de tratabilidade (colagem, pregação, furação e outros). É uma madeira que pode ser curvada facilmente com o uso de vapor e tingida com facilidade. Segundo Ouro Branco (2008), a madeira não apresenta diferenciação entre cerne e alburno e sua coloração normalmente vai do branco ao creme, independente da direção do desdobro, com tendência a amarelar quando submetida à secagem. Apresenta uma grã bastante reta e densidade aparente variando 0,56 a 0,65 g/m³, de acordo com fatores genéticos, ambientais e fisiológicos. Diversos estudos realizados apontam que tais características qualificam a madeira da seringueira como excelente matéria-prima para diferentes finalidades, destacando-se para móveis residenciais, de escritórios, móveis institucionais, escolares, médico hospitalares, móveis para restaurantes, hotéis e similares, forros e escadas (SENAGA, 2012).

No mundo é crescente a utilização da madeira de seringueira como matéria-prima na indústria de produtos a base de madeira, tais como: madeira serrada, móveis, madeira

reconstituída, etc. Como exemplo, a forte indústria de base desta matéria-prima na região sul e sudeste da Ásia (Tailândia, Malásia, Índia, Indonésia e Vietnã) e também na China.

Em 1999 quase 80% do mobiliário fabricado na Malásia eram de madeira de seringueira, pois segundo o diretor-geral do Instituto Florestal, Francisco Kronka a madeira de seringueira se mostra muito boa para a confecção de cadeiras, mesas, dormitórios entre outros (SP...2012).

Desenvolver novos produtos que agreguem valor à madeira de seringueira ao final do ciclo produtivo de látex, como a confecção de painéis derivados da madeira, por exemplo, pode contribuir para ampliar o uso dessa espécie e também para criar uma opção de renda adicional ao heveicultor.

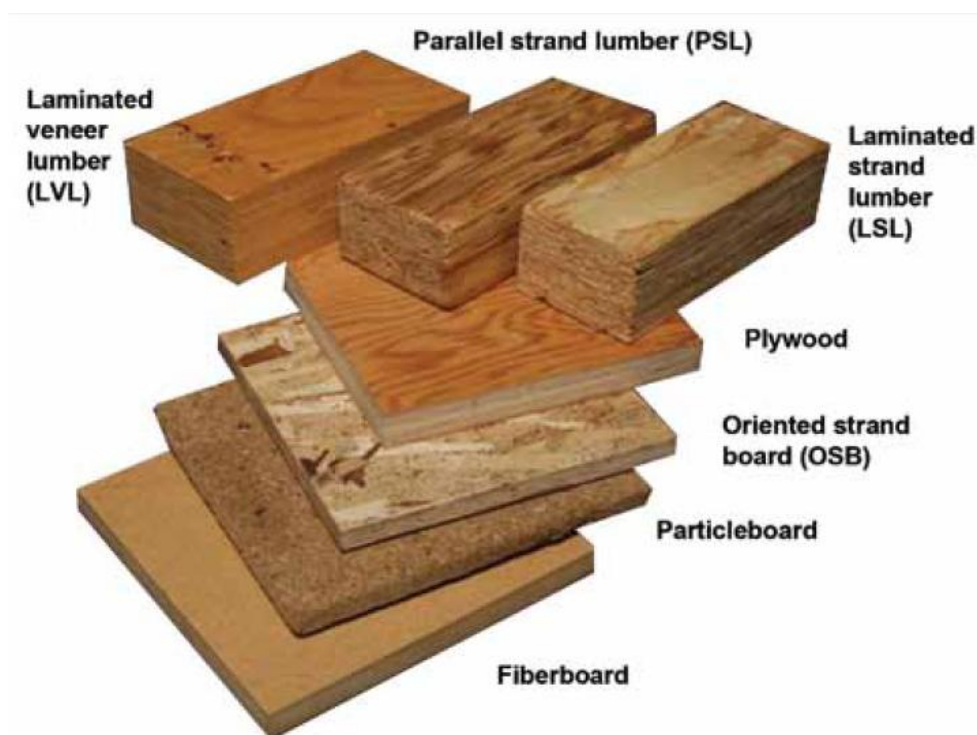
3.2 Painéis derivados da madeira

Os derivados de madeira compreendem uma gama de produtos obtidos a partir da desintegração da tora em: lâminas, partículas ou fibras e sua posterior agregação sob alta pressão e adição de resinas e aditivos (DERIVADOS...2012; ESPÓSITO, 2007).

A vantagem dos derivados da madeira em relação à madeira maciça está na composição mais homogênea dos painéis, o que proporciona uma maior uniformidade nas propriedades físico-mecânicas, independentemente da direção de corte. A heterogeneidade da madeira está relacionada com alguns defeitos provenientes da anatomia das árvores como nós, presença de medula, grã desalinhada, tensões de crescimento entre outros, que podem ser eliminados ou atenuados durante os processos de fabricação dos painéis dando uma maior homogeneidade ao produto. Também permite a obtenção de peças com maiores dimensões, que muitas vezes não são possíveis de se obter com a madeira serrada, visto que há limitações no diâmetro e comprimento das toras. Consequentemente, possibilita um aproveitamento quase da totalidade do material lenhoso de uma árvore (ESPÓSITO, 2007).

A produção de painéis derivados de madeira possibilita, ainda, a utilização subprodutos da indústria madeireira como, por exemplo, costaneira ou madeiras com diâmetro reduzido, o que agrega valor a este material, diminui a demanda de madeira industrial e possibilita um maior aproveitamento por hectare da floresta (IWAKIRI et al., 2005)

Figura 1- Diverosos tipos de painéis derivados de madeira



Fonte: Forest Products Laboratory (2010)

3.2.1 Aglomerado

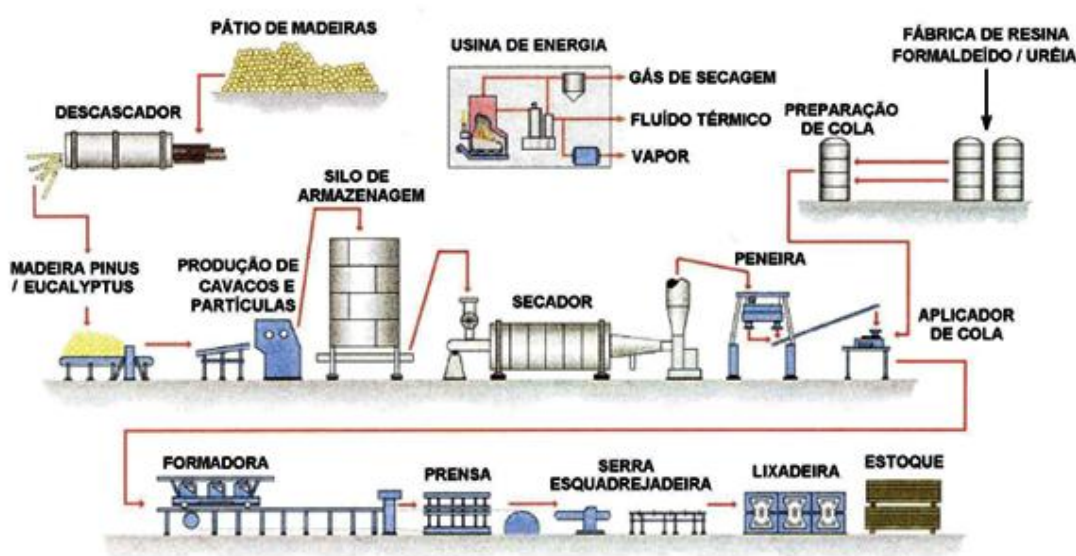
Aglomerados são painéis produzidos com partículas de madeira encoladas com resinas sintéticas e distribuição aleatória das partículas, consolidado através de prensagem a quente (IWAKIRI, 2005; IRLE e BARBU, 2010). A produção de chapas de partículas aglomeradas foi efetivada, de fato, devido à escassez de madeira na Alemanha nos anos 40, durante o período da Segunda Guerra Mundial (KOLLMAN et al., 1975; IRLE e BARBU, 2010), e também, pela necessidade de reduzir perdas ocorridas na indústria madeireira e na exploração florestal, os resíduos de poda e aqueles gerados no processo de usinagem e beneficiamento da madeira (costaneiras, sobras de destopo, maravalha, etc). Atualmente já existem estudos que apresentam a opção de utilização de resíduos de painéis compensados, MDF (*Medium Density Fiberboard*) e o próprio MDP (*Medium Density Particleboard*), para a produção de chapas de madeira aglomerada (WEBER, 2011).

No Brasil a produção de chapas de aglomerado iniciou-se em 1966 na cidade de Curitiba - PR. Atualmente, é um dos principais materiais usado no setor moveleiro brasileiro,

em função de seu custo competitivo e da possibilidade de produção em larga escala (IWAKIRI et al., 2008; ABIPA, 2002).

Para a produção de painéis de aglomerado é necessário que a madeira seja submetida a processos de redução primária e secundária, para se obter partículas com granulometrias ideais para produção dos painéis. As partículas devem ser secas, na sequência, impregnadas com resinas e aditivos e distribuídas de maneira uniforme formando um colchão. Após a aplicação de pressão a altas temperaturas o colchão adquire a forma definitiva e estável denominada aglomerado. O painel de aglomerado pode ser pintado ou revestido com vários materiais (MACEDO e ROQUE, 1997), como revestimento laminado tipo Baixa Pressão (BP), Finish Foil (FF) ou Lâmina Ecológica (LE), painel pintado ou laqueado. A Figura 2 representa um esquema geral, com as principais etapas da produção de aglomerado.

Figura 2- Esquema geral da produção de chapas de madeira aglomerada



Fonte: Iwakiri (2013)

3.2.1.1 Etapas do processo de produção das chapas de aglomerado

O processo de produção de chapas de aglomerados compreende as etapas de geração, secagem e classificação das partículas, aplicação do adesivo, formação do colchão, pré-prensagem, prensagem e acabamento, detalhadas a seguir.

3.2.1.1.1 Geração das partículas

A geração das partículas é a etapa onde se define o elemento dimensional da matéria prima. Segundo Kollman et al. (1975), as propriedades do aglomerado dependem basicamente do tipo de partícula utilizada na sua produção. Nessa etapa é onde se define a geometria das partículas utilizadas no processo produtivo as quais sofrem diretamente a influência da umidade da madeira, pois quanto mais seca a madeira estiver maior será a geração dos finos¹, enquanto que altos teores de umidade resultam no esmagamento das fibras. De acordo com Iwakiri (2005) a faixa ideal seria entre 35 e 50%, de umidade, no entanto, o controle no pátio de toras é difícil.

A geração das partículas inicia-se com a remoção da casca, visto que esta tem influências negativas sobre as propriedades do painel. Na sequência as toras são levadas a um picador onde ocorre o processamento de redução primária, que consiste na produção de cavacos. Posteriormente os cavacos são levados ao equipamento de redução secundária, geralmente um moinho de martelo, para a transformação em partículas menores (IRLE e BARBU, 2010).

3.2.1.1.2 Secagem das partículas

O teor de umidade das partículas exerce uma grande influência sobre as propriedades dos painéis, de modo que, após a geração as partículas, devem ser secas até um teor de umidade entre 2% e 8% (IRLE et al., 2012).

O tempo de secagem irá variar de acordo com a densidade da madeira, a espessura e a umidade inicial das partículas. Quanto maiores forem os valores dessas variáveis maior será tempo de secagem (IRLE e BARBU, 2010)

3.2.1.1.3 Classificação das partículas

Após a secagem, as partículas são classificadas para a remoção dos finos, *overs* e impurezas, assim obtendo as dimensões aceitáveis para a produção das chapas. A classificação pode ser feita através de peneira vibratória, que classificam as partículas em função de sua dimensão, ou de forma pneumática com utilização de ar, em função do peso das partículas (IWAKIRI, 2005; IRLE e BARBU, 2010).

¹ Partículas muito pequenas.

Algumas indústrias realizam a secagem após a classificação para economizar no gasto energético, uma vez que as partículas fora das dimensões aceitáveis são descartada e também pelo fato de facilitar o controle das variáveis da secagem quando se tem partículas da mesma dimensão a serem secas. Entretanto, a maior parte das indústrias realiza a secagem antes da classificação, pois as partículas úmidas tendem a se aglutinar, não permitindo uma classificação muito eficiente e sendo descartadas como se fossem partículas maiores (IRLE et al., 2012).

3.2.1.1.4 Aplicação do adesivo

O custo com adesivo pode representar de 35 a 60% do custo total da produção das chapas de aglomerado. Normalmente é utilizado de 6 a 12% de adesivo em relação à base seca das partículas. Para chapas homogêneas a aplicação é feita com o mesmo aplicador, para as de múltiplas camadas, utilizam-se aplicadores diferentes para as camadas externas e interna (IWAKIRI, 2005; STARK; CAI; CARLL, 2010 apud FERREIRA, 2012).

Para a aplicação do adesivo existem basicamente dois sistemas: por rolos e por atomização, o qual é o mais utilizado pelas indústrias, pois apresenta uma maior uniformidade de aplicação do adesivo sobre a superfície das partículas (IWAKIRI, 2005).

3.2.1.1.5 Formação do colchão

Na indústria, após encoladas, as partículas são distribuídas em uma esteira móvel, em quantidades pré-determinadas, em função da espessura e densidade do painel. O equipamento utilizado na formação do colchão é chamado de estação formadora. Nele há um reservatório onde é dosado o material que vai para o sistema de distribuição sobre a esteira móvel. Segundo Maloney (1993), a formação pode ser contínua, que é a mais utilizada pela indústria ou descontínua, forma geralmente utilizada em escala laboratorial.

3.2.1.1.6 Prensagem

A prensa é um dos equipamento mais caros da indústria de painéis. Chega a custar aproximadamente 15% do investimento da empresa e, portanto, deve ser operada da maneira

mais eficiente possível (IRLE e BARBU, 2010). Para tal muitas empresas realizam um processo de pré-prensagem a frio, com objetivo de diminuir os vazios, melhorar a consistência e diminuir a altura do colchão (50 a 70%) e facilitar o seu transporte até a prensa aquecida.

Esta etapa pode aumentar a produção industrial, como exemplificado por Kronospan Ltd., no Reino Unido, que elevou sua produção em aproximadamente 20% (IRLE e BARBU, 2010).

A prensagem a quente tem como objetivo a cura da resina, a densificação e consolidação do colchão até a espessura final do painel. Diversos autores afirmam que os parâmetros de maior importância nesse processo são: tempo de prensagem, temperatura, pressão, tempo de abertura e fechamento da prensa.

- ❖ **Temperatura de prensagem:** tem a função de processar a polimerização e cura da resina, e de plasticização da madeira, reduzindo sua resistência à compressão e, com isso, facilitar a consolidação do colchão até a espessura final do painel e até a abertura dos pratos. A temperatura e o tempo de prensagem são parâmetros correspondentes, pois quanto maior a temperatura, menor será o tempo. A temperatura de prensagem depende do adesivo utilizado, variando entre 200° a 220°C.
- ❖ **Pressão:** tem as funções de densificação e consolidação do material, até atingir a espessura final do painel. A pressão aplicada pode variar na faixa de 2 a 4 MPa, dependendo principalmente a densidade final do painel, assim como, da densidade da matéria prima e espessura desejada do painel.
- ❖ **Tempo de prensagem:** é o tempo transcorrido a partir do momento da consolidação do colchão até a espessura final do painel. Deve ser suficiente para que o centro do painel atinja a temperatura necessária para a cura da resina. É definido em função da espessura da chapa, umidade do colchão e temperatura de prensagem.
- ❖ **Tempo de fechamento da prensa:** é o momento desde o contato dos pratos quentes da prensa com a superfície do colchão até atingir a espessura final do painel. Está relacionado com a formação do gradiente vertical de densidade do painel.

3.2.1.1.7 Acabamento

Após a prensagem os painéis são resfriados por 48h e, na sequência, são esquadrejados para o ajuste das dimensões. Nas prensas contínuas o esquadrejamento é realizado logo após a prensagem. Para padronizar a espessura dos painéis é realizado o lixamento e também para conferir um melhor acabamento superficial. Os painéis podem ser vendidos crus ou revestidos. O revestimento depende da utilização final do painel, e podem ser lâminas decorativas, papel melamínico, FinishFoil entre outros (IRLE et al, 2012; IRLE e BARBU, 2010).

3.2.1.2 Fatores inerentes à madeira que influenciam nas propriedades das chapas de aglomerado

Segundo Naumann et al. (2007), existem alguns requisitos básicos referentes a espécie da madeira que deve-se considerar para a produção de chapas de madeira aglomerada, tais como: a densidade, acidez, extrativos e materiais estranhos, que são resíduos encontrados na madeira durante processo de usinagem e que podem prejudicar o acabamento dos painéis.

Ainda de acordo com o autor, ocorrem interações simultâneas entre os fatores relacionados com a espécie de madeira e os fatores de inerentes ao processo de produção dos painéis, que às vezes, de forma não linear, favorecem ou prejudicam algumas propriedades das chapas.

3.2.1.2.1 Densidade

O requisito básico da madeira para ser utilizada como matéria-prima na produção dos painéis aglomerados, é a baixa densidade, para que a razão de compactação² seja de, no mínimo, 1.3, de modo que ocorra a densificação que a chapa necessita para sua formação (IWAKIRI, 2005).

Segundo Maloney (1993) é aconselhável a utilização madeiras de pinus e algumas da espécie de eucaliptos, com densidade variando entre 0,30 e 0,50g/cm³. No entanto Nascimento (2003) utilizou em sua pesquisa madeiras oriundas do Nordeste do Brasil, com densidade variando entre 0.95 e 1.04, como Angico, Algaroba e Jurema Preta, para produção

²Relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira

de chapas de madeira aglomerada com camadas homogêneas, e concluiu que essas espécies podem ser utilizadas para produção da chapas de madeira aglomerada.

Diversos autores recomendam o uso de madeiras de baixa densidade em virtude de alguns fatores, como a impregnação do adesivo e a pressão de prensagem. A impregnação do adesivo está associada à porosidade da madeira que é maior em madeiras de baixa densidade do que as de alta densidade, o que facilita a penetração do adesivo.

Madeiras com alta densidade necessitam de uma maior quantidade de pressão específica durante a prensagem para atingirem um bom contato entre as partículas, produzindo assim painéis de alta densidade, isso gera um custo maior na produção e torna os painéis mais pesados (FERREIRA, 2013; IRLE e BARBU, 2010).

3.2.1.2.2 Acidez

Na colagem deve-se considerar a influência do pH tanto da madeira quanto do adesivo, pois a acidez da madeira irá influenciar na cura da resina utilizada para a colagem (DIAS, 2005).

O pH da madeira pode variar com o tempo e condições de armazenamento. Espécies de madeira com pH baixo podem acelerar a cura de algumas resinas, como a de ureia-formaldeído, fazendo com que o resultado da colagem seja comprometido. Já para resinas fenólicas pode prejudicar a colagem (IRLE e BARBU, 2010).

O pH da resina não deve ultrapassar os limites mínimo de 2,5 e máximo de 11, pois podem resultar na degradação das fibras da madeira e prejudicar na colagem do produto (MARRA, 1992; DIAS, 2005). Um pH muito baixo do adesivo pode provocar uma formação excessiva de espuma na mistura prejudicando a aplicação do adesivo (MARRA, 1992), assim como a pré-cura do adesivo, que afeta na umectação e penetração do adesivo na madeira, comprometendo a qualidade de colagem do painel (MENDES, 2010).

Para diminuir a influência do pH tanto do adesivo como o da madeira na cura do adesivo é utilizado catalisador e endurecedores, que são produtos como cloreto de amônia e sulfato de amônia

3.2.1.2.3 Teor de Extrativos

Extrativos são elementos presentes no lume ou nas paredes celulares da madeira. São constituídos de matérias orgânica, normalmente produzidos durante a formação do cerne e têm efeito determinante na permeabilidade da madeira (MENDES, 2001 apud MENDES, 2010). Esses compostos podem exercer uma considerável influência na colagem dos painéis, pois afetam as reações de polimerização da resina, influenciando na qualidade dos painéis. (LIMA et al., 2007),

Segundo Marra (1992) madeiras com elevados teores de extrativos apresentam dificuldades de colagem, pois inibem as reações de cura do adesivo, resultando em baixa resistência da ligação adesiva entre as partículas. Além disso, os extrativos podem ser volatilizados durante o processo de prensagem, sob influência da temperatura, pressão e umidade do colchão, causando a formação de bolhas no painel (HILLIG, 2000).

3.2.1.2.4 Teor de Umidade

O teor de umidade das partículas influencia na cura da resina, tempo de prensagem, pressão específica para a consolidação do colchão e espessura final da chapa. Durante o processo de prensagem do painel é necessário um baixo teor de umidade das partículas, pois o excesso de umidade convertido em vapor, ao ser liberado repentinamente na abertura da prensa, pode causar a delaminação e a formação de bolhas no (IRLE et al., 2012 apud FERREIRA, 2013).

Segundo Maloney (1993), o teor de umidade, e sua distribuição podem interferir nas propriedades dos painéis. Se ocorrer uma variação da densidade em relação às camadas do painel, camadas com maiores teor de umidade serão mais densificadas, conseqüentemente estas chapas terão maior resistência a esforços de flexão do que chapas com umidade uniforme no colchão.

De acordo com Kollman et al. (1975) a umidade das partículas após a secagem pode variar entre 3% e 12%. O teor de umidade das partículas deverá permitir uma boa penetração do adesivo, para se obter uma boa colagem.

Partículas muito secas podem causar algumas desvantagens durante o processamento das mesmas, como o aumento da quantidade de pó e o risco de pegar fogo no

secador. Porém ela é fundamental para a transmissão do calor da superfície da chapa até o centro, durante o processo de prensagem, para promover a cura do adesivo (CAMPOS, 2013).

3.2.1.2.5 Geometria das partículas

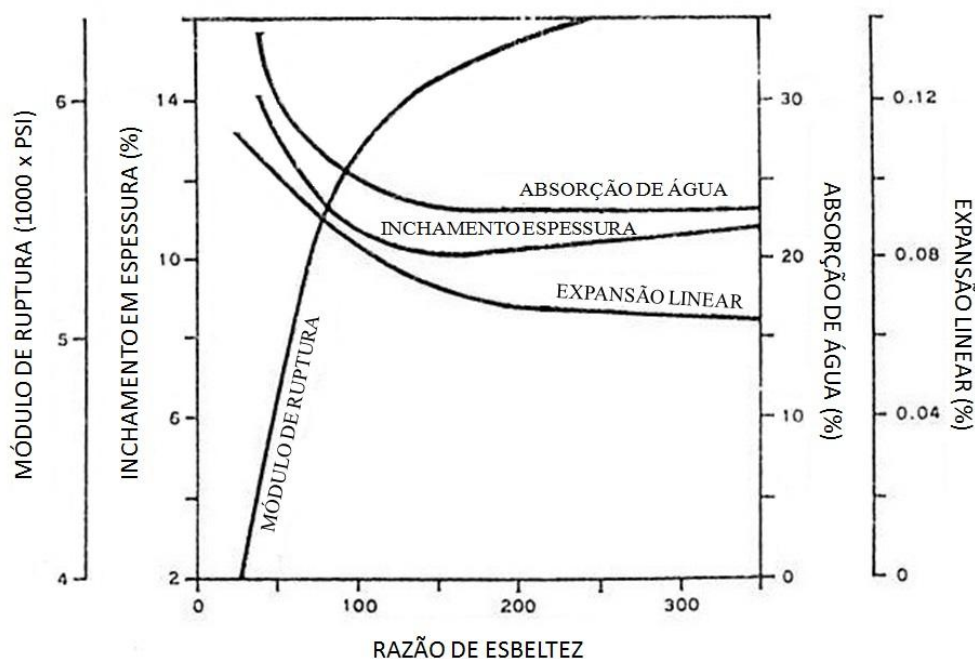
A geometria das partículas é um dos principais fatores a ser levado em consideração na produção das chapas de madeira aglomerada.

De acordo com Vital et al. (1992), quanto maior o comprimento e menor espessura da partícula, maior será a resistência do painel a flexão estática e maior estabilidade dimensional. Já partículas com menor comprimento e mais espessas, garantem uma maior resistência à tração perpendicular ou ligação interna, pois quanto menor a área superficial específica da partícula, maior quantidade de adesivo utilizado, o que aumenta a ligação interna dos painéis.

Para se avaliar esta influência utiliza-se a razão de esbeltez, que é a relação entre o comprimento e a espessura das partículas (VITAL et al., 1992). De acordo com a literatura os valores da razão de esbeltez para painéis com múltiplas camadas podem variar de 120 a 200 para camada interna e 60 para as camadas externas.

Moslemi (1974) apud Ferreira (2013) realizou estudos onde analisou a influencia da razão de esbeltez em algumas propriedades física e mecânicas dos painéis de aglomerado (Figura 3), e verificou que uma menor razão de esbeltez resulta em menor MOR, maior inchamento em espessura e maior absorção de água, tornando o material menos resistente e mais instável.

Figura 3- Módulo de ruptura, inchamento em espessura, absorção de água e expansão linear em função da razão de esbeltez



Fonte: Moslemi (1974) apud Ferreira (2013)

3.2.1.3 Classificação das chapas de aglomerado

Segundo a NBR 14810/2006, as chapas de aglomerado devem ser classificadas fazendo-se referência à sua densidade, natureza do adesivo, geometria de partículas e característica complementar.

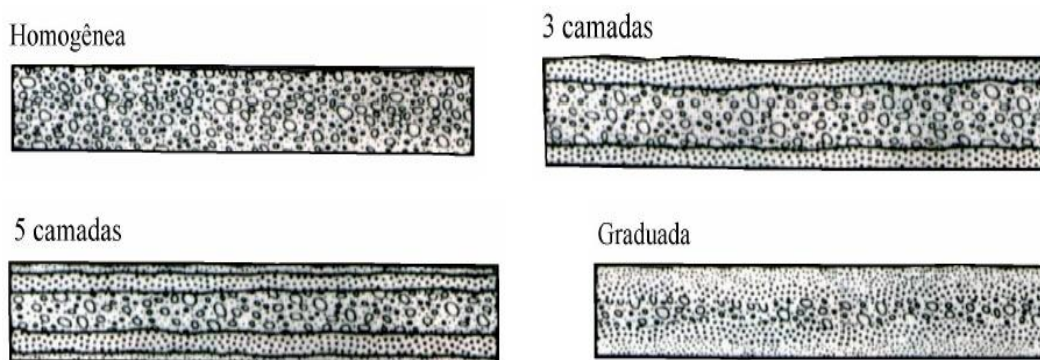
As chapas de madeira aglomerada devem apresentar uma densidade média, compreendida entre 551 kg/m^3 e 750 kg/m^3 . As partículas do aglomerado convencional devem ser do tipo “sliver”, que tem geometria quadrada ou retangular, obtidas no sentido paralelo às fibras da madeira (NBR 14810, 2006; Dias, 2005).

Segundo Iwakiri (2005) de acordo com a distribuição das partículas as chapas de aglomerado podem ser classificadas com homogêneas, múltiplas camadas (geralmente 3 e 5 camadas) ou graduadas (Figura 4)

- ❖ **Homogênea:** A mistura das partículas está distribuída ao acaso, formando um colchão homogêneo;

- ❖ **Múltiplas camadas:** Partículas com granulometrias mais finas são dispostas nas camadas externas e, nas camadas internas, partículas com granulometrias mais grossas;
- ❖ **Graduada:** Apresentam uma variação gradativa do tamanho das partículas através das camadas, sendo, partículas com granulometrias mais finas nas camadas externas e nas camadas internas partículas com granulometrias mais grossas.

Figura 4- Classificação dos painéis segundo a distribuição das partículas



Fonte: Iwakiri (2005)

3.3 Adesivos

De acordo com Iwakiri (2005) adesivo é uma substância capaz de manter unidos outros materiais em suas superfícies. O termo adesivo é utilizado para designar os materiais com propriedades aderentes, inclui todos os produtos que são comumente conhecidos como colas, cimentos, pastas e selantes.

Os adesivos podem ser classificados em termos da sua composição química ou tipo de polímero e forma física, permitindo a união de matérias onde não seria possível o uso de outros métodos (SILVA, 2006).

Iwakiri (2005) cita que a utilização de adesivos pelo homem surgiu a milhares de anos, sendo empregadas inicialmente substâncias naturais com características aglutinantes e com o passar dos anos foram substituídos por adesivos de origem animal. A utilização de adesivos aumentou principalmente pelo surgimento de máquinas de beneficiamento de madeira e colagem de lâminas para produção de compensados. A partir desse período houve

um progresso gradativo com o desenvolvimento da química de materiais para produção e aperfeiçoamento de novos adesivos para madeira, surgindo assim os adesivos sintéticos. O mesmo autor afirma ainda que com a tecnologia de colagem de madeira desenvolvida possibilita que haja de forma direta a conservação de recursos florestais através do aproveitamento integral da madeira unindo diversos tamanhos e formas de madeira gerando produtos reconstituídos de madeira.

Os adesivos, em função da sua origem, podem ser classificados em naturais ou sintéticos, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1- Classificação dos adesivos conforme a sua origem

Tipo de Adesivos	Origem
Naturais	Amidos, dextrina e gomas vegetal
	Cola animal, feita de couro, tendões, ossos, cascos, peles de peixe
	Albumina de sangue solúvel (subproduto de matadouros)
	Caseína (coalhada de leite, cal e outros químicos)
	Proteína vegetal (farinha de soja, amendoins entre outros)
	Goma laca
	Borracha, borracha sintética.
	Asfalto
Sintéticos	Silicato de sódio, oxiclreto de magnésio, etc
	Termofixas (uréia, melamina, fenol, resorcinol, furano, epóxi)
	Termoplásticas (acrílico, poliamida, poliestireno, álcool polivinílico)

Fonte: Kollmann et al. (1975)

Os adesivos de origem sintética são os mais utilizados atualmente, devido à sua propriedade de adesão e resistência ao ataque de agentes xilófagos serem superiores quando comparados aos adesivos de origem natural.

Os principais adesivos empregados nas indústrias utilizam o formaldeído, que quando liberado, pode vir a acarretar problemas ao meio ambiente e à saúde dos seres humanos. O formaldeído é um derivado do petróleo e, durante a etapa de prensagem a quente dos painéis, ocorre à liberação de gases, o que vem sendo combatido pelos órgãos de controle ambiental, pois trata-se de um composto altamente tóxico. Muitos investimentos são feitos buscando um adesivo livre deste componente, mas que apresente a mesma eficácia (DIAS, 2008).

Nas indústrias de MDP, comumente é utilizada a resina de ureia-formaldeído, mas utiliza-se também em menor escala, o fenol-formaldeído, melamina-formaldeído e o isocianato. (FERREIRA, 2012).

3.3.1 Ureia-formaldeído

Desenvolvida no início da década de 30, a resina de ureia-formaldeído (UF) começou a ser empregada em escala industrial, pelo setor madeireiro, na colagem de madeira sólida e na produção de compostos derivados da madeira. Esse adesivo apresenta algumas vantagens como o baixo custo, se comparado a outros adesivos, não inflamável e coloração clara podendo ser utilizado na confecção de produtos decorativos. Porém apresenta pouca resistência à umidade quando comparado a outras resinas. Devido à baixa resistência a umidade o adesivo de UF é classificado como de uso interno (IWAKIRI, 2005; FERREIRA, 2011; FRIHART, 2005).

3.3.2 Resina Poliuretana

O termo poliuretano (PU), se aplica a polímeros que contenham unidades orgânicas unidas por ligações uretanais. Esse adesivo possui uma estrutura polimérica altamente reticulada que confere ao adesivo boa resistência e estabilidade química (KRICHELDORF; NUYEN; SWIFT, 2000; THOMSON, 2005; CERCHIARI, 2013).

A resina de PU, pode ser encontrada nos sistemas, mono e bi-componente. É utilizada em larga escala pela indústria e, devido à alta reatividade e flexibilidade, fatores que garante boas propriedades mecânicas, adesão e resistência a intempérie, é empregada principalmente como revestimento e adesivo. Suas propriedades químicas permitem adaptação para uso em diversos materiais, como espumas, selantes, tintas plásticas rígidas, adesivos, etc. (MALUCELLI, et al., 2005; WIRTS et al., 2003).

Sua composição básica consiste em isocianato que é um composto orgânico, poliálcool e outros adesivos. O poliálcool é desenvolvido com a função de reagir como um pré-polímero ou um di-isocianato comercial, podendo gerar poliuretanos com propriedades específicas (SILVA, 2006).

A utilização de polióis provenientes de recursos renováveis no desenvolvimento de materiais não poluentes e biodegradáveis, abriu caminhos para as pesquisas com óleos de mamona como substitutos para derivados do petróleo

Desenvolvido na década de 40, o adesivo de poliuretano obtido através da extração do óleo extraído da mamona, que é uma planta facilmente encontrada, ou cultivada, na maioria das regiões do Brasil, pode ser empregado na produção de chapas de madeira aglomerada, as quais são fabricadas atualmente com adesivos ureicos (CERCHIARI, 2013).

Dentre suas principais vantagens sobre os adesivos tradicionais está a maior resistência a umidade (CERCHIARI, 2013). Apesar do mercado promissor, o emprego da resina poliuretana derivada do óleo de mamona, ainda não é empregada comercialmente pela indústria nacional de madeira aglomerada.

A competitividade do adesivo poliuretano em relação a outros polímeros existentes reside no fato de ser originário de matéria-prima natural e renovável, nos preços razoáveis dos di-isocianatos disponíveis no Brasil, e por não ser nocivo ao homem e ao ambiente, quando sua cura é a frio. (DIAS et al., 2005).

4 MATERIAL E MÉTODOS

O material utilizado na realização deste trabalho é proveniente de árvores de *Hevea brasiliensis* dos clones GT1 e RRIM 600, com aproximadamente 25 anos de idade, coletadas em um plantio experimental (Figura 4) da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ-USP), localizada no município de Piracicaba, SP, situado à latitude 22°43'30" sul e a longitude 47°38'56" oeste.

Figura 5- Seringal da ESALQ/USP



Fonte: Servolo Filho (2013)

Foram utilizados os resíduos do desdobro inicial das toras (costaneiras) e amostras já caracterizadas, utilizadas em ensaios de flexão estática (Figura 5) realizados como parte do trabalho desenvolvido por Servolo Filho (2013).

Figura 6- Material utilizado na pesquisa



Fonte: Autoria própria

O processamento da matéria prima, a produção dos painéis de MDP, os ensaios físicos-mecânicos e as análises químicas, foram realizados no campus da UNESP em Itapeva-SP, e compreenderam as seguintes etapas:

4.1 Obtenção e preparo das partículas

Inicialmente foi realizado o processamento primário da matéria prima para a confecção de chapas de partículas, que consistiu no seccionamento das peças em uma serra fita e no processamento em um picador de facas. Na sequência o material foi processado em um moinho de facas tipo Willye, resultando em partículas de menor granulometria.

As partículas foram classificadas em peneira vibratória, para a obtenção das granulometrias ideais e remoção dos “finos” e “overs”, que são partículas de pequenas e grandes dimensões, respectivamente. Para a separação das partículas foram utilizadas peneira, com diferentes aberturas de malha, sendo que, na peneira de 10 *mesh* foram alocados os “overs” e nas peneiras de 20 e 32 *mesh* foram alocados materiais a serem utilizados na produção das chapas (Figura 6). Como finos, foi considerado o material passante na peneira de 32 *mesh*.

Figura 7- Partículas utilizadas para produção dos painéis 20 mesh (a) e 32 mesh (b)



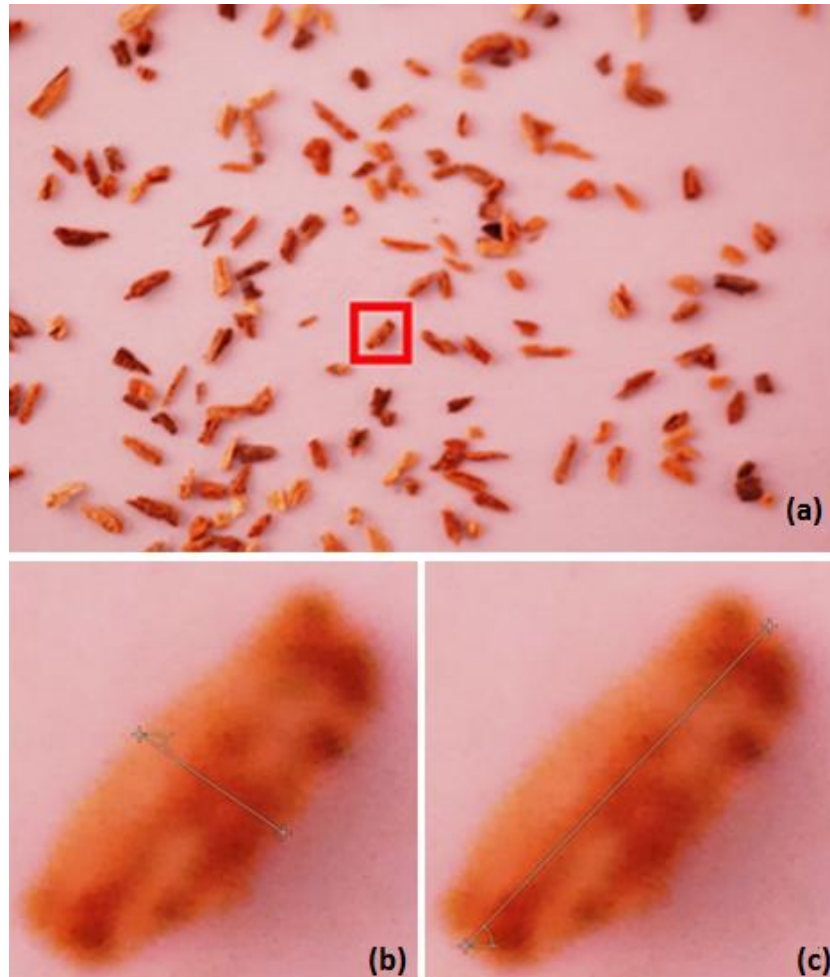
Fonte: Autoria própria

4.1.1 Determinação da Razão de esbeltez

Após a produção das partículas foi realizada a determinação da razão de esbeltez, que é a relação entre o seu comprimento e a sua espessura. Devido ao tamanho reduzido das partículas geradas, optou-se pela utilização da análise digital de imagens, para a medição do comprimento e espessuras das mesmas.

O método consistiu em distribuir sobre uma superfície branca, uma amostra de partículas (aproximadamente 30 partículas) de cada uma das granulometrias e fotografá-las utilizando uma câmera fotográfica digital da marca Nikon, com resolução de 10 Megapixels. Em seguida as imagens foram processadas e analisadas no programa GIMP 2.8.6, que é um programa de acesso livre. As partículas foram tomadas aleatoriamente na imagem e tiveram suas dimensões de largura e comprimento medidas com o uso da "ferramenta de medidas", como mostrado no exemplo da Figura 8.

Figura 8- Imagem utilizada para determinar a razão de esbeltez das partículas retidas na peneira de 20 mesh (a), determinação da espessura (b) e comprimento das partículas(c)



Fonte: Autoria própria

A razão de esbeltez foi determinada segundo a Equação 1.

$$RE = \frac{c}{e} \quad (1)$$

RE = razão de esbeltez da partícula;
 c = comprimento da partícula, (mm);
 e =espessura da partícula, (mm).

4.1.2 Secagem das partículas

Tendo em vista que a madeira utilizada já se encontrava em equilíbrio higroscópico, em função do processo de secagem natural a que foi submetida, e que, após o processamento, as partículas apresentaram um teor de umidade médio, de 9,21% à temperatura ambiente. Optou-se, então, por não realizar a etapa de secagem, pois esse valor encontra-se dentro da faixa colocada por Kollmann et al. (1975) como aceitável para o teor de umidade das partículas antes da aplicação do adesivo.

4.2 Produção das chapas

Para a fabricação dos painéis de MDP foram definidos quatro tratamentos levando em consideração o adesivo utilizado ureia-formaldeído (UF) e poliuretano (PU) e a composição da camada, homogênea (Homo) e heterogênea (Het). Na Tabela 2 estão apresentadas as características dos quatro tratamentos e a nomenclatura de cada painel produzido.

Tabela 2- Condições de confecção das chapas

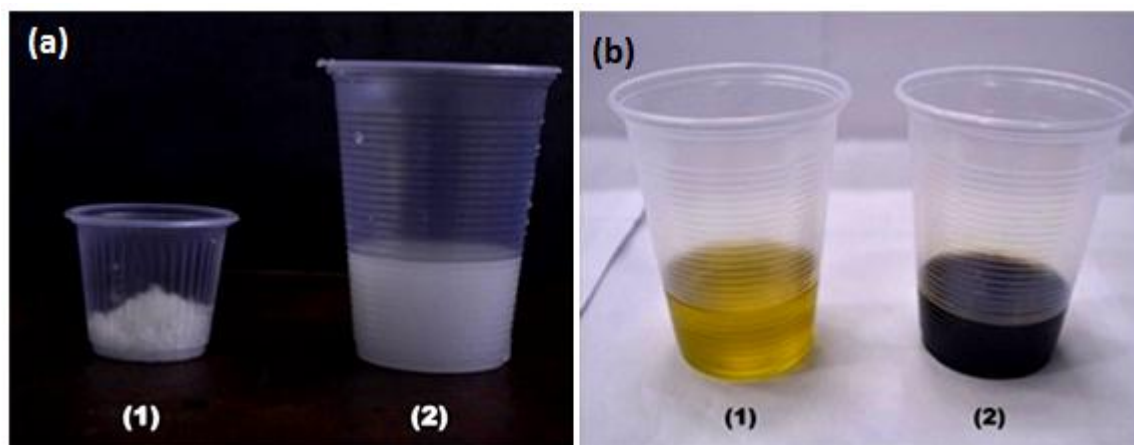
Tratamento	Nomenclatura	Resina	Composição
1	HomoUF	UF	Homogênea
2	HomoPU	PU	Homogênea
3	HetUF	UF	Heterogênea
4	HetPu	PU	Heterogênea

Em cada painel foram utilizados 2Kg de material particulado. Para os painéis homogêneos foram utilizadas partículas com granulometria passante na peneira de 10 *mesh* retidas na de 20 *mesh*. Para as painéis heterogêneos foram utilizadas, na camada interna, partículas de maior granulometria, aquelas que passaram na peneira de 10 *mesh* e ficaram retidas na peneira de 20 *mesh*. Já nas camadas externas foram utilizadas as partículas de menor granulometria, que são aquelas que passaram na peneira de 20 *mesh* e ficaram retidas na peneira de 32 *mesh*.

Para a colagem das partículas foram utilizados os dois adesivos citados acima. A resina de UF (Figura 9a) é à base de água, com teor de sólidos de aproximadamente 65% e

pH próximo do neutro e o catalisador de sulfato de amônio, na porcentagem de 10% em relação à massa do adesivo, conforme recomendações o fabricante. A resina de PU (Figura 9b) é do tipo bi-componente derivada de óleo de mamona e inorgânico.

Figura 9- Componentes das resinas de UF: catalizador (1a) e adesivo (1b) e PU: polioli (1b) e pré-polímero (2b)



Fonte: Autoria própria

Inicialmente foram preparadas as dosagens dos dois adesivos, sendo ambos na porcentagem 12% em relação à base seca. Os valores encontrados na literatura variam entre 6% e 12% de adesivo utilizado para esse tipo de painel. Sendo a seringueira uma madeira mais densa do que as espécies normalmente usadas, como o pinus por exemplo, que possui densidade de $0,40\text{g/cm}^3$ e também por não haver muitos estudos sobre a espécie utilizada, optou-se por usar 12% de adesivo em relação à base seca do peso das partículas para cada camada, não havendo diferença entre as camadas interna e externa.

Não foi adicionada água a mistura do adesivo de UF em virtude do teor de umidade das partículas estar superior a 3%. Também não foi adicionada emulsão de parafina na mistura, essa medida foi adotada para garantir os mesmos parâmetros de comparação em relação aos painéis produzidos com adesivo PU.

Na sequência o adesivo foi misturado às partículas de cada chapa, com o auxílio de uma batedeira industrial planetária (Figura 10).

Figura 10- Encolamento das partículas



Fonte: Autoria própria

Como a quantidade de material utilizado em cada painel era superior à capacidade do equipamento, o encolamento das partículas foi realizado em três etapas.

Na produção os painéis com camadas homogêneas o material particulado e o adesivo foram divididos em três partes iguais e, em seguida homogeneizados. Na produção dos painéis com múltiplas camadas, as partículas foram encoladas nas proporções 1:2:1 ($\frac{1}{2}$ kg : 1kg : $\frac{1}{2}$ kg), sendo camada externa, interna e externa respectivamente.

Para a formação do colchão de partículas foi utilizada uma caixa formadora vazada com dimensões laterais de 50 cm x 50 cm, disposta sobre uma de chapas metálicas revestidas com papel alumínio (Figura 11a) para que as partículas não impregnassem na chapa no momento da prensagem. Para ambas as chapas, as partículas foram distribuídas manualmente na caixa formadora, de maneira uniforme (Figura 10b), sendo que para as chapas heterogêneas as camadas foram dispostas sucessivamente na caixa formadora, seguindo as mesmas proporções citadas acima.

Figura 11- Fomação do colhão de partículas: (a)caixa formadora e (b) distribuição das partículas.



Fonte: Autoria própria

Após a distribuição das partículas, foi realizada manualmente uma pré-prensagem com o auxílio de uma chapa de madeira do tamanho do interior da caixa formadora, para diminuição dos vazios e facilitar o desenforme e o transporte até a prensa. Após o desenforme, outra chapa metálica revestida com papel alumínio foi posicionada sobre o colchão (Figura 12) que, em seguida, foi conduzido à prensagem.

Figura 12- Colchão de partículas antes da prensagem



Fonte: Autoria própria

Os colchões foram levados a uma prensa hidráulica, à temperatura de 140°C, pressão específica de 40kgf/cm² e tempo de prensagem de doze minutos, distribuídos em quatro ciclos de três minutos cada. Foram produzidos dois painéis para cada tratamento, com

dimensões nominais de 50 x 50cm e espessura de 10 mm (Figura 13). Após a prensagem, as chapas foram deixadas em temperatura ambiente para a estabilização final por 48 horas.

Figura 13- Prensa hidráulica (a) e conjunto pronto para ser prensado (b)



Fonte: Autoria própria

Após a estabilização das chapas, elas foram esquadrejadas e seccionadas para a obtenção dos corpos de prova, para sua caracterização físico-mecânica. Antes da realização dos ensaios, os corpos de prova que foram acondicionados em câmara climatizadora à temperatura de $20 \pm 3^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 3\%$, por 72 horas, conforme especificações da NBR 14810/2006.

4.3 Análise química

A análise química do material foi realizada através dos testes de teor de umidade, teor de extrativos totais e pH. Para tal, foram geradas partículas segundo as recomendações da norma TAPPI T257 cm-85 que são as que passaram pela peneira de 32 *mesh* e foram retidas na peneira de 60 *mesh*.

4.3.1 Teor de umidade

Inicialmente foi determinada a massa das partículas absolutamente secas. Para isso, pesou-se em um béquer, previamente tarado, aproximadamente 2g de partículas úmidas, com o auxílio de uma balança analítica, com precisão de 0,0001g. O procedimento foi realizado em duplicata de acordo com as recomendações da norma. Na sequência, os béqueres foram levados à estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$, onde permaneceram por 24 horas. Após

transcorrido esse período, foram retirados da estufa e levados ao dessecador para esfriar até a temperatura ambiente, sendo então novamente pesados. O teor de umidade foi calculado utilizando-se a Equação 2.

$$A.S. = \frac{m_u - m_s}{m_u} * 100 \quad (2)$$

$A.S.$ = valor absolutamente seco das partículas, (%);

m_u = massa úmida da amostra, (g);

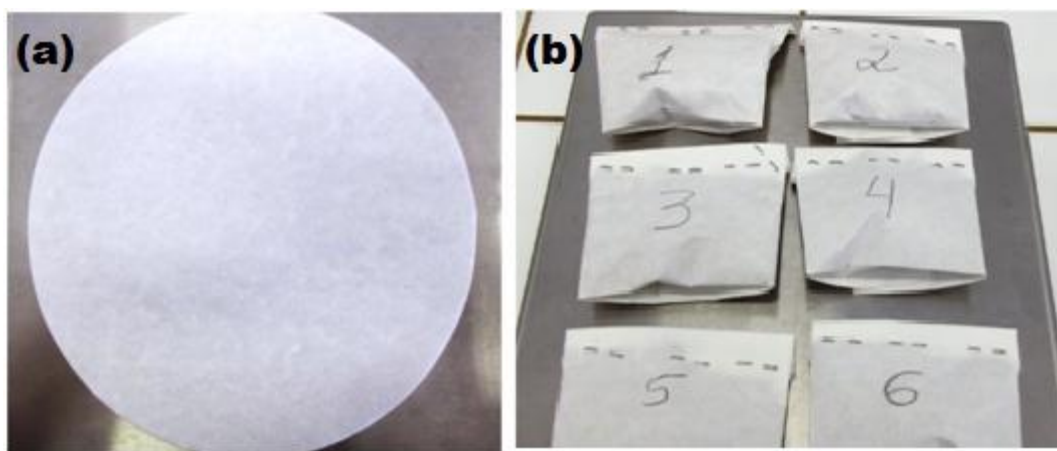
m_s = massa seca da amostra, (g).

4.3.2 Teor de extrativos totais

O teste de teor de extrativos totais foi realizado de acordo com a norma TAPPI T204 cm-97, e contou com seis repetições.

Foi utilizado papel filtro tarja azul, com baixa concentração de cinzas (Figura 13a), dobrado no formato de um envelope, no qual foi acondicionado, aproximadamente, 4g de amostra livre de umidade. O envelope foi grampeado nas extremidades, isolando a amostra do contato com o meio externo (Figura 13b).

Figura 14- Material preparado para o teste de teor de extrativos totais: Papel de filtro (a), Envelopes lacrados (b)



Fonte: Autoria própria

Na sequência o material foi levado a um aparelho de extração tipo soxhlet (Figura 15), sendo alocados três em cada sifão.

Figura 15- aparelho de extração tipo soxhlet



Fonte: Autoria própria

Primeiramente em cada balão, localizado na parte inferior do tubo de extração, foi adicionado 150 ml de solução de etanol-tolueno na concentração 1:1 por um período de 5 horas. Após esse período houve a troca da solução sendo adicionada solução de etanol, o processo de extração durou por mais 4 horas.

O solvente foi aquecido no balão, que quando entrou em ebulição evaporou. O vapor proveniente do solvente passou para o condensador onde foi refrigerado voltando ao estado líquido e enchendo o extrator. Quando o solvente condensado ultrapassou um determinado volume, ele escoou de volta para o balão, onde foi aquecido, e novamente evaporado. Os solutos ficaram concentrados no balão. No decorrer tempo, o solvente foi extraíndo os compostos solúveis presentes nas amostras.

Posteriormente, os envelopes foram retirados do aparelho e abertos sendo transferido o seu conteúdo com o auxílio de uma pisseta, contendo água destilada, a um

béquer com 300ml de água destilada. Os béqueres foram levados ao banho Maria, à temperatura de 99°C, por uma hora.

Na sequência o conteúdo foi transferido para um cadinho filtrante (nº 2), com massa previamente determinada, onde foi realizada a filtração da amostra, através do sistema de filtração a vácuo. Para a lavagem das amostras, durante a filtração, foi utilizado 500 mL de água destilada quente. Em seguida os cadinhos foram levados à estufa à 103 ± 2 °C, onde permaneceram por 24 horas. Após transcorrido este período, eles foram retirados da estufa e levados ao dessecador para esfriar até a temperatura ambiente, sendo então novamente pesados.

O teor de extrativos foi determinado através da Equação 3

$$T. E. = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (3)$$

T. E. = valor do teor de extrativos, (%);

m_1 = massa inicial da amostra absolutamente seca, (g);

m_2 = massa da amostra livre de extrativos, (g).

4.3.3 Solubilidade da madeira em água fria, água quente e pH

A análise do teor de extrativos solúveis em água fria e quente foi realizado de acordo com a norma TAPPI T207 cm-99 e a determinação do pH de acordo com a TAPPI T252 om-98. Cada um dos procedimentos foi realizado em duplicata.

4.3.3.1 Solubilidade em água fria

Aproximadamente 2g de amostra livre de umidade foram acondicionados em um béquer contendo 300ml de água destilada e mantidos por 48 horas em temperatura ambiente, com agitação frequente.

Na sequência o conteúdo foi transferido para um cadinho filtrante (nº 2), com massa previamente determinada, onde foi realizada a filtração da amostra, através do sistema de filtração a vácuo. Para a lavagem das amostras, foi utilizado 150mL de água destilada. Em seguida os cadinhos foram levados à estufa a 103 ± 2 °C, onde permaneceram por 24 horas.

Após transcorrido este período, foram retirados da estufa e levados ao dessecador para esfriar até a temperatura ambiente, sendo então novamente pesados.

O teor de extrativos foi determinado através da Equação 4.

$$T.Es. = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (4)$$

T. Es. = teor de extrativos solúveis em água fria, (%);
 m_1 = massa inicial da amostra absolutamente seca, (g);
 m_2 = massa da amostra livre de extrativos, (g).

4.3.3.2 Solubilidade em água quente

Inicialmente foi pesado aproximadamente 2g de amostra livre de umidade em um béquer com 100ml de água destilada quente. Os béqueres foram ao banho Maria, à temperatura de 99°C, por três horas.

Na sequência o conteúdo foi transferido para um cadinho filtrante (nº 2), com massa previamente determinada, onde foi realizada a filtração da amostra, através do sistema de filtração a vácuo. Para a lavagem das amostras, foi utilizado 150mL de água destilada quente. Em seguida os cadinhos foram levados à estufa à 103 ± 2 °C, onde permaneceram por 24 horas. Após transcorrido este período, eles foram retirados da estufa e levados ao dessecador para esfriar até a temperatura ambiente, sendo então novamente pesados. O teor de extrativos foi determinado através da Equação 5.

$$T.Es. = \frac{m_1 - m_2}{m_1} * 100 \quad (5)$$

T. Es. = teor de extrativos solúveis em água quente, (%);
 m_1 = massa inicial da amostra absolutamente seca, (g);
 m_2 = massa da amostra livre de extrativos, (g).

4.3.3.3 pH

Para a determinação do pH, foram utilizados os líquidos resultantes das filtrações acima mencionados. Foi determinado o valor do pH do material a quente e a frio com o auxílio de um pHmetro.

4.4 Avaliação das propriedades físicas dos painéis

Para a avaliação das propriedades físicas dos painéis, foram confeccionados os corpos de prova para a realização dos ensaios de determinação do teor de umidade, densidade, absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água. Foram utilizados 10 corpos de prova, em cada ensaio, atendendo assim as indicações de amostras ideais para garantir confiabilidade nos valores obtidos. Os ensaios foram realizados com base nos procedimentos descritos na norma para chapas de madeira aglomerada (NBR 14810/2006).

4.4.1 Teor de umidade

Os corpos de prova para a determinação do teor de umidade, foram confeccionados com dimensões nominais de 50mmx50mm e espessura da chapa (Figura 16).

Figura 16 - Corpos de prova de teor de umidade e densidade, referentes aos tratamentos HomoUF, HetUF, HomoPU e HetPU, da esquerda para a direita, respectivamente.



Fonte: Autoria própria

Primeiramente os corpos de prova foram pesados em uma balança semi-analítica com precisão de 0,01g. Em seguida foram levados à estufa com temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até obter-se massa constante, considerada quando, passadas 4h da introdução na estufa, a massa não variar mais do que 0,1%. Após a retirada da estufa, os corpos de prova foram resfriados em um dessecador, sendo novamente pesados. Com os dados de massa coletados pôde-se calcular os teores de umidade através da Equação 6.

$$U = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \quad (6)$$

U = teor de umidade, (%);

MU= massa úmida do corpo de prova, (g);

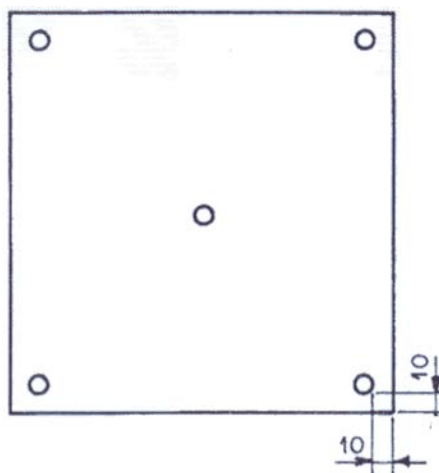
MS= massa seca do corpo de prova, (g).

4.4.2 Densidade

Os corpos de prova para a determinação da densidade foram confeccionados, com dimensões nominais de 50mm x 50mm e espessura da chapa (10mm) (Figura 16)

Após a identificação foi determinada a espessura dos corpos de prova, utilizando-se um micrômetro com resolução de 0,1 mm, tendo sido tomadas em cinco pontos, como ilustrado na Figura 17.

Figura 17- Pontos de medição no corpo de prova



Fonte: NBR 14810 (2006)

Também foram determinados o comprimento e a largura dos corpos de prova com o auxílio de um paquímetro com precisão de 0.1 mm, e o peso dos corpos de prova através de uma balança semi-analítica.

A densidade dos corpos de prova, foi determinada através das Equações 7 e 8.

$$D = \frac{M}{V} \times 1000000 \quad (7)$$

$$V = L \times C \times E \quad (8)$$

D = densidade do corpo de prova, (Kg/m³);

M = massa do corpo de prova, (g);

V = volume do corpo de prova, (mm³);

L = largura do corpo de prova, (mm);

C = comprimento do corpo de prova, (mm);

E = espessura do corpo de prova, (mm).

4.4.2.1 Densidade da madeira de seringueira

A determinação da densidade da madeira foi realizada conforme a NBR 7190/1997. Foram utilizados 12 corpos de prova com formato prismático de seção transversal retangular de 20mmx30mm de lado e comprimento ao longo das fibras de 50mm.

Segundo a NBR 7190/97 define-se o termo prático “densidade básica” da madeira como sendo a massa específica convencional obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado.

O volume saturado foi determinado pelas dimensões finais do corpo de prova submerso em água até que atingiram massa constante, considerada quando a variação não foi superior a 0,5% em relação à massa anterior.

Para determinara a massa seca das peças, os corpos de prova foram pesados em uma balança semi-analítica com precisão de 0,01g. Em seguida foram levados à estufa com temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$, até obter-se massa constante, considerada quando, passadas 6h da introdução na estufa, a massa não variar mais do que 0,5%. Com os dados de massa coletados pôde-se calcular os teores de umidade através da Equação 9.

$$\rho = \frac{m_s}{V_{\text{saturado}}} \quad (9)$$

m_s = massa seca da madeira, (Kg);

V_{saturado} = volume da madeira saturada, (m³).

4.4.2.2 Razão de Compactação

A Razão de Compactação (RC) dos painéis produzidos foi determinada através dos valores médios encontrados para a densidade da madeira de seringueira e a densidade dos painéis de cada tratamento. Para o cálculo foi utilizada a Equação 10.

$$RC = \frac{D_p}{D_m} \quad (10)$$

RC = Razão de compactação do painel;

D_p = Densidade do painel, (Kg/m³);

m = Densidade da madeira maciça, (Kg/m³).

4.4.3 Absorção de água

Para o ensaio de absorção de água foram utilizados corpos de prova, com dimensões nominais de 25mmx25mm e espessura da chapa (Figura 18).

Figura 18- Corpos de prova para o ensaio de inchamento e absorção de água, referentes aos tratamentos HetUF, HomoUF, HomoPU e HetPU, da esquerda para a direita, respectivamente;



Fonte: Autoria própria

Após a identificação foi determinada a massa dos corpos de prova utilizando-se uma balança semi-analítica. Na sequência os corpos de prova foram colocados em um recipiente com água destilada, de modo que ficassem submersos. A água foi mantida a uma temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ por $2\text{h} \pm 3$ minutos e $24\text{h} \pm 3$ minutos de imersão. Após esses períodos, os corpos de prova foram retirados do recipiente, com um papel absorvente foi removido o excesso de água deles e uma nova determinação de massa foi realizada. A absorção em água dos corpos de prova, foi determinada através da Equação 11.

$$A = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100 \quad (11)$$

A= absorção de água, (%);

M_1 = massa do corpo de prova após imersão, (g);

M_0 = massa do corpo de prova antes da imersão, (g).

4.4.4 Inchamento em espessura

Para o ensaio de inchamento em espessura foram utilizados corpos de prova com dimensões de 25mmx25mm e espessura da chapa (Figura 18).

Após a identificação com auxílio de um micrometro foi medida a espessura no centro dos corpos de prova, que foram, em seguida, colocados em um recipiente com água destilada, de modo que ficassem submersos. A água foi mantida a uma temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ por $2\text{h} \pm 3$ minutos e $24\text{h} \pm 3$ minutos de imersão. Após os corpos de prova serem retirados do recipiente foi removido o excesso de água com papel absorvente e foi medida novamente a espessura em seu centro.

Para o cálculo do inchamento em espessura do corpo de prova, foi utilizada a Equação 12.

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \times 100 \quad (12)$$

I=inchamento em espessura, (%);

E_1 = espessura do corpo de prova após o período de imersão considerado, (mm);

E_0 = espessura do corpo de prova antes da imersão, (mm).

4.5 Avaliação das propriedades mecânicas dos painéis

Para a avaliação das propriedades mecânicas das chapas de aglomerado, foram confeccionados os corpos de prova para a realização dos ensaios para a determinação dos módulos de ruptura (MOR) e de elasticidade (MOE) na flexão estática e adesão interna. Foram utilizados 10 corpos de prova, para cada ensaio, atendendo assim as indicações de amostras ideais para garantir confiabilidade nos valores obtidos. Os ensaios foram realizados com base nos procedimentos descritos na norma para chapas de madeira aglomerada (NBR14810/2006).

Para a realização dos ensaios foi utilizada uma máquina universal de ensaios EMIC DL300000N com célula de carga Trd 29 2T.

4.5.1 Flexão estática

Foram utilizados corpos de prova com dimensões nominais de 250 mm x 50 mm no ensaio de flexão estática para a determinação do Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE) (Figura 19).

Figura 19- Corpos de prova para o ensaio de flexão estática, referentes aos tratamentos HomoUF, HetUF, HomoPU e HetPU, de baixo para cima, respectivamente



Fonte: Autoria própria

Primeiramente foram medidas a espessura e a largura média dos corpos de prova, como o auxílio de um paquímetro, com precisão de 0,1mm. Foi realizado um ensaio de flexão a três pontos, sendo considerado um vão de 200mm entre os apoios (Figura 20).

Figura 20- Aparato montado para o ensaio de flexão



Fonte: Autoria própria

Na realização do ensaio a carga foi aplicada até o rompimento do corpo de prova, com velocidade de carregamento constante de 6mm/min, seguindo as recomendações da NBR 14810/2006, para chapas de aglomerado com espessura superior a 6mm e menor ou igual a 12mm.

Os valores de MOR e MOE foram obtidos através das Equações 13 e 14 respectivamente, que foram adicionadas ao software da EMIC.

$$MOR = \frac{1,5 * P * D}{B * E^2} \quad (13)$$

MOR=módulo de ruptura, (MPa);

P=carga de ruptura lida no indicador de cargas, (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).

$$MOE = \frac{P1 * D^3}{d * 4 * B * E^3} \quad (14)$$

MOE =módulo de elasticidade,(MPa);

$P1$ = carga no limite proporcional lida no indicador de cargas, (N);

D = distância entre apoios do aparelho, (mm);

d = deflexão correspondente à carga $P1$, (mm);

B = largura do corpo-de-prova, (mm);

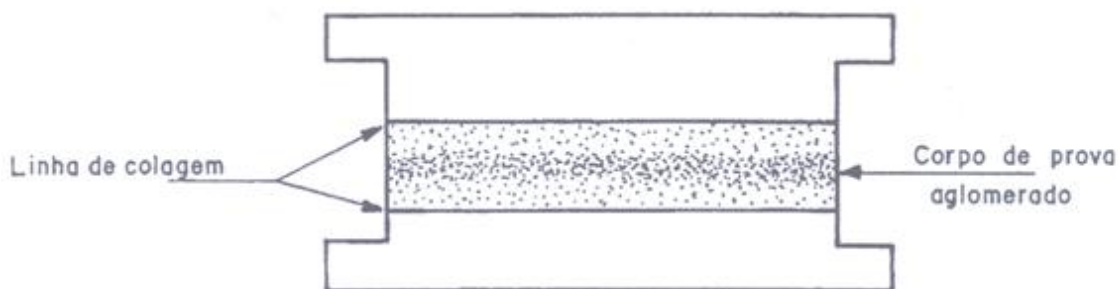
E = espessura média tomada em três pontos do corpo de prova, (mm).

4.5.2 Adesão Interna

Para o ensaio de adesão interna ou tração perpendicular os corpos de prova foram confeccionados com dimensões nominais de 50mmx50mm e espessura da chapa (Figura 16).

Após a identificação, foram determinados o comprimento e largura com o auxílio de um paquímetro com resolução de 0,1 mm. Em seguida foi colado, em cada corpo de prova, um dispositivo de tração, composto por um par de sapatas confeccionadas em madeira de *Eucalyptus* sp., com dimensões nominais de 75mm X 60mm, conforme esquema apresentado na Figura 21.

Figura 21- Esquema do corpo de prova e seu acoplamento ao dispositivo de tração



Fonte: NBR 14810 (2006)

Para a montagem do esquema acima citado, inicialmente foram lixadas homogeneamente ambas as faces do corpo de prova e uma das faces de cada sapata. Para a colagem dos mesmos foi utilizado um adesivo instantâneo, à base de cianocrilato e o conjunto foi prensados com sargento por 24h (Figura 22).

Figura 22- Colagem das sapatas nos corpos de prova para ensaio de adesão interna



Fonte: Autoria própria

Após a colagem, os conjuntos foram acondicionados em câmara climatizadora à temperatura de $20\pm 3^{\circ}\text{C}$ e umidade relativa de $65\pm 3\%$, por 72 horas, conformes especificações da NRB 14810/2006.

Após a climatização os conjuntos foram acoplados no dispositivo da máquina universal de ensaios (Figura 23). O equipamento foi regulado a uma velocidade de carregamento de 4mm/min e carga foi aplicada até a ruptura do corpo de prova.

Figura 23- Conjunto montado para o ensaio de adesão interna.



Fonte: Autoria própria

Os valores da tensão de ruptura foram obtidos através da Equação 15, que foi adicionada ao software da EMIC.

$$TP = \frac{P}{S} \quad (15)$$

TP = resistência à tração perpendicular, (MPa);

P =carga na ruptura, (N);

S =área da superfície do corpo de prova,(mm²).

4.6 Delineamento experimental e forma de análise dos resultados

Na análise estatística foi realizada uma análise de variância (ANOVA) através do teste t de Student e Tukey, com nível de significância de 5% para testar a existência de diferenças significativas entre as médias. Inicialmente foram verificadas a normalidade dos dados e a homogeneidade das variâncias, através dos testes de Shapiro Wilk e Bartlett,

respectivamente. Para a análise estatística foi utilizado o software R versão 2.15.2-1 de 2012 e no Sisvar versão 5.3.

Os resultados médios foram comparados com valores pré-estabelecidos pelas normas NBR 14810/2006 e EN312/2003.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Razão de esbeltez

Os valores médios encontrado para a razão de esbeltez foram de 10,24 para as partículas retidas na peneira de 20 *mesh* e 5,73 para as retidas na peneira de 32 *mesh*.

Não existe uma norma que determine um valor padrão para a razão de esbeltez das partículas utilizadas na produção de painéis de MDP. De acordo com a literatura industrialmente os valores da razão de esbeltez para painéis com múltiplas camadas podem variar de 120 a 200 para camada interna e 60 para as camadas externas.

A baixa razão de esbeltez influenciou diretamente nas propriedades de inchamento em espessura, absorção de água, adesão interna e MOR.

5.2 Análises químicas

Os valores encontrados para as propriedades químicas analisadas estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3- Resultados das análises químicas para a madeira de *H. brasiliensis*

Propriedade analisada	Valor encontrado
Teor de umidade das partículas	9,21%
Teor de extrativos totais	14,55%
Solubilidade em água fria	14%
Solubilidade em água quente	14,4%
pH a quente	7,28
pH a frio	6,43

De acordo com Kollman et al. (1975) o teor de umidade das partículas, após a secagem, antes da aplicação do adesivo, pode variar entre 3% e 12%, portanto o valor obtido encontra-se dentro da faixa admissível, de modo que não foi necessário realizar a etapa de secagem das partículas, como colocado anteriormente.

Em relação ao teor de extrativos totais, Iwakiri (2005) afirma que a porcentagem de extrativos na madeira pode variar de 5 a 30%. Quanto menor o teor de extrativos, melhor a interação do adesivo com a madeira na colagem.

Em geral a madeira de seringueira apresenta baixos teores de extrativos, devido ao elevado teor de amido, média aproximada de 8%, quando comparado com outras espécies que variam entre 1 e 3% (SANTANA e EIRAS, 1999 apud SERVOLO FILHO, 2013).

O valor médio encontrado para a madeira estudada enquadra-se na faixa citada por Iwakiri (2005), mas está acima dos valores relatados por outros autores, como Alwin (2006) apud Oliveira Junior (2011), que cita teores de extrativos de 0,70-1,28% e Teixeira et al. (1993) que encontrou o valor de 5,5% para a mesma espécie.

O teor de extrativos solúveis em água foram próximos dos citados por Teixeira (1993), que encontrou os valores de 10,7% e 13,4% para solubilidade em água fria e quente respectivamente.

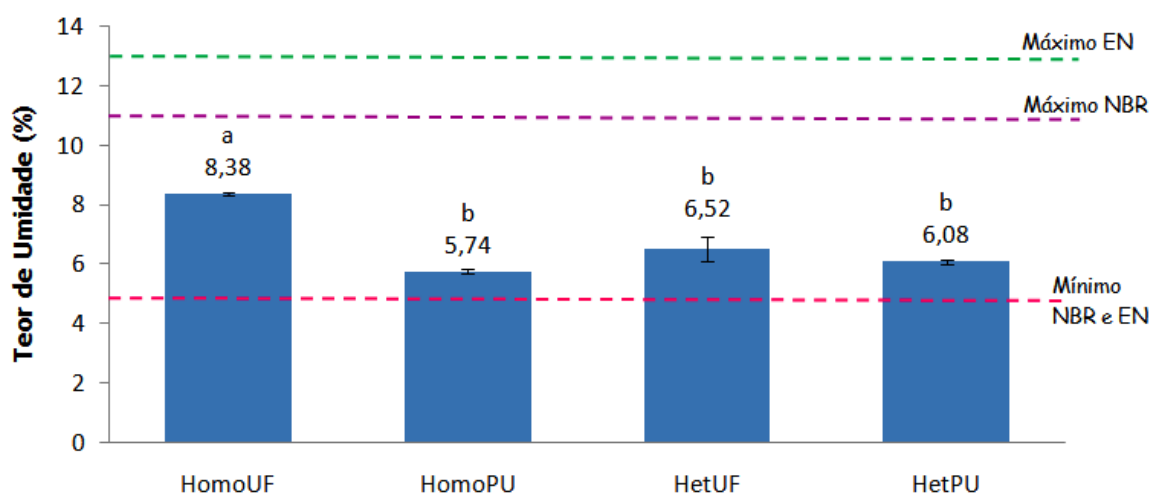
No que se refere ao pH, a madeira analisada apresentou valores próximos da neutralidade. Não foram encontrados valores de referência na literatura consultada.

5.3 Propriedades Físicas das chapas de madeira aglomerada

5.3.1 Teor de umidade

Os valores obtidos para o teor de umidade para todos os tratamentos, encontram-se dentro da faixa de variação admitida, tanto pela NBR 14810/2006 quanto pela EN 312/2003, segundo as quais, a umidade das chapas de aglomerado deve variar de 5% a 8% e 5 a 13%, respectivamente (Figura 24). Nessa mesma figura, verifica-se que quando analisadas pela média geral, as chapas produzidas com PU e a chapa HetUF, não diferiram estatisticamente, mas o teor de umidade da chapa HomoUF foi significativamente superior.

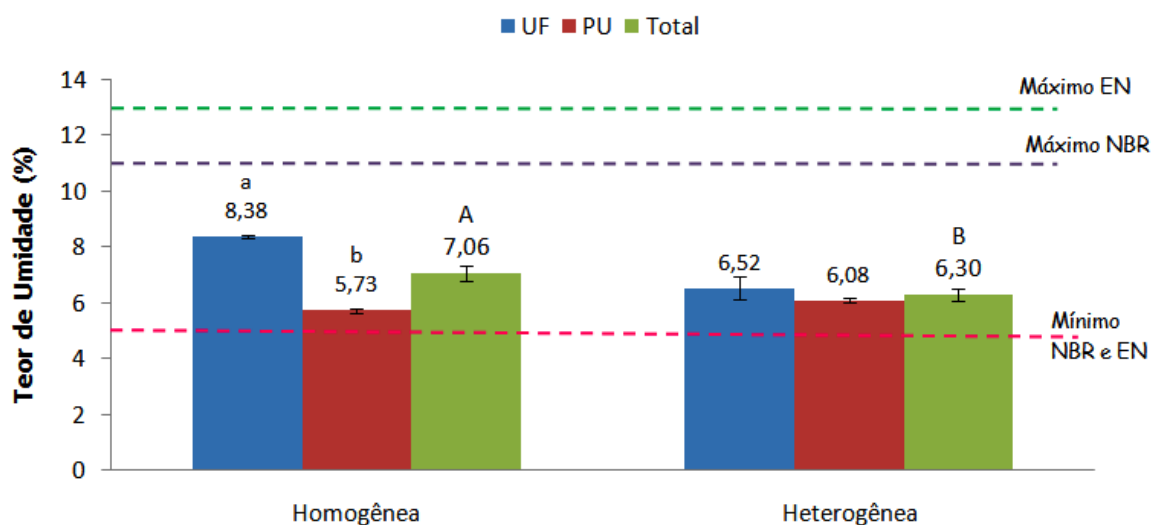
Figura 24- Média dos teores de umidades das chapas homogêneas e heterogêneas produzidas com os adesivos UF e PU



Quando analisadas separadamente, as chapas homogêneas e heterogêneas, diferiram significativamente, tendo as primeiras apresentado os maiores teores de umidade. (Figura 25). Essa diferença pode estar relacionada com a formação do colchão uma vez que as chapas heterogêneas apresentam menor quantidade de vazios.

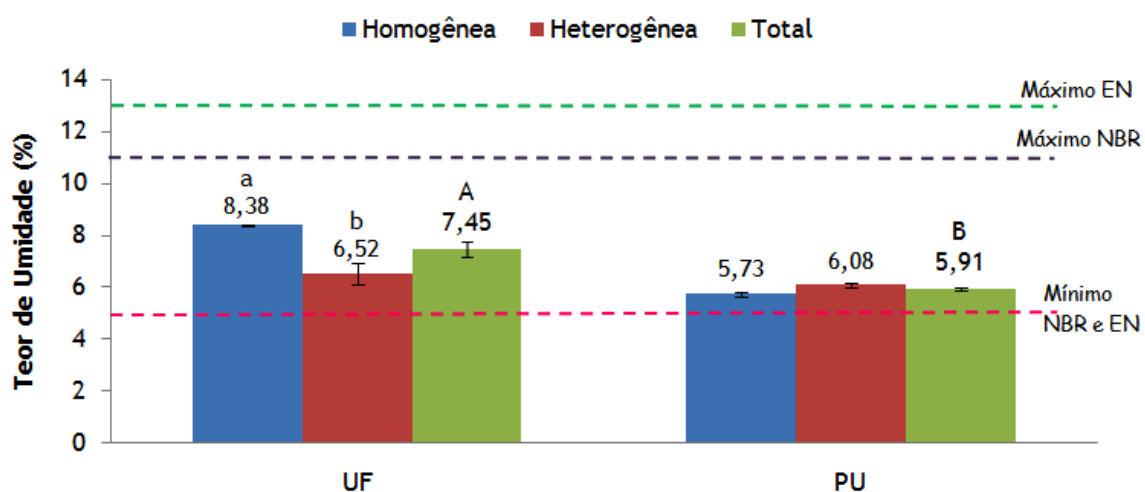
Dentro das chapas homogêneas, aquelas produzidas com o adesivo UF apresentaram os maiores teores de umidade e foram significativamente diferentes das produzidas com PU. Já entre as chapas heterogêneas, não foram encontradas diferenças entre os adesivos.

Figura 25- Média dos teores de umidade das chapas produzidas com adesivos UF e PU dentro de cada tipo de camada



Na análise dos adesivos (Figura 26), verificou-se os maiores teores de umidade foram encontrados para as chapas produzidas com UF, sendo que dessas, as chapas homogêneas apresentaram os maiores valores. Para as chapas produzidas com PU, não houve diferenças entre os tipos de chapa.

Figura 26- Médias dos teores de umidade das chapas homogêneas e heterogêneas dentro de cada tipo de adesivo



5.3.2 Densidade

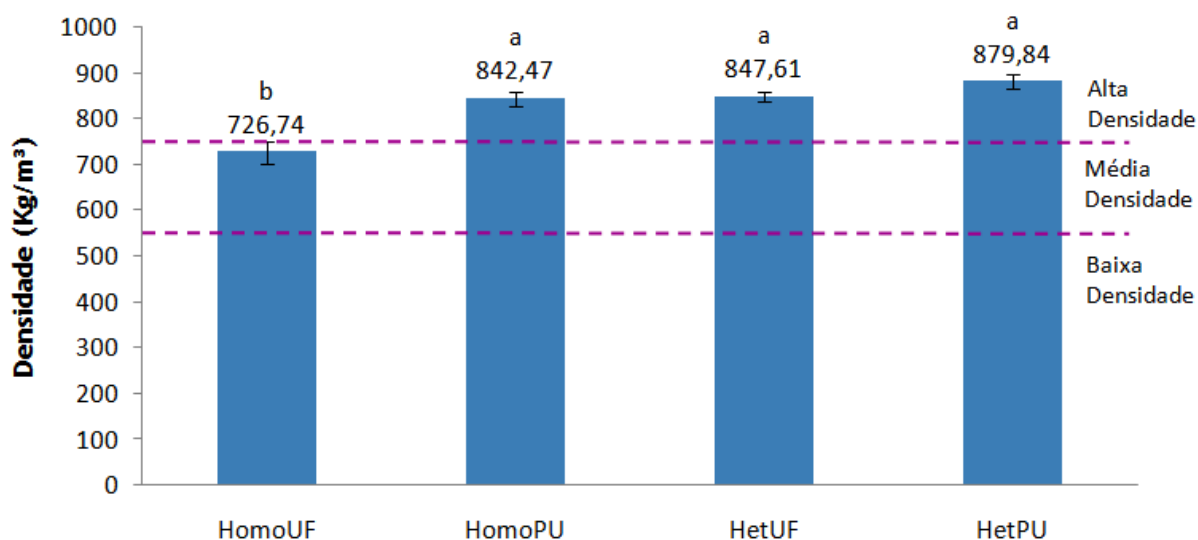
De acordo com a NBR 14810/2006, todas as chapas confeccionadas podem ser classificadas como de alta densidade, exceto a chapa HomoUF, que apresentou um valor significativamente mais baixo e se enquadra na faixa correspondente à média densidade (Figura 27).

A razão de compactação das chapas (Tabela 4), que é a relação entre a densidade da chapa e a densidade da madeira, está dentro da faixa recomendada pela literatura que é de 1,3 a 2,2 (CAMPOS, 2013).

Tabela 4- Razão de compactação

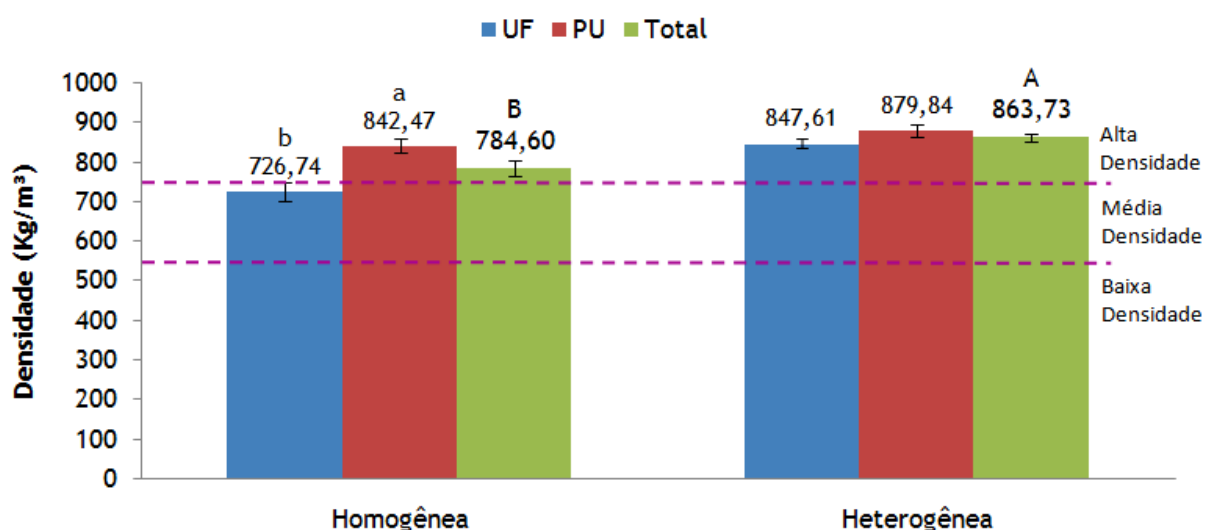
Tratamento	Densidade do painel (Kg/m ³)	Densidade da madeira(Kg/m ³)	Razão de compactação
HomoUF	726,74	478,2	1,52
HomoPU	842,61	478,2	1,76
HetUF	847,61	478,2	1, 77
HetPU	879,84	478,2	1,88

Figura 27- Média das densidades das chapas homogêneas e heterogêneas produzidas com adesivos UF e PU



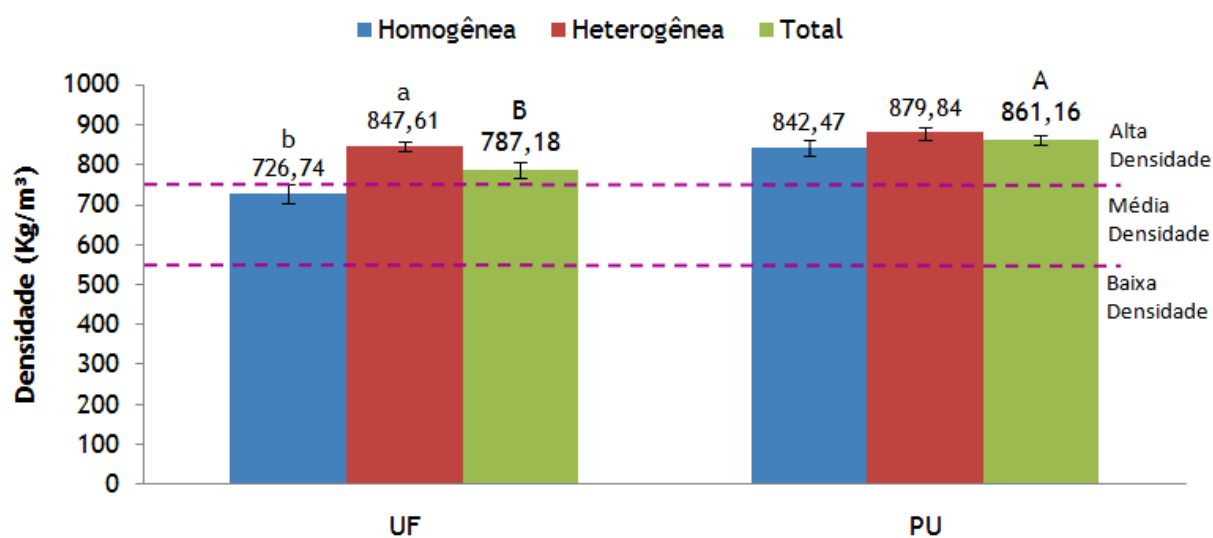
Pela análise da Figura 28, observa-se que, quando avaliadas separadamente, as médias totais das chapas homogêneas e heterogêneas apresentaram diferenças significativas, sendo que os maiores valores foram encontrados para as últimas. Isso era esperado, visto que as chapas heterogêneas, por utilizarem um percentual de partículas de menor granulometria, apresentam menor índice de vazios. Para ambos os tipos de camada, as chapas produzidas com PU foram mais densas do que as de UF, mas somente para as chapas homogêneas essa diferença foi significativa.

Figura 28- Média das densidades das chapas produzidas com adesivos UF e PU dentro de cada tipo de camada



Em relação ao tipo de adesivo utilizado (Figura 29), as chapas produzidas com o PU foram significativamente mais densas do que as produzidas com UF. Em ambos os casos, como esperado, as chapas heterogêneas apresentaram os maiores valores, mas somente para o UF a diferença foi significativa.

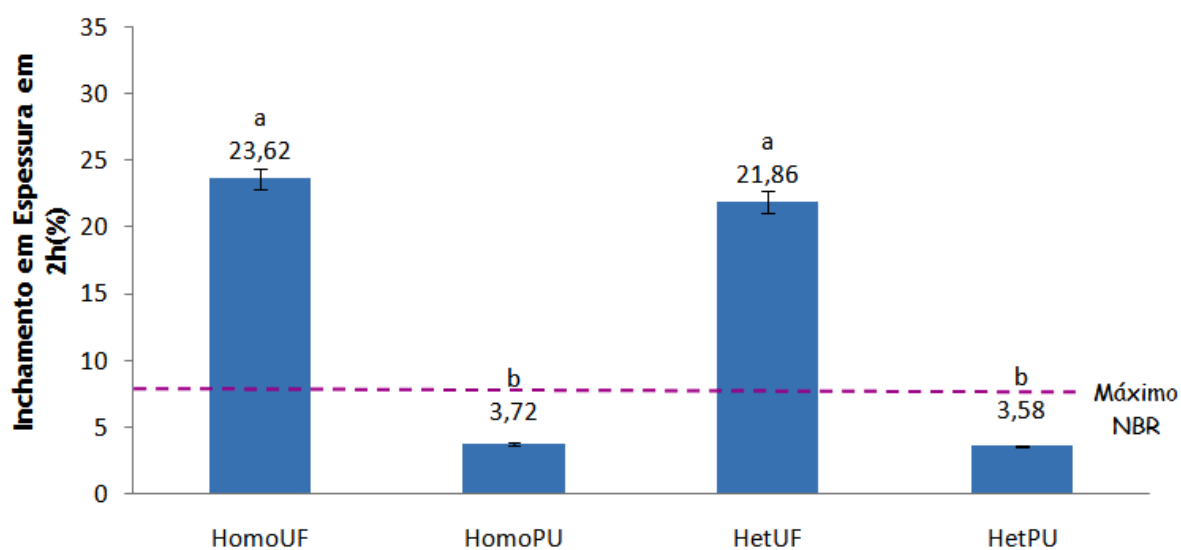
Figura 29- Médias das densidades das chapas homogêneas e heterogêneas dentro de cada tipo de adesivo



5.3.3 Inchamento

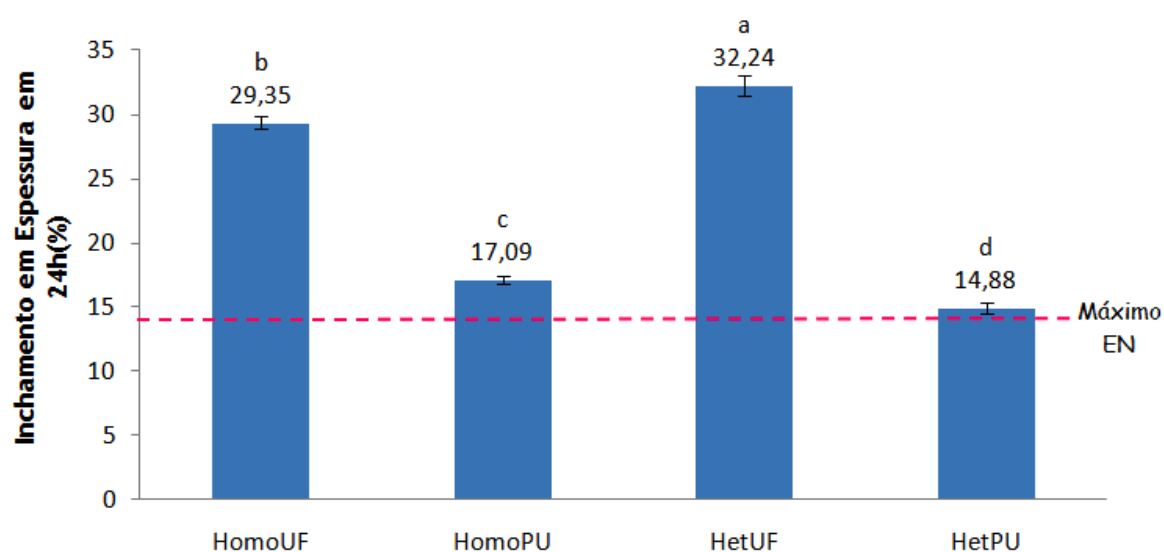
De acordo com a Figura 30, os painéis produzidos com UF apresentaram inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água, acima do especificado pela NBR 14810/2006, que é de 8%. Na análise das médias gerais, o inchamento dos painéis produzidos com UF foram significativamente superiores aos produzidos com PU, o que pode ser explicado pela baixa resistência à umidade do primeiro.

Figura 30- Médias dos inchamentos em espessura após 2h de imersão em água para as chapas homogêneas e heterogêneas produzidas com adesivo UF e PU



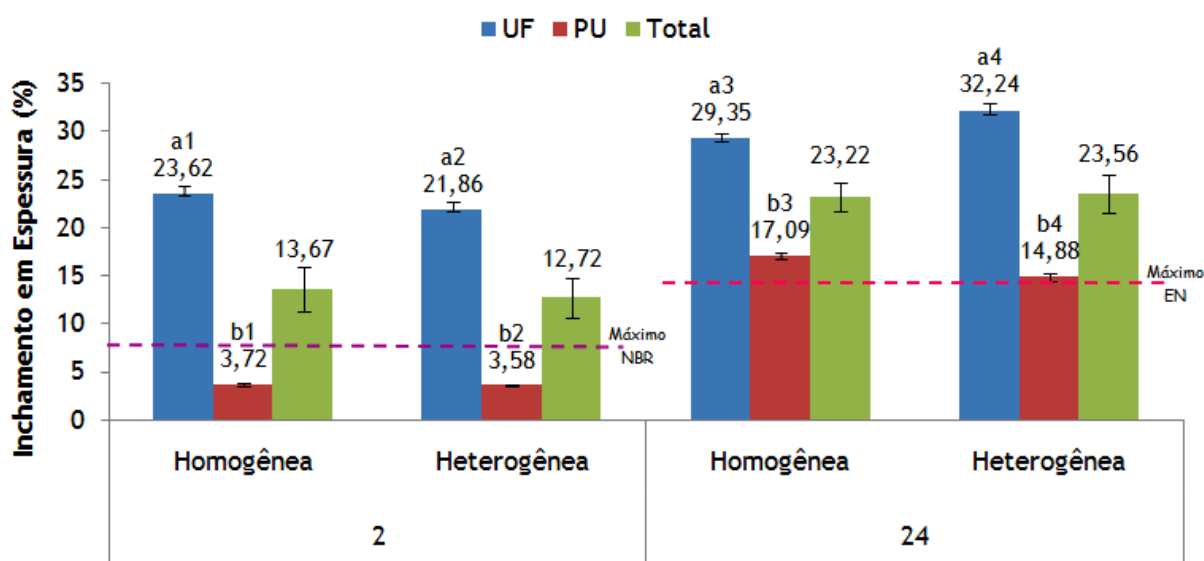
Para o inchamento em espessura após 24h de imersão, todos os tratamentos ficaram acima do especificado pela EN 312/2003. Pela análise da Figura 31, observa-se que houve diferenças significativas, ao nível de 5% de probabilidade, para todos os tratamentos, sendo que os maiores valores foram encontrados para as chapas produzidas com UF.

Figura 31- Médias dos inchamentos em espessura após 24h de imersão em água para as chapas homogêneas e heterogêneas produzidas com adesivo UF e PU



Na análise dos tipos de camada (Figura 32), não foram encontradas diferenças entre as chapas homogêneas e heterogêneas para nenhum dos tempos de imersão. Entretanto, em todos os casos as chapas produzidas com UF apresentaram valores significativamente superiores às produzidas com PU, o que denota uma forte influencia do tipo de adesivo no controle dessa variável.

Figura 32- Média dos inchamentos em espessura após 2 e 24h de imersão em água para as chapas produzidas com adesivos UF e PU dentro de cada tipo de camada

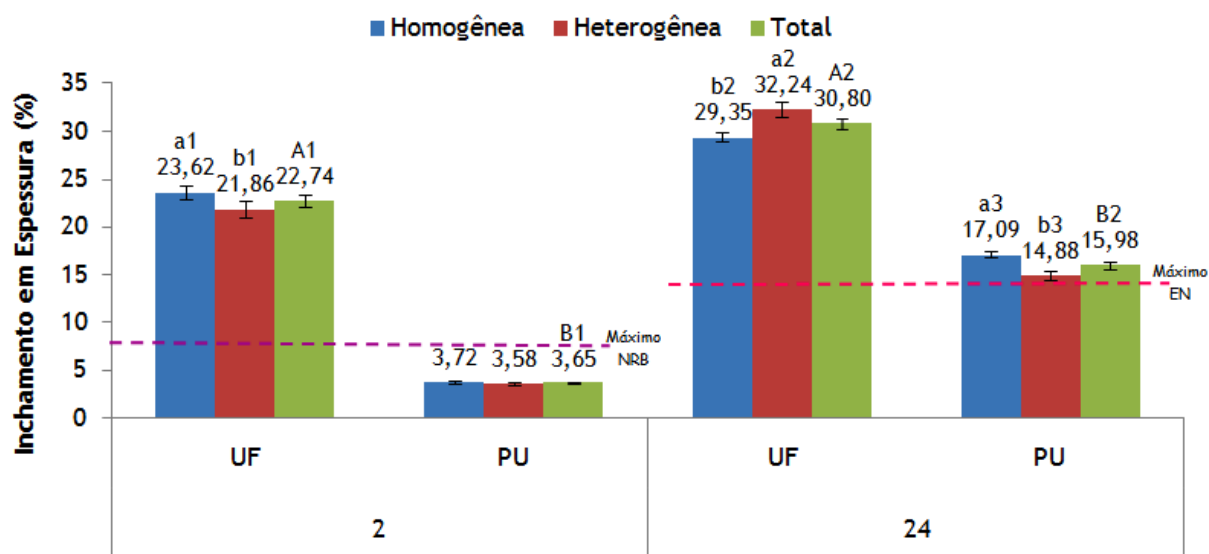


No que se refere ao tipo de adesivo, foram verificadas diferenças estatísticas entre as médias totais das chapas produzidas com PU e UF (Figura 33). Tais diferenças são devidas à não incorporação de parafina no processo de produção das chapas. Essa medida foi adotada para garantirem-se os mesmos parâmetros de comparação em relação aos painéis produzidos com adesivo PU, que, por sua vez, apresentaram inchamentos em espessura muito inferiores aos de UF.

Dentro do adesivo UF, foram encontradas diferenças significativas entre os tipos de camada. Para esse adesivo, chapas homogêneas apresentaram maiores inchamentos nas duas primeiras horas de imersão em água, porém, após 24h a situação se inverteu.

Em relação ao adesivo PU, as diferenças estatísticas foram encontradas somente após 24h de imersão, caso em que as chapas homogêneas apresentaram os maiores valores de inchamento.

Figura 33- Médias dos inchamentos em espessura após 2 e 24h de imersão em água para as chapas homogêneas e heterogêneas dentro de cada tipo de adesivo



Para o ensaio em 2h os valores obtidos para o adesivo de PU são os únicos que ficaram abaixo do máximo especificado pela norma brasileira.

Para o ensaio em 24h a norma européia determina que o máximo permitido para utilização não estrutural das chapas seja de 14%, porem o menor valor obtido foi de 14,88% para a chapa HetPU o que enquadra a chapas na classificação P2- Instalações técnicas interiores como mobiliário, com uso em locais secos.

Esses valores já eram esperados devido ao tipo de adesivo utilizado, pois o UF é um adesivo com baixa resistência a umidade e, além disso, não foi adicionada a parafina na produção das chapas. Já o adesivo de PU é adequado para uso externo onde há ação de umidade.

Outro fator a ser considerado, é a razão de esbeltez que de acordo com Moslemi, (1974) apud Ferreira, 2012, baixos valores de razão de esbeltez resultam em elevados valores de inchamento em espessura, fato ocorrido neste trabalho.

Apesar de alguns painéis terem atingido valores superiores aos máximos recomendados pelas normas, apresentam um comportamento dentro do observado por Okino, Santana e Souza (2000), que encontrou valores médios, para inchamento em 2h e 24h de 23% e 30,8% respectivamente, em estudo com quatro diferentes clones de *H. brasiliensis*.

5.3.4 Absorção

Os ensaios para determinação da absorção de água após 2 e 24 horas de imersão, apresentaram resultados semelhantes. Na análise das médias gerais, verificou-se que os valores se diferenciaram estatisticamente somente entre os adesivos, para ambos os tempos (Figura 34 e Figura 35). Em ambos os casos, os maiores valores foram encontrados para as chapas produzidas com adesivo UF, o que pode ser explicado por sua baixa resistência à umidade.

Figura 34- Médias da absorção de água após 2h de imersão para as chapas homogêneas e heterogêneas produzidas com adesivo UF e PU

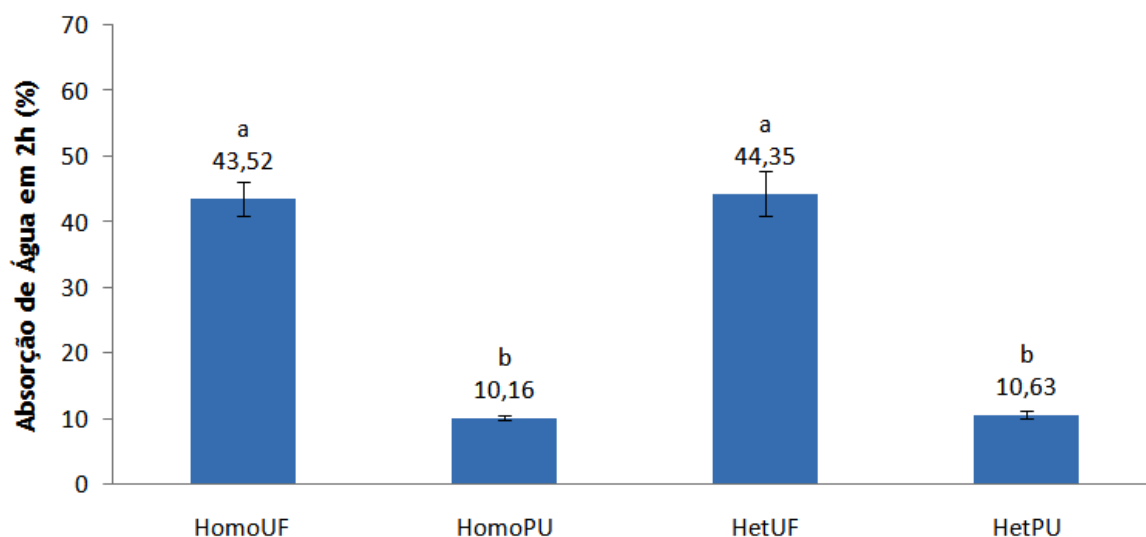
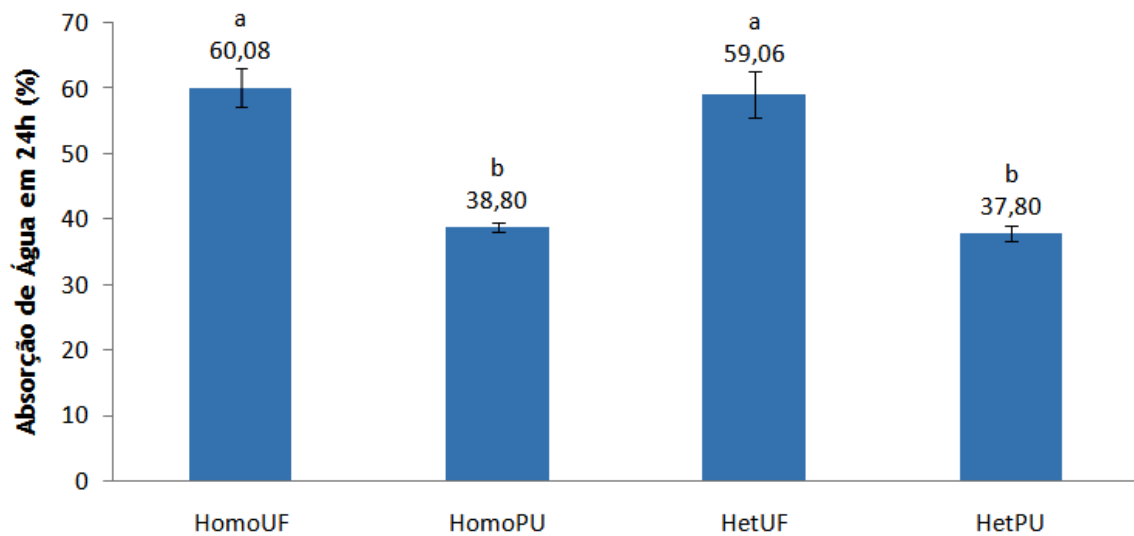
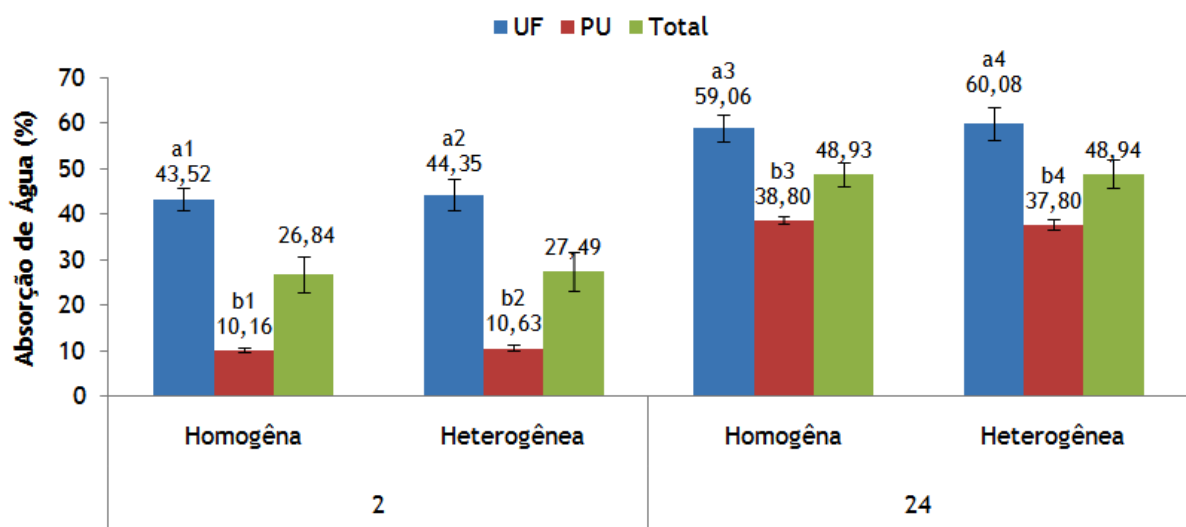


Figura 35- Médias da absorção de água após 24h de imersão para as chapas homogêneas e heterogêneas produzidas com adesivo UF e PU



Não houve diferença estatística entre as médias totais de cada tipo de camada, porém, dentro de cada uma delas houve diferença entre os tipos de adesivo utilizados. Para todos os tratamentos, os valores de absorção chapas produzidas com UF foram significativamente superiores (Figura 36).

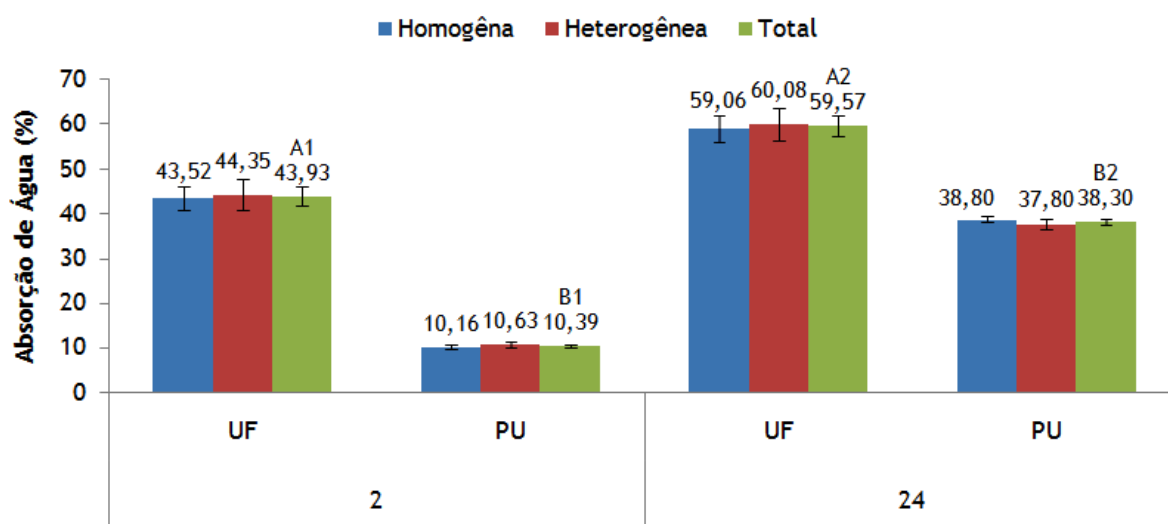
Figura 36- Médias da absorção de água após 2 e 24h de imersão para as chapas produzidas com adesivos UF e PU dentro de cada tipo de camada



Na análise entre os adesivo (Figura 37), foram encontradas diferenças significativas entre as médias totais, sendo os maiores valores encontrados para o UF, como esperado. Entretanto, dentro de cada adesivo não houve diferença entre os tipos de camada, o que reforça a influência do tipo de adesivo na impermeabilização do painel.

Embora a norma brasileira não apresente valores de referência para o teste de absorção de água, pois este tipo de painel não é indicado para contato em água, a partir dos resultados encontrados neste trabalho, é possível afirmar que o adesivo de PU é o mais indicado para utilização em ambientes que contenham algum nível de umidade.

Figura 37- Médias da absorção de água após 2 e 24h de imersão para as chapas homogêneas e heterogêneas dentro de cada tipo de adesivo



Vital et al. (1974) apud Pedreschi (2009) relatou que em seus estudos, os painéis com maior razão de compactação apresentaram menor absorção de água do que os com menor razão de compactação. Fato esse que não ocorreu neste estudo, pois para o mesmo adesivo obteve-se uma maior absorção de água das chapas com maior razão de compactação.

Em um outro estudo, Moslemi (1974) apud Ferreira, 2012, relacionou a absorção de água à geometria das partículas. Segundo o autor, para baixas razões de esbeltez há uma alta absorção de água, porém neste estudo não houve uma diferença significativa entre a média total das camadas, de modo que não é possível fazer a mesma correlação. Já com relação ao adesivo pode-se concluir novamente que a resina de PU é a mais indicada para ambientes úmidos, pois mostra uma diferença significativa nos desdobramentos.

Os painéis apresentam um comportamento dentro do observado por Okino, Santana e Souza (2000), que encontraram valores médios, para absorção de água em 2h e 24h, entre 39,8-61,1% e 61,3 -74,3% respectivamente, em estudos com chapas homogêneas provenientes de quatro diferentes clones de seringueira.

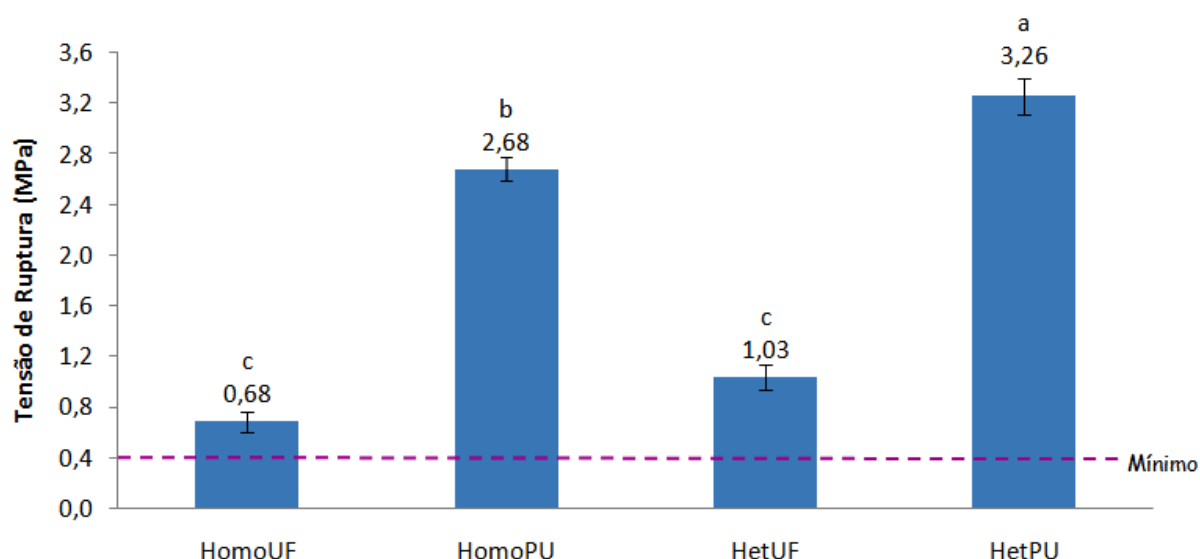
5.4 Propriedades Mecânicas das chapas de madeira aglomerada

5.4.1 Adesão interna

Para os ensaios de adesão interna, todos os tratamentos apresentaram valores acima do mínimo estabelecido pela NBR 14810/2006 para painéis com espessura entre 8 mm e 13mm.

Os painéis produzidos com resina de PU obtiveram os melhores resultados, assim como os com camada heterogêneas. Estatisticamente houve diferença entre os adesivos e entre as chapas homogêneas e heterogêneas produzidas com PU (Figura 38).

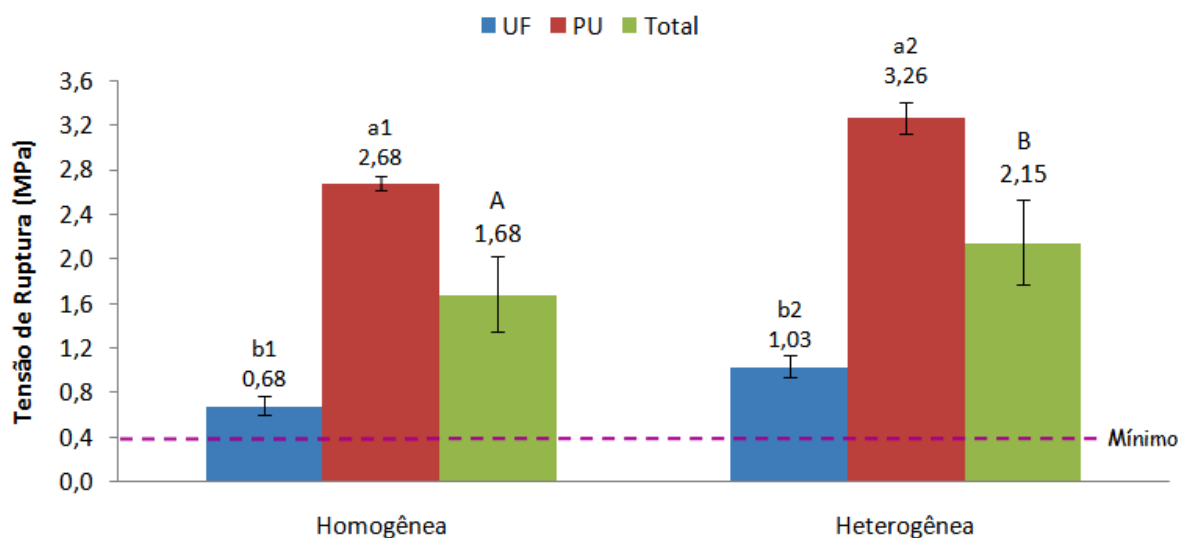
Figura 38- Média das tensões de ruptura obtidas nos ensaios de adesão interna das chapas homogêneas e heterogêneas produzidas com adesivo UF e PU



Na análise do tipo de camada (Figura 39), foram encontradas diferenças significativas entre as médias totais sendo que as chapas heterogêneas apresentaram os

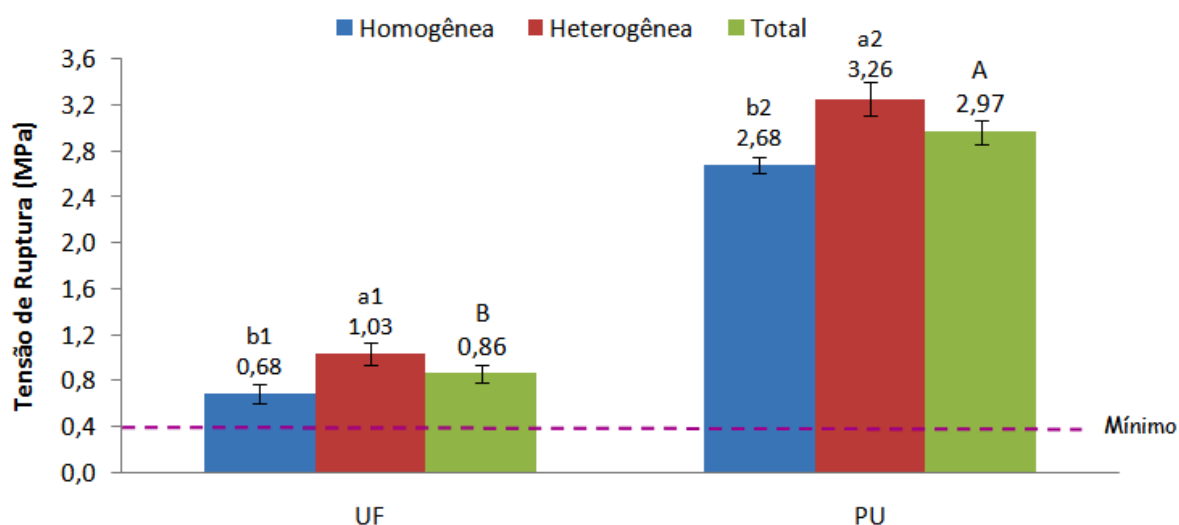
melhores resultados. Dentro de cada tipo de camada, também foram encontradas as mesmas diferenças verificadas na análise entre as médias gerais. Para ambos os tipos de chapa, os melhores resultados foram encontradas para o adesivo PU. Isso se deve ao fato de que a resina de PU proporciona um melhor encolamento que a de UF.

Figura 39- Média das tensões de ruptura obtidas nos ensaios de adesão interna para as chapas produzidas com adesivos UF e PU dentro de cada tipo de camada



Em relação ao adesivo, houve diferença significativa entre as média totais, com maiores valores para o PU, da mesma forma como nas análises anteriores. Também foram encontradas diferenças entre as camadas dentro de cada tipo de adesivo (Figura 40). Isso ocorreu por que os painéis com camadas heterogênea tem em sua composição partículas de menor razão de esbeltez, o que confere a chapa uma melhor interação do adesivo com as partículas.

Figura 40- Média das tensões de ruptura obtidas nos ensaios de adesão interna para as chapas homogêneas e heterogêneas dentro de cada tipo de adesivo



Os painéis apresentaram uma alta tensão de ruptura na adesão interna por que as partículas são curtas e espessas, o que garante uma maior superfície de contato, portanto uma melhor colagem (CAMPOS, 2013)

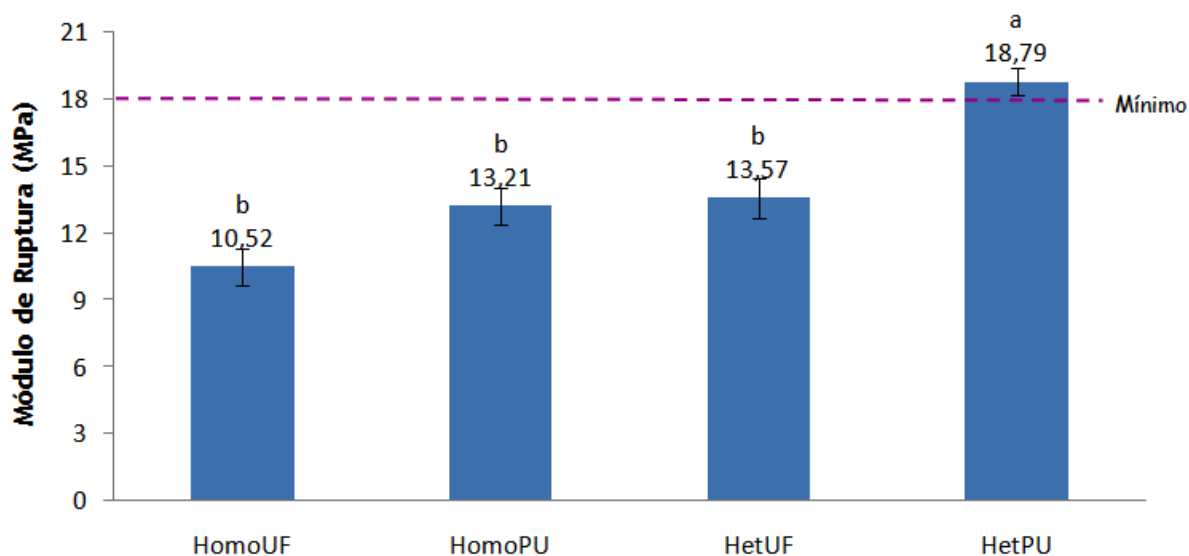
Pela norma européia EN 312/2003, para painéis com espessura entre 6 e 13mm, os painéis HomoUF se encaixam na classificação P6-Painéis para suporte de altas cargas, com uso em condições secas, fato já esperado devido ao adesivo utilizado. Os demais tratamentos se enquadram na classificação P7-Painéis para suporte de altas cargas, com uso em condições úmidas.

5.4.2 Flexão estática

❖ MOR

Para os ensaios de flexão estática a norma brasileira especifica um módulo de ruptura mínimo de 18MPa o qual somente foi atingido pelas chapas HetPU, que diferiu estatisticamente dos demais tratamentos (Figura 41). Tais valores podem ser justificados pelo uso de camada homogênea nos dois primeiros tratamentos, o que pode ter possibilitado maior quantidade de vazios, menor interação entre as partículas e assim, a resistência do painel ficou prejudicada, obtendo valores inferiores quando comparados com as chapas de camadas heterogêneas.

Figura 41- Médias do MOR obtidas nos ensaios de flexão estática das chapas homogêneas e heterogêneas produzidas com adesivo UF e PU

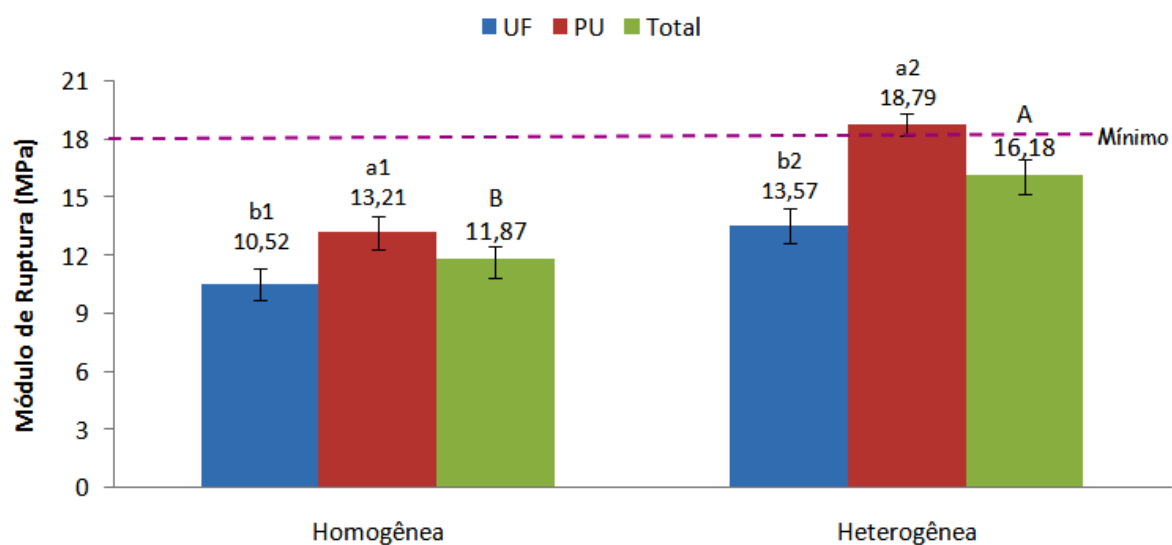


Ocorre um aumento da resistência a ruptura nos painéis com camadas heterogêneas, devido à utilização de partículas com menor granulométrica nas camadas externas, o que proporciona uma melhor interação entre o adesivo e a partícula, possibilitando assim uma melhor colagem.

O adesivo mais utilizado na indústria é o de UF, e são obtidos valores elevados de MOR, porém a geometria das partículas utilizada pela mesma tem uma razão de esbeltez bem superior à utilizada nesse estudo. Na indústria são usadas partículas mais compridas e finas, gerando uma razão de esbeltez média de 60, o que confere as chapas uma alta resistência quando solicitadas à flexão, mas valores mais baixos quando solicitados à tração perpendicular.

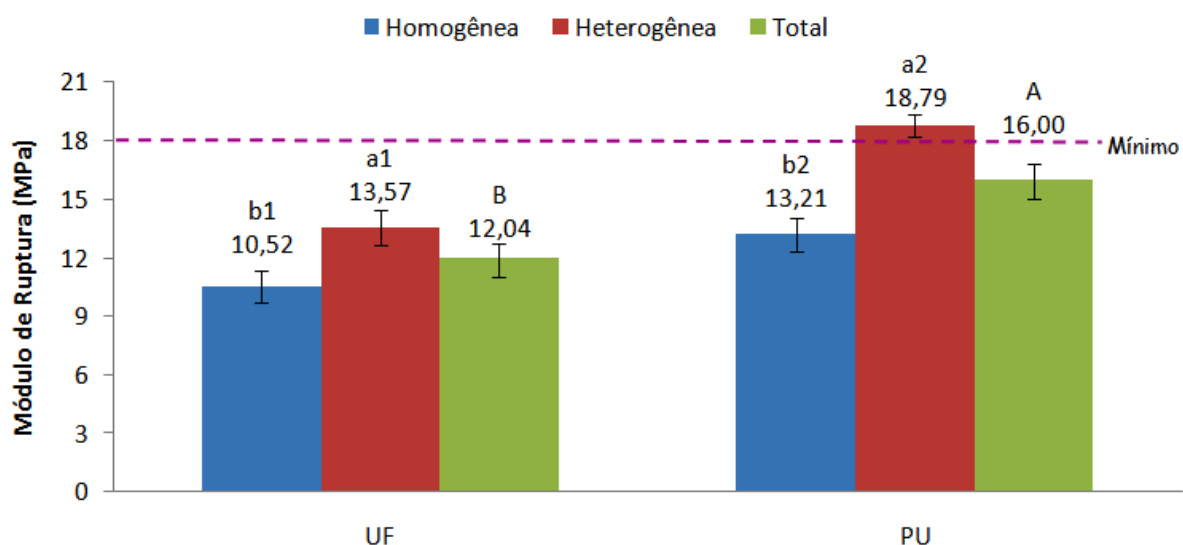
Em relação ao tipo de camada (Figura 42), foram encontradas diferenças estatísticas entre as chapas homogêneas e heterogêneas que apresentaram os valores elevados de MOR, como já explicado anteriormente. Também foram encontradas diferenças entre os adesivos dentro de cada tipo de camada. Em ambos os casos, as chapas produzidas com PU apresentaram os melhores resultados.

Figura 42- Médias do MOR obtidas nos ensaios de flexão estática para as chapas produzidas com adesivos UF e PU dentro de cada tipo de camada



Entre as médias totais dos adesivos também foram encontradas diferenças significativas, com maiores valores para o PU. Houve diferença significativa também no desdobramento da camada dentro de cada nível de adesivo. Os painéis produzidos com camadas heterogêneas obtiveram valores elevados (Figura 43).

Figura 43- Médias do MOR obtidas nos ensaios de flexão estática para as chapas homogêneas e heterogêneas dentro de cada tipo de adesivo



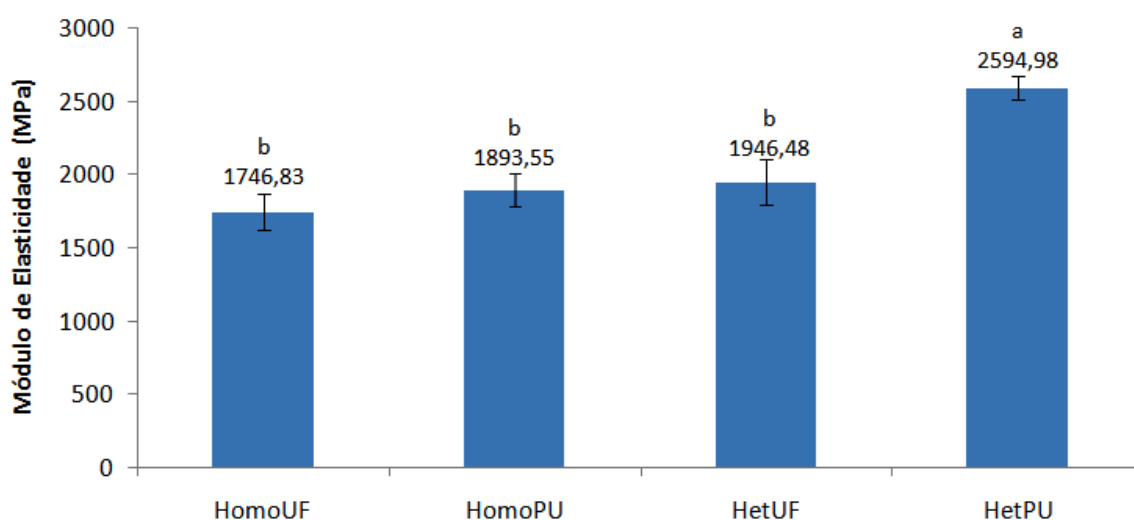
De acordo com a norma européia EN 312/2003, para painéis com espessura entre 6 e 13mm, as chapas HomoPU e HetUF se enquadram na classificação P2- Instalações técnicas interiores como mobiliário, com uso em locais secos. Já o painel HetPU se encaixa na classificação P5- Painéis para suporte de carga com uso em condições úmidas, fato explicado pelo adesivo utilizado ter alta resistência à umidade e o painel HomoUF, por sua menor resistência, não se enquadra em nenhuma das classificações propostas pela norma.

Comercialmente as empresas tem produzido painéis de MDP, com valores de MOR abaixo do especificado pelas normas, como exemplo tem-se as empresas Berneck e Tafibra, que produzem painéis com 13MPa e 10MPa respectivamente (BERNECK S.A, 2013; TAFIBRA, 2013).

❖ MOE

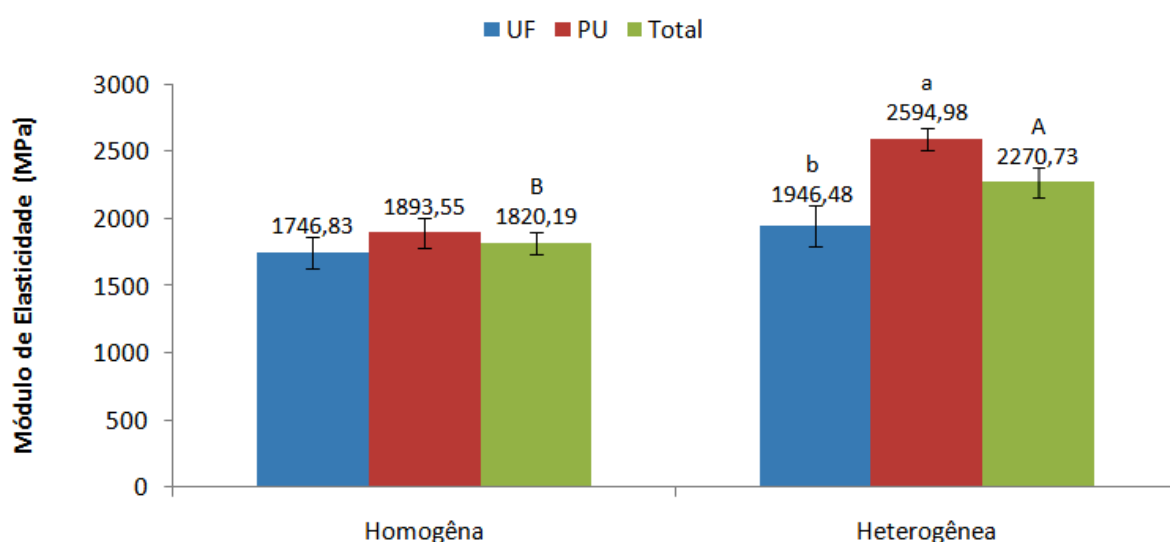
Na análise das médias gerais dos tratamentos, os resultados encontrados para o módulo de elasticidade na flexão estática, foram semelhantes aos resultados encontrados para o módulo de ruptura. Pode-se observar na Figura 44 que a chapa HetPU apresentou os maiores valores, tendo diferido significativamente dos demais tratamentos.

Figura 44- Médias do MOE obtidas nos ensaios de flexão estática das chapas homogêneas e heterogêneas produzidas com adesivo UF e PU



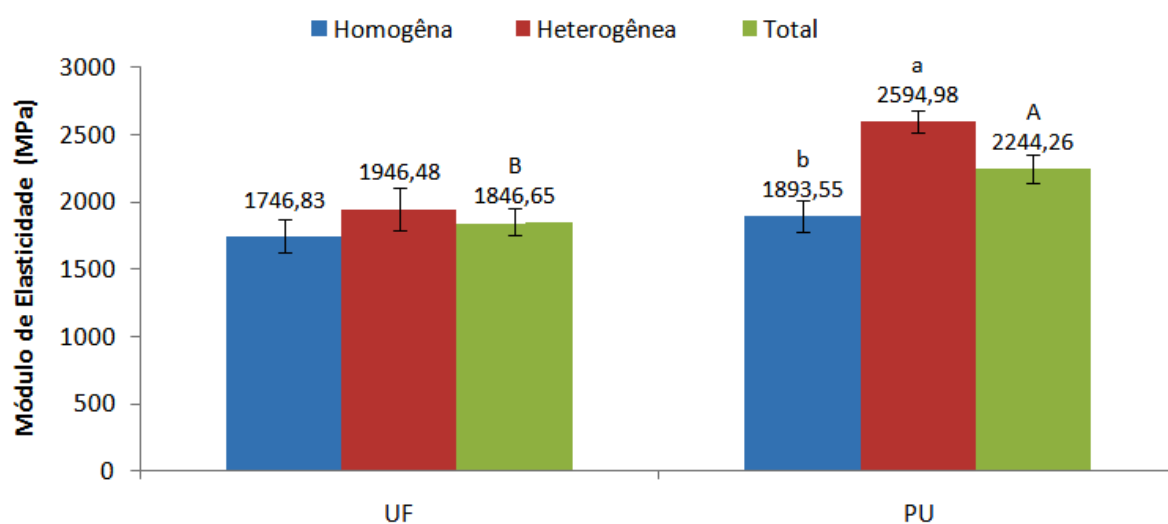
Em relação ao tipo de camada (Figura 45), houve diferença significativa entre as chapas homogêneas e heterogêneas, que apresentaram os maiores valores. Entre as chapas heterogêneas foram encontradas diferenças entre os tipos de adesivos utilizados. Para ambos os tipos de camada, as chapas produzidas com PU apresentaram os melhores resultados.

Figura 45- Médias do MOE obtidas nos ensaios de flexão estática para as chapas produzidas com adesivos UF e PU dentro de cada tipo de camada



Em relação ao adesivo (Figura 46), houve diferença significativa, tendo o PU apresentado maiores valores de MOE. Na análise das camadas dentro de cada tipo de adesivo, somente as chapas produzidas com PU apresentaram diferenças significativas. Em ambos os casos, os maiores valores foram encontrados para as chapas heterogêneas.

Figura 46- Médias do MOE obtidas nos ensaios de flexão estática para as chapas homogêneas e heterogêneas dentro de cada tipo de adesivo



Pela norma europeia EN 312/2003, para painéis com espessura entre 6 e 13mm, o painel HomoUF se encaixa na classificação P1-Painéis para fins gerais utilizados em condições secas. Já os painéis HetUF e HomoPU se enquadram na classificação P2-Instalações técnicas interiores como mobiliário, com uso em locais secos. O painel HetPU se encaixa na classificação P5- Painéis para suporte de carga com uso em condições úmidas, fato explicado pelo adesivo utilizado ter alta resistência a umidade.

6 CONCLUSÃO

Conclui-se com este trabalho, que é possível confeccionar painéis de aglomerado utilizando-se a madeira de *H. brasiliensi*.

A utilização da resina PU melhora as características físico-mecânicas dos painéis aglomerados produzidos com madeira de *H. brasiliensis*.

A produção de chapas de aglomerado com múltiplas camadas melhora as características físico-mecânicas dos painéis.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF: ano base 2007. Brasília: ABRAF, 2008. 90p.

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DA ABRAF: ano base 2011. Brasília: ABRAF, 2012. 145p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS AGLOMERADOS. Relatório anual. São Paulo, 2002

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-14810/2006**: Chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro: ABNT, 2006. 38p.

BERNECK S.A. (Araucária - PR). **Propriedades MDP**. Catálogos. Disponível em: <<http://www.berneck.com.br/download-manuais.aspx>>. Acesso em: 15 nov. 2013.

CAMPOS, C. I. Painéis de madeira aglomerada. Notas de aula. Disponível em: <(http://sdrv.ms/GGHaZ5)>. Acesso em: 09 out. 2013.

CARVALHO, M.R.O; VALLARELI, I.D.D; VISNARDI, O.C.Avaliação do comportamento das chapas aglomeradas de bambu e Pinus em relação ao teor de umidade, absorção de água e inchamento em espessura. Universidade do Estado de São Paulo. 2006.

CERCHIARI, A M F. **Aprimoramento do poliuretano a base de óleo de mamona na manufatura de Madeira Laminada Colada (MLC) de Cupressus lusitanica, Corymbium maculata e Hevea brasiliensis**. 2013. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Florestais, Departamento de Tecnologia de Produtos Florestais, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013.

DERIVADOS da madeira Disponível em: <http://www.klingspor.de/html/index.php?site=3_19_66&lng=por>. Acesso em: 26 dez. 2012.

DIAS, F M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 2005. 116 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Matérias, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

DIAS, F. M. Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de painéis de madeira aglomerada. In: LAHR, F. A. R. Produtos derivados da madeira. São Carlos: EESC/USP, 2008. p. 37-160.

ESPÓSITO, S S. **OUSO DA MADEIRA NA ARQUITETURA: SÉCULOS XX e XXI**. 2007. 341 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Universidade São Judas Tadeu, São Paulo, 2007.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Norma **EN 312/2003**. Determination of swelling in thickness after immersion in water. Bruxelas. 2003

FERREIRA, B. S. **Produção e caracterização físico-mecânica de painel de compensado de *Eucalyptus sp.* e adesivo pva**. 2011. 65 f. Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Industrial Madeireira, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"-unesp, Itapeva, 2011.

FERREIRA, B. S. **Propriedades físico-mecânicas de painéis particulados de *Eucalyptussaligna* e casca de noz macadâmia**. 2013. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia do *Campus* de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2013.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook—Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p. abr, 2010.

FRIHART, R. C. Wood Adhesion and Adhesives. In: ROWELL, M. R. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2005. Cap. 9.

HILLIG, e. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas de pinus, eucalipto e acácia negra, puras ou misturadas, coladas com taninos-formaldeído**. 2000. 112 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Florestal, Departamento de Tecnologia de Produtos Florestais, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

IAC - INSTITUTO AGRONÔMICO DE CAMPINAS. (2012). Programa Seringueira. Disponível em: <<http://iac.impulsahost.com.br/areasdepesquisa/seringueira/importancia.php>>. Acesso em: 03 jan. 2013.

IRLE, M. A.; BARBU, M. C.; REH, R.; BERGLAND, L.; ROWELL, R. M. Wood Composites. In: ROWELL, R. M. **Handbook of wood chemistry and wood composites**. Boca Raton: CRC Press, 2012. Cap. 10.

IRLE, M; BARBU, M C. Wood-Based Panel Technology. In: THOEMEN, H; IRLE, M; SERNEK, M. **Wood-Based Panels: An Introduction for Specialists**. London: Coast, 2010. Cap. 1, p. 1-94.

IWAKIRI, S; Caprara, C.A; Saks, D.C.O; Guisantes, F.P; Franzoni, J.A; Krambeck, L.B.P; Rigatto, P.A. Produção de painéis de madeira aglomerada de alta densificação com diferentes tipos de resinas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. , p.39-43, ago. 2005.

IWAKIRI, S. **Painéis de Madeira reconstituída**. FUPEF. 247p. Curitiba. 2005.

IWAKIRI, S.; STINGHEN, A. B. M.; SILVEIRA, E. L.; ZAMARIAN, E. H. C.; PRATA, J. G.; BRONOSKI, M.. Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. **Revista Floresta**, Curitiba, v.38, n.3, p. 487-493, 2008.

IWAKIRI, S. Painéis de madeira aglomerada. Notas de aula. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinassetsuo/setsuo-pma.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2013.

KOLLMANN, F.P. ; KUENZI, E.W. ; STAMM, J. Principles of wood science and **technology. Wood based materials**. Properties of Particleboard. Nail-Holding and ScrewHolding Ability. New York, 1975. p.523-529.

KRICHELDORF, H .R; NUYEN, O; SWIFT, G. Handbook of Polymer Synthesis, 2ed. New York: Marcel Dekker, 2000

LIMA, C. K. P.; MORI, F. A.; MENDES, L. M.; CARNEIRO, A. de C. O. Características anatômicas e química da madeira de clones de Eucalyptus e sua influência na colagem. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 2, p. 123-129, 2007.

MACEDO, A. R. P; ROQUE, C. A. L. PAINEIS DE MADEIRA. **Bnds**: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. set. 1997. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Tipo/BNDES_Setorial/199709_4.html>. Acesso em: 04 jan. 2013.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard**. 2. ed.San Francisco: Miller Freeman, 1993. 681p.

MALUCELLI, G; PRIOLA,A; FERRERO, F; QUAGLIA, A; FRIGIONE, M; CARFAGNA, C. Polyurethane resin-based adhesives: curing reaction and properties of cured systems. **International journal of adhesion & adhesives**, v25,p87-91

MARRA, F. S. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New york: N. Reinhold, 1992. 453 p

MARINHO,J.T.S. **Seringueira: opções de cultivo e geração de renda na Amazônia**. 19/12/2003. Disponível em:www.cpfac.embrapa.br/chefias/cna/artigos/seringa. Acesso em: 29/10/2006

MARTO, G.B.T. *Hevea brasiliensis* (Seringueira). 2007. Disponível em: <<http://www.ipecf.br/identificacao/hevea.brasiliensis.asp>>. Acesso em: 21 fev. 2009.

MASISA (Ponta Grossa). **Painéis**. Disponível em: <<http://www.masisa.com/bra/produto/paineis/>>. Acesso em: 02 nov. 2013.

MENDES, R. **Efeitos do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 2010. 116 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Recursos Florestais, Departamento de Tecnologia de Produtos Florestais, Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2010

NASCIMENTO, M F. **CHP**: Chapas de partículas homogêneas- madeiras do nordeste do Brasil. 2003. 153 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciências Dos Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

NOGUEIRA, L S; PALMA, H A L; BALLARIN, A W. Propriedades de flexão de compensados de madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*). In: Congresso de Iniciação Científica da Unesp, 21, 2009, São José do Rio Preto. **XXI CIC UNESP**. 2009. v. 21.

NAUMANN, R. B; VITAL, B. R; CARNEIRO, A. C. O; LUCIA, R. M.D; SILVA, J. C; CARVALHO, A. M. M.L; COLLI, A. Propriedades de chapas fabricadas com partículas de madeira de *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake e de *Schizolobium amazonicum* Herb. **Rev. Árvore** vol.32 no.6 Viçosa Nov./Dec. 2008

OLIVEIRA JUNIOR, E. F. **Determinação das propriedades físicas e químicas da madeira de *Hevea brasiliensis* em relação ao painel de extração de látex**. 2011. 64 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência Florestal, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2011.

OMINE, C; MORAES, M A F D. **Caracterização da cadeia produtiva do látex/borracha natural e identificação dos principais gargalos para o crescimento**. Disponível em: <<http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/148207/2/687.pdf>>. Acesso em: 07 out. 2013.

OURO BRANCO. Corre nas veias do Brasil . **Revista Campo & Negócios**, 2008. Disponível em: <<http://www.revistacampoenegocios.com.br/anteriores/11-8/index.php?referencia=capacn>>. Acesso em: 24 abril. 2012.

OKINO, E. Y. A; SANTANA, M. A; SOUZA, M. R. utilização da madeira de *Hevea brasiliensis* Muell. Arg. na fabricação de chapas aglomeradas. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.24, n.3, p341-347, set. 2000.

PALMA, H A L. Propriedades técnicas e utilização da madeira da seringueira. In: VII Ciclo de palestras sobre a heveicultura paulista. 2010, São José do Rio Preto. Disponível em: <<http://www.heveabrasil.com/palestras/Propriedades%20T%C3%A9cnicas%20e%20Utiliza%C3%A7%C3%A3o%20da%20Madeira%20da%20Seringueira.pdf>>. Acesso em: 03 jan. 2013.

PEDRESCHI, R. **Aproveitamento do bagaço de cana da indústria sucroalcooleira na produção de painéis aglomerados**. 2009. 61 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

R Development Core Team . **R: A language and environment for statistical computing**. Version 2.10.0. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2009. Disponível em: <http://www.R-project.org>.

SANTOS, R S. A seringueira e a importância da borracha natural no Brasil e no mundo. **Revista Eletrônica de Ciências**, São Carlos, n. 49. jun. 2011. Disponível em: <http://www.cdcc.usp.br/ciencia/artigos/art_49/seringueiras.html>. Acesso em: 03 jan. 2013.

SENAGA, M. **Instituto Florestal desenvolve projeto de uso de madeira de seringueira na fabricação de móveis.** Disponível em: <<http://www.iflorestal.sp.gov.br/noticias/news2.asp>>. Acesso em: 04 jan. 2013.

SERVOLO FILHO, Henrique José. **Propriedades mecânicas da madeira de clones de seringueira (*Hevea brasiliensis*-RRIM600 E GT1) analisadas em duas épocas do seu ciclo fenológico anual.** 2013. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013

SERVOLO Filho, H.J. Fotos do seringal experimental da ESALQ/USP. [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por sarah.muzel@grad.itapeva.unesp.br em 18 maio.2013.

SILVA, B B R. **Desenvolvimento de adesivo de poliuretano a base de óleo de mamona.** 2006. 84 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Engenharia de Minas, Metalurgia e Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Fatos e Números do Brasil Florestal.** São Paulo: 2006. 107p.

SP vai exportar móvel feito com seringueira Disponível em: <<http://invertia.terra.com.br/sustentabilidade/noticias/0,,OI3771654-EI10411,00-SP+vai+exportar+movel+feito+com+seringueira.html>>. Acesso em: 20 dez. 2012.

TAFIBRIA (Portugal). **Aglomerado de Partículas de Madeira.** Ficha técnica. Disponível em: <<http://www.tafibra.com/index.php?id=70&id2=122>>. Acesso em: 16 nov. 2013.

TEIXEIRA, M L; SOUZA, A N; SOUZA, M A M. X; FONSECA FILHO, F. In: CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, X. **Avaliação da qualidade da madeira se seringueira *Hevea* sp. para produção de celulose e carvão vegetal.** . p. 588 - 590. 1993

THOMSON, T. Polyurethanes as Specialty Chemical: Principles and Applications, CRC Press, 2005)

VITAL, B. R.; HASELEIN, C. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito da geometria das partículas nas propriedades das chapas de madeira aglomerada *Eucalyptus grandis* (Hill ex-Maiden). **Revista Árvore**, v.16, n.1, p.88-96, 1992.

WEBER, C. Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, mdf e mdp para produção de painéis aglomerados. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal), Universidade Federal do Paraná, 2001. 90f.

WIRTS, M. et al. Time course of isocyanate emission from curing polyurethane adhesives. **Atmospheric Environment**, v27,2003