



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

“Júlio de Mesquita Filho”

Campus de Ilha Solteira

ADEMIR MARTON

**CONFECÇÃO E AVALIAÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA AGLOMERADA COM
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MARCENARIA INDUSTRIAL.**

Ilha Solteira – SP

2014

ADEMIR MARTON

**CONFECÇÃO E AVALIAÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA AGLOMERADA COM
APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE MARCENARIA INDUSTRIAL**

Prof. Dr. Sérgio Augusto Mello da Silva

Orientador

Prof. Dr. Maximiliano A. Azambuja

Co-orientador

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira – Universidade Estadual “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, como requisito parcial da obtenção do título de mestre.

Área de concentração: Estruturas

Ilha Solteira – SP

2014

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

- M387c Marton, Ademir.
Confecção e avaliação de chapas de madeira aglomerada com aproveitamento de resíduos de marcenaria industrial / Ademir Marton. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2014
69 f. : il.
- Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira. Área de conhecimento: Estruturas, 2014
- Orientador: Sérgio Augusto Mello da Silva
Co-orientador: Maximiliano A. Azambuja
Inclui bibliografia
1. Chapa de madeiras aglomeradas. 2. Resíduos de marcenaria industrial. 3. Chapa de partículas aglomeradas.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA

FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Confeção e avaliação de chapas de madeira aglomerada com aproveitamento de resíduos de marcenaria industrial

AUTOR: ADEMIR MARTON

ORIENTADOR: Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. MAXIMILIANO DOS ANJOS AZAMBUJA

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL, Área: ESTRUTURAS, pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. SERGIO AUGUSTO MELLO DA SILVA
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. ANTONIO ANDERSON S. SEGANTINI
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira



Prof. Dr. ANDRÉ LUIS CHRISTOFORO
Departamento de Engenharia Mecânica / Universidade Federal de São João Del Rei

Data da realização: 24 de janeiro de 2014.

AGRADECIMENTOS

Ao senhor Deus por estar presente em todos os momentos de minha vida.

À minha esposa Carmen e minhas filhas Camila e Maiby.

Ao meu orientador, amigo e Professor Doutor Sérgio Augusto Mello da Silva, que me conduziu nesta jornada, contribuindo no desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu co-orientador Professor Doutor Maximiliano A. Azambuja pela ajuda inestimável na condução dos ensaios técnicos.

RESUMO

O presente trabalho apresenta um estudo para confecção de chapas aglomeradas de madeira empregando-se resíduos de marcenarias industriais (serragem) da região de São José do Rio Preto - SP. Inicialmente foram realizados estudos exploratórios objetivando-se avaliar o desempenho dos adesivos poliuretanos monocomponente "*Fastbond 30-NF*", "*Purbond HB S109*" e resina formaldeído com relação aos parâmetros para confecção das chapas, em seguida, após determinação das propriedades físicas das chapas, foram propostos ajustes nos parâmetros de confecção e realizada nova etapa para confecção de chapas empregando-se resina ureia-formaldeído (UF) e resina poliuretana derivada de óleo de mamona (PU-Mamona). Nesta nova etapa, empregou-se 10% de adesivo (UF e PU-Mamona), pressão de 5MPa, 110⁰C para PU-Mamona e 130⁰C para UF, 10 minutos de tempo de prensagem, sendo 3 minutos iniciais com 30 segundos de alívio de pressão e 7 minutos de pressão para finalizar o ciclo. As chapas foram avaliadas com relação as suas densidades aparentes, inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão, absorção de água após 2 e 24 horas de imersão, módulo de resistência à flexão (MOR), módulo de elasticidade (MOE), resistência a tração perpendicular (RTP) e arrancamento de parafuso de face e topo (AP-F e AP-T). As referidas propriedades foram avaliadas quanto a Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR), European Committee for Standardization (EN), Comercial Standard (CS) e em função de análise estatística foi investigada a influência do tipo de adesivo para as propriedades físicas e mecânicas.

Palavras Chave: Chapa aglomerada de madeira. Serragem. Resina poliuretana de mamona. Resina ureia-formaldeído.

ABSTRACT

This work presents a study for making particleboard bonded wood employing cabinetmaking industrial waste (sawdust) in the region of São José do Rio Preto - SP. Initial exploratory studies were conducted aiming to evaluate the performance of single-component polyurethane adhesives " Fastbond 30-NF ", " Purbond HB S109" and folmaldheyde with respect to the parameters for making the particleboards, then after determining the physical properties of the particleboards have been proposed adjustments the parameters and performed new stage for making slabs are employing resin urea formaldehyde (UF) and polyurethane resin derived from castor oil (PU - castor oil) . In this new stage, employing 10 % of resin (UF - and PU Castor oil), pressure 5MPa, PU - 110⁰C to 130⁰C for UF and Castor, 10 minutes pressing time, being three minutes early with 30 second pressure relief and pressure 7 minutes to complete the cycle. The particleboards were evaluated with respect to their bulk densities, thickness swelling after 2 and 24 hours of immersion, water absorption after 2 and 24 hours of immersion, the flexural modulus (MOR), modulus of elasticity (MOE), resistance the perpendicular drift (RTP) and pullout surface and top (AP- F and AP -T). These properties were evaluated for Commercial Standard Brazilian Association of Technical Standards (NBR), European Committee for Standardization (EN), commercial standard (CS) and based on statistical analysis , we investigated the influence of the type of adhesive to the physical and mechanical properties .

Keywords: Particleboard of wood. Sawdust. Polyurethane resin castor oil. Urea folmaldheyde resin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produtos em partículas aglomeradas e MDF-----	17
Figura 2 - Contração volumétrica de algumas espécies de madeiras brasileiras-----	68
Figura 3 - Dureza Janka-----	69
Figura 4 - Impurezas retiradas da amostra em estudo -----	27
Figura 5 - Adição e homogeneização do adesivo-----	30
Figura 6 – Preparação do colchão de partículas-----	30
Figura 7 - Colchão de partículas preparado para prensagem com controle de temperatura e pressão-----	32
Figura 8 – Granulometria da Serragem-----	37
Figura 9: Gráficos de efeitos principais da ANOVA para o MOE (a) e TP (b).--	49
Figura A1 - Resultados do teste de normalidade de Anderson-Darling para cada propriedade física e mecânica investigada.-----	63
Figura A2 – Homogeneidade entre variâncias: MOR (a), MOE (b), TP (c), APF (d) e ρ (e).-----	64
Figura A3 - Transformada de Johnson para o MOR-----	65
Figura A4 - Transformada de Johnson para o MOE-----	66
Figura A5 - Resultados do teste de normalidade para o MOR (a) e MOE (b) dos dados transformados-----	66
Figura A6 - Resultados do teste de equivalência entre variâncias para o MOR (a) e MOE (b) dos dados transformados-----	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos adesivos de acordo com sua origem-----	23
Tabela 2 - Parâmetros adotados para confecção das chapas.-----	31
Tabela 3 - Dimensões nominais e quantidades de corpos-de-prova para cada tratamento -----	33
Tabela 4 - Propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas com seus respectivos valores normatizados	35
Tabela 5 - Teor de umidade das partículas-----	36
Tabela 6 - Granulometria da serragem-----	37
Tabela 7 - Valores médios para o teor de umidade das chapas-----	40
Tabela 8 - Valores médios da massa específica aparente das chapas.-----	42
Tabela 9 - Valores médios de absorção e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão-----	43
Tabela 10 – Resultados das médias das propriedades mecânicas-----	45
Tabela 11 – Análise comparativa dos valores das propriedades mecânicas e física (densidade aparente ρ) das chapas, com as resinas empregadas (UF e PU-Mamona, referente aos tratamentos T4 e T5, respectivamente).-----	47
Tabela 12 - Resultados dos testes de normalidade e homogeneidade entre variâncias-----	48
Tabela 13 - Resultados dos testes de normalidade e homogeneidade entre variâncias dos dados transformados sobre o MOR e MOE dos compostos.-----	48
Tabela 14 - Resultados da ANOVA das propriedades mecânicas e física.-----	49
Tabela A1 - Resultados das propriedades mecânicas e física das chapas fabricadas com resina a base de uréia-formaldeído-----	59
Tabela A2 - Resultados das propriedades mecânicas e física dos compostos fabricados com resina a base de mamona-----	60
Tabela A3 - Resultados da ANOVA para o MOR das chapas.-----	61

Tabela A4 - Resultados da ANOVA para o MOE (Transf.) das chapas.-----	61
Tabela A5 - Resultados da ANOVA para a TP das chapas.-----	62
Tabela A6 - Resultados da ANOVA para a APF das chapas.-----	62
Tabela A7 - Resultados da ANOVA para a p das chapas.-----	62

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO-----	13
1.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS-----	13
2 OBJETIVO-----	14
3 REVISÃO DA LITERATURA -----	15
3.1 ALGUNS ASPECTOS SOBRE A MATÉRIA PRIMA PARA PRODUÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA-----	17
3.2. ASPECTOS SOBRE A CONFECÇÃO DE CHAPAS DERIVADAS DE MADEIRA-----	18
3.2.1 Aspectos Gerais-----	18
3.2.2 Aspectos Específicos-----	19
3.3 A UTILIZAÇÃO DE RESINAS NA CONFECÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA.-----	22
3.4 ESTUDOS RECENTES SOBRE A PRODUÇÃO DE CHAPAS DERIVADAS DE MADEIRA.-----	24
4 MATERIAIS E MÉTODOS-----	26
4.1 MATERIAIS-----	26
4.2 MÉTODOS-----	27
4.2.1 Ensaio para determinação da granulometria das partículas.-----	27
4.2.2 Cálculo da massa de partículas para confecção das chapas-----	28
4.2.3 Cálculo para determinação do teor de umidade das partículas-----	29
4.2.4 Adição e homogeneização do adesivo às partículas-----	29
4.2.5 Confecção do colchão de partículas-----	30
4.2.6 Tratamentos empregados para confecção dos painéis-----	31
4.2.7 Preparação dos corpos-de-prova.-----	32

4.2.8 Análise estatística-----	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES-----	35
5.1 AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE.-----	35
5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA SERRAGEM -----	36
5.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MASSA DE PARTÍCULAS E DE ADESIVO-----	38
5.4 AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DAS CHAPAS-----	39
5.5 AVALIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE (MEa) DAS CHAPAS	41
5.6 AVALIAÇÕES DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E INCHAMENTO EM ESPESSURA-----	42
5.7 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS CHAPAS -----	45
5.7.1 Avaliações dos resultados obtidos: MOR, MOE, TPS, AP-T e AP-F---	45
5.7.2 Comparação dos resultados das propriedades mecânicas das chapas confeccionadas com o tratamento T4 e T5 por meio de análises estatísticas.-----	46
6 CONCLUSÕES-----	51
7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS-----	53
REFERÊNCIAS-----	55
APÊNDICES-----	59
ANEXOS-----	68

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Uma das grandes preocupações da sociedade no mundo é a redução da extração de bens naturais, principalmente os não renováveis e os de difícil renovação.

Em estudos realizados em 2012 pelo INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE), através da unidade Estadual no Amazonas, (Supervisão de Disseminação de Informações), informaram que a madeira em tora foi o único produto madeireiro da extração vegetal que apresentou aumento na produção em 2011 em nível nacional, com um acréscimo de 11,5% em relação a 2010. Dos 14.116.711 m³ registrados na pesquisa, o Estado do Pará participou com 5.653.358 m³, caracterizando-se como o principal produtor.

Ainda conforme o IBGE (2012), o segundo maior estado produtor foi o Mato Grosso, com 2.153.468 m³, seguido por Rondônia (1.648.181 m³), Bahia (1.068.079 m³) e Acre (1.064.195 m³), estado que apresentou a maior taxa de crescimento em relação a 2010. Em conjunto, estes estados participaram com 82% do total nacional produzido. No Amazonas, a produção de madeira em toras obteve um pequeno aumento em relação a 2010, quando a produção foi de 665.000 m³, passando para 681.000 m³ em 2011, uma alta de 2,3%.

As indústrias moveleiras e da construção civil, impulsionadas pelas altas demandas de mercado, buscam em seus processos industriais, elementos que tragam alternativas para a sua execução. Desta maneira, os estudos para a produção de chapas de madeira aglomerada visam o aproveitamento da serragem de madeiras mais nobres que o *Pinus* e o *Eucalipto*, que possuem densidades aproximadas em 0,51 g/cm³ para o ***Pinus oocarpa*** e 0,61 g/cm³ para o ***Eucalyptus saligna***, ou ainda da mistura de ambas as partículas, dão a importância para o trabalho.

Dentre os resíduos de madeira que são constituídos por serragem, maravalha e lenha, conforme Fontes (1994) destacam-se neste grupo a serragem, que é o resíduo gerado pelas operações de corte, geralmente com serra de fita.

Com relação a este trabalho, será utilizada serragem proveniente de empresas que processam madeiras para produção de janelas, portas, esquadrias, caixilhos, batentes, tacos e vários outros elementos empregados na construção civil. Embora atualmente no Brasil exista uma relativa facilidade na obtenção de madeira tropical por um preço ainda acessível, a tendência é que com o passar dos anos, torne-se cada vez mais difícil e mais cara a obtenção desta matéria-prima. (MELO, 2012).

Nos estudos desenvolvidos por Melo (2012), destaca-se que a solução para esse problema passa pela adoção de políticas adequadas de desenvolvimento e manejo sustentado das florestas nativas, especialmente para região Amazônica, de forma que seja possível o aproveitamento do potencial apresentado por estas. Ainda, segundo o autor, essas atividades já vem sendo implementadas, já que a escassez da matéria-prima florestal em várias regiões tem feito com que empresários do setor busquem alternativas para manter suas atividades, seja por meio de adoção de técnicas de manejo florestal ou pela implantação de reflorestamentos com espécies potenciais.

Conforme Nascimento *et al.* (2005), verifica a importância da utilização de produtos de madeira reconstituída pelas indústrias moveleiras e de construção civil, vem crescendo a cada ano. As vantagens em utilizar este tipo de produto, em relação à madeira sólida, são muitas residindo, principalmente, nos aspectos de rendimento em relação ao volume das toras, diminuição da anisotropia e a utilização de madeiras de reflorestamento de rápido crescimento.

2 OBJETIVO

Confecção e avaliação de chapas de madeira aglomerada empregando-se resina ureia-formaldeído e resina poliuretana bicomponente derivada de óleo de mamona a partir do aproveitamento de resíduos de empresas madeireiras.

Serão realizadas avaliações em propriedades físicas (densidade, teor de umidade, inchamento e absorção) e em propriedades mecânicas (tração perpendicular, módulo de resistência a flexão estática, módulo de elasticidade e arrancamento de parafuso)

3 REVISÃO DA LITERATURA

Nos trabalhos desenvolvidos por Melo (2012), indicam que as estimativas sobre o consumo interno de madeira serrada no Brasil revelam que são consumidos anualmente no país 300.000.000 m³, dos quais 110.000.000 m³ provêm de florestas plantadas e 190.000.000 m³ de florestas nativas. Isso significa que o Brasil consome quase duas vezes mais madeira de florestas nativas do que de florestas plantadas. Na verdade, essa proporção pode ser ainda maior, devido ao elevado índice de extração ilegal de madeira proveniente da Amazônia, sobre o qual se tem pouco conhecimento e controle.

De acordo com Melo (2012), afirma que o Brasil é um dos principais consumidores de madeira tropical do mundo. Parte significativa da madeira produzida na Amazônia é destinada ao mercado interno, especialmente para a região Sudeste, onde é comercializada como matéria-prima para confecção de vigas, pilares, esquadrias, móveis, dentre outros produtos.

Neste contexto, evidencia-se a geração de um grande volume de resíduo que geralmente é aproveitado para produção de energia ou queimado a céu aberto e em muitas situações lançado nos leitos dos rios. Entretanto, atualmente o Brasil possui um parque fabril para produção de painéis com madeira de reflorestamento (pinus e eucalipto) com tecnologia de última geração, empregando prensas contínuas que possibilitam a produção de painéis de madeira de alta qualidade.

Uma alternativa muito estudada nos dias de hoje é a produção de chapas de madeira, aumentando o “leque” de opções de produtos industrializados, bem como a contribuição ecológica pelo aproveitamento do subproduto gerado pelas empresas de processamento da madeira.

Conforme Weber (2011), os principais usos e aplicações das chapas de madeira estão associados principalmente aos segmentos da construção civil e de móveis. As chapas de madeira podem ser diferenciadas por suas propriedades, as quais permitem aplicações nesses dois segmentos.

Nos trabalhos desenvolvidos por Del Menezzi et. al. (2010), indicam que outro importante componente na manufatura das chapas é o adesivo, com

implicações técnicas e econômicas significativas na utilização dos produtos à base de madeira, com o seu custo podendo chegar até 50% do preço total do produto com ele confeccionado.

Conforme Trianoski (2010), a indústria de base florestal tem evoluído notadamente nos últimos anos, e continua em acentuada expansão tecnológica, tanto em termos de processos como de produtos. Neste contexto, a indústria de painéis de madeira reconstituída tem se destacado e consequentemente apresenta grande relevância, já que podem suprir tanto em quantidade quanto em qualidade as demandas do setor madeireiro. Dentre os painéis de madeira reconstituída, os painéis de madeira aglomerada assumem elevada importância, pelo fato de não demonstrar grandes exigências quanto a qualidade da matéria prima, além de apresentar as maiores taxas de crescimento devido à ampla diversidade de produtos, a flexibilidade de aplicação para os mais variados fins, e, principalmente pelo elevado crescimento da indústria moveleira, que é a principal consumidora deste tipo de painel.

No trabalho desenvolvido por Alves (2013), apenas 35% de cada tora são transformados em produto serrado, o restante é desperdiçado, transformando-se em resíduos não aproveitados pela indústria. Sob este contexto e de acordo com o conceito de aproveitamento de logística reversa, este trabalho propõe utilizar serragem de marcenarias industriais, para confecção de chapas aglomeradas empregando-se resina uréia-formaldeído (UF) e resina poliuretana bicomponente derivada de óleo de mamona (PU-Mamona). Ressalta-se que vários autores se referem a estes aspectos e estudam como melhorar suas propriedades físico-mecânicas, como Iwakiri (2005), Silva e Lahr (2007), Varanda (2012), Christoforo et al. (2013), Silva et al. (2013), Nascimento (2013), citados por Alves (2013), entre outros

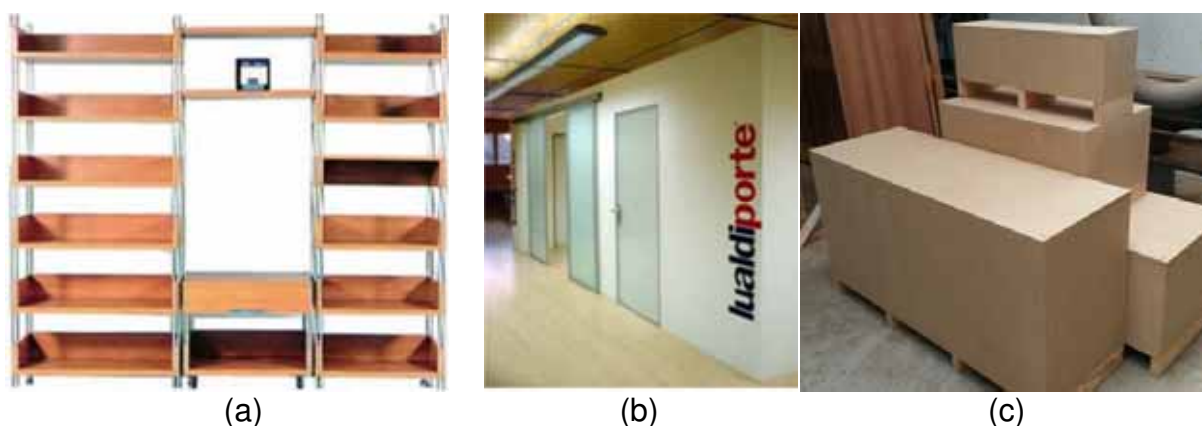
Segundo Weber (2011), o melhor aproveitamento da matéria-prima por meio de processos que incorporem o conceito de logística reversa e os princípios de gestão ambiental vem ganhando importância nas indústrias e instituições de pesquisas, pois, além dos benefícios ambientais, trazem vantagens econômicas às empresas.

Portanto, a coleta do material para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada nos depósitos de resíduos das indústrias, sendo, posteriormente tratado por meio de peneiramento, a ser descrito no capítulo materiais e método.

Como o mercado consumidor é crescente e cada vez mais exigente em produtos inovadores, o aproveitamento de resíduos industriais além de propiciar sustentabilidade, agrega valor ao produto, atendendo diversos ramos empresariais, como o moveleiro, construção civil, embalagens, etc.

A Figura 1 ilustra alguns produtos fabricados com chapas derivadas de madeira.

Figura 1 – Produtos de chapas aglomeradas (MDP) e chapas de fibra (MDF)



(a) Estante com prateleiras em MDP, (b) divisórias em MDF revestido com filme melamínico, piso em taco MDF revestido com película vinílica e forro confeccionado com Oriented Strand Board - OSB (c) caixas “paletizadas” confeccionadas com MDF cru. Fonte: WWW.google.com.br/imagens

3.1 ALGUNS ASPECTOS SOBRE A MATÉRIA PRIMA PARA PRODUÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA

Conforme se verifica na REVISTA DA MADEIRA – REMADE (2013), para o processo de confecção das chapas derivadas de madeira são consideradas várias características da madeira, dentre elas, a contração volumétrica, relacionada diretamente com a estabilidade dimensional das chapas e a Dureza *Janka*.

- Contração Volumétrica:

A madeira é um material orgânico de estrutura complexa e heterogênea, que aumenta e diminui as suas dimensões em função da umidade. Este fenômeno é avaliado pela contração volumétrica total, que define indicativos importantes quanto à aplicabilidade destes materiais nos diversos ambientes de utilização, caracterizada por uma maior ou menor estabilidade dimensional. A figura 2 (Anexos) ilustra o gráfico da contração volumétrica de espécies nativas

- Dureza Janka.

A dureza é a resistência que a madeira oferece à penetração de outro corpo, como por exemplo, a penetração de adesivo. Trata-se de uma característica importante em termos de “trabalhabilidade”, e na sua utilização para determinados fins.

A dureza Janka, expressa em quilogramas força (kgf), que corresponde à força que é necessário aplicar para fazer penetrar completamente na madeira uma semiesfera de aço cuja secção diametral tem uma superfície de 1 (cm²), é utilizada para medir a resistência da madeira. A figura 3 (Anexos) ilustra o gráfico da dureza Janka

3.2. ASPECTOS SOBRE A CONFECÇÃO DE CHAPAS DERIVADAS DE MADEIRA

Os estudos para confecção de derivados de madeira sob o ponto de vista dos painéis reconstituídos apresentam uma diversidade de informações que variam desde o conhecimento do produto sobre os aspectos relacionados aos seus usos passando por assuntos técnicos que possibilitam a evolução dos estudos para produção destes materiais.

3.2.1 Aspectos Gerais

Juntamente com o tipo de resina aplicada, a madeira é o componente fundamental que proporcionará as características desejadas ao produto. Diversos tipos de madeira são utilizados na confecção de chapas compostas no binômio madeira/resina, sendo o ***Pinus taeda*** a madeira com o maior grau de utilização,

principalmente para a confecção de chapas de partículas orientadas – OSB, conforme Iwakiri et. al. (2004c).

Segundo Weber (2011), o MDF (*Medium Density Fiberboard*) ou Chapa de Fibras de Média Densidade é um painel de madeira reconstituída, assim como o MDP e o HDF (ABIPA, 2010). Ainda nos estudos de Weber (2011), as chapas de fibras de madeira são produzidas a partir de fibras individualizadas, cuja adesão primária se processa através do entrelaçamento das fibras e pelas propriedades adesivas de alguns componentes químicos da madeira, como a lignina.

Iwakiri (2005), citado por Weber (2011), as chapas de fibras podem ser destinadas a uma ampla gama de aplicações, tais como isolamento térmico e acústico, divisórias internas, móveis, portas, molduras, revestimentos em geral, entre outras, em função da densidade da chapa.

Na construção civil é utilizada para fabricação de pisos, rodapés, almofadas de portas, batentes, portas usinadas, peças torneadas como balaústres de escadas, pés de mesas e também em embalagens. Na indústria moveleira são usados em peças com usinagens e trabalho de baixo relevo, nos fundos de móveis, lateral e fundo de gavetas e também para artesanatos diversos, conforme o tipo de aplicação, as várias características físicas e mecânicas são relevantes no momento da definição do produto a ser obtido. (ABIPA, 2010).

3.2.2 Aspectos Específicos

- Teor de umidade das partículas.

De acordo com as informações demonstradas por Weber (2011), níveis demasiadamente elevados ou reduzidos de umidade na mistura de partículas, resultam em problemas operacionais, produzindo chapas com baixa qualidade. Todavia, o teor de umidade ideal depende de inúmeros fatores, como natureza do processo, tipo e dimensão das partículas, densidade da madeira, entre outros.

As propriedades físicas e mecânicas de forma geral são interdependentes, em maior ou menor grau, portanto, a busca pela maximização do equilíbrio é o desafio. Em consonância com o aumento da umidade para proporcionar uma taxa de compactação adequada, Maloney (1993), citado por Weber (2011), afirma que o

grau de densificação conquistado através da taxa de compactação apresenta considerável reflexo sobre as propriedades físicas e mecânicas.

Segundo as informações definidas por Weber (2011), todas as propriedades dos painéis são afetadas pela razão de compactação, em maior ou menor grau. Uma razão de compactação muito baixa prejudica a colagem e a resistência do painel, afetando a absorção de água por permitir maiores espaços para a sua penetração (HILLIG, 2000; HILLIG, HASELEIN ; SANTINI, 2002).

Assim, uma condição plausível para o controle da umidade e consequentemente a obtenção de valores adequados de absorção e de inchamento pode ser através do ajustamento da adição de emulsão de parafina. Outra condição que aparentemente demonstra ser antagônica é a adição de vapor imediatamente antes da prensagem conforme mencionado por Albuquerque (2002), onde chapas confeccionadas com ureia-formaldeído apresentaram uma melhora significativa em inchamento em espessura e expansão linear já a partir de 1 minuto de pré-tratamento.

- Temperatura de prensagem das chapas.

Outra variável importante a ser controlada no processo de prensagem do colchão de partículas é a temperatura. Segundo Sekino e Irle (1996), as chapas produzidas com prensagem a quente, têm suas partículas afetadas pela alta temperatura, tendo como consequência um aumento da acidez e cristalinidade das partículas e, por conseguinte, uma diminuição da higroscopicidade.

De acordo com Iwakiri (1989), citado por Melo (2012), quanto maior a temperatura de prensagem, maior será o fluxo de vapor. Esta condição permite uma melhor densificação das camadas mais internas dos painéis, o que resulta em resistência mais elevada em ligação interna, mas uma inferior resistência em flexão estática.

Como a alta temperatura, bem como a acidez do substrato, aceleram o processo de cura da resina, podendo trazer transtornos na densificação da chapa, é aconselhável a aplicação de estabilizante (soda cáustica), para o aumento do pH.

Conforme Lehmann et al (1973) e Kelly (1977), citados por Albuquerque (2012), o emprego de resina ureia-formaldeído com temperatura acima de 93°C no miolo da chapa durante 15 segundos é suficiente para a realização da cura.

De acordo com Albuquerque (2002), no início de um ciclo de prensagem, os pratos aquecidos (por volta de 130°C) ao tocarem o colchão de partículas transferem calor para as camadas superficiais deste, originando gradiente de temperatura. Este gradiente de temperatura tende a reduzir durante o processo de prensagem até atingir a temperatura de prensagem desejada (93°C), pois, o miolo da chapa absorve calor originando um segundo gradiente de temperatura, com fluxo de calor por condução, convecção e radiação no sentido do centro da chapa para a superfície.

Ainda conforme Albuquerque (2002), para confecções de chapas de aglomeradas, a principal transferência de calor se faz pela convecção, que consiste na movimentação do vapor aquecido, seguido pela condução, que se resume na transmissão de calor pelo contato entre as partículas de madeira e, a radiação, neste caso, é desconsiderada. Segundo Strickler (1959), citado por Albuquerque (2002), a compactação da madeira na prensagem aumenta a condução de calor, uma vez que a madeira não é considerada uma boa condutora térmica, contudo, a convecção é a responsável pela maior rapidez na penetração do calor e, desta forma, a umidade desempenha um papel fundamental.

- Pressão de prensagem das chapas

Maloney (1993) afirma que as espécies com densidade de até 0,55 gcm³ são as mais adequadas para produção de chapas de partículas por atingirem uma razão de compactação entre 1,3 e 1,6, ou seja, considerada faixa ideal para o processo de densificação e consolidação da chapa até a espessura final.

Adicionalmente ainda, com prensagem abaixo dos valores normativos, o escoamento da resina, ou seja, a sua fluidez, afeta a coesão entre as partículas, dificultando a homogeneidade da mistura substrato-resina, dando margem para que a umidade penetre nos vazios criados pela falta de interação de resina-partícula.

Albuquerque (2002) observou em seus experimentos, onde o delineamento experimental constou de 12 tratamentos com partículas grossas e 6 tratamentos com partícula finas, tendo pressão nominal $P = 40 \text{ Kgf/cm}^2$ e temperatura nominal $T =$

150 °C. O tempo definido não foi de modo convencional, sendo considerado o tempo até que o miolo da chapa alcançasse 95°C, fazendo então a partir deste ponto, tratamentos com acréscimos de 0, 1 e 2 minutos.

Avaliou então que o aumento no tempo de prensagem influenciou de forma mais evidente na redução em absorção de água nas chapas de partículas grossas. Chapas de menores tempos de prensagens (tempo até o miolo atingir 95°C) apresentaram maior absorção em 2 horas e 24 horas de imersão, devido a uma consolidação não efetiva, que causa uma inferior densidade e maior porosidade.

3.3 A UTILIZAÇÃO DE RESINAS NA CONFECÇÃO DE CHAPAS DE MADEIRA.

Nos estudos de Mendes et al (2012), as resinas se classificam em dois grupos básicos, os adesivos de origem animal e vegetal, como amido, caseínas, albumina de proteína vegetal, mamona e o tanino e os adesivos de origem sintética, onde se destacam a ureia, resorcinol, fenol, melamina e polivinil.

Como a função principal das resinas é proporcionar a adesão entre os componentes participantes de um processo de aglomeração, serão descritos alguns aspectos importantes sobre suas aplicações.

- Ureia-formaldeído

Conforme Del Menezzi et al. (2010), os adesivos à base de ureia-formaldeído são muito utilizados nas indústrias de chapas de madeira, principalmente pelo baixo custo, rápida reação em prensa quente e fácil manuseio. Ainda nos estudos de Del Menezzi et al. (2010), 90% de todas as chapas aglomeradas produzidas no mundo utilizam esse tipo de resina.

Nos estudos desenvolvidos por Prata (2010), os adesivos podem ser classificados de acordo com vários sistemas e alertam sobre os cuidados a serem observados na definição da resina a ser utilizada na colagem de madeiras.

A Tabela 1 apresenta uma classificação para adesivos sintéticos e naturais de acordo com sua origem.

Tabela 1 - Classificação dos adesivos de acordo com sua origem

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

Fonte: Kollmann (1975) – Traduzida e adaptada por Prata (2010)

Conforme mencionado por Trianoski (2012), a acidez da madeira determina a taxa de cura da resina e auxilia imensamente na determinação do tempo de prensagem e o pH exerce influência sobre a solidificação do adesivo e que pode ser controlada.

Assim, Trianoski (2012) descreve que as madeiras que possuem pH com baixa acidez requerem a adição de um catalisador externo para acelerar a cura quando a colagem é efetuada com resina uréia-formaldeído (UF), a qual polimeriza em meio ácido, com pH entre 3,0 e 3,5. Por outro lado, espécies que apresentam acidez excessiva, quando submetidas ao processo de colagem, podem resultar numa linha de cola com pré-cura, podendo ser tecnicamente inviáveis para a produção de produtos colados.

- Tanino

Vários são os estudos envolvendo partículas lignocelulósicas na aglomeração com diversas bases de resinas formaldeído, pois, Del Menezzi et al. (2010), ressaltam que a crescente conscientização ambiental e a consequente busca por matérias renováveis vêm paulatinamente impulsionando também a utilização de adesivos à base de tanino, encontrados no cerne, casca, raízes, flores, frutos e sementes de algumas espécies arbóreas.

Conforme Dunky e Pizzi (2002), citados por Del Menezzi et al. (2010), os adesivos de tanino são utilizados industrialmente na África do Sul, Austrália, Zimbábue, Chile, Argentina, Brasil e Nova Zelândia (DUNKY; PIZZI, 2002). George et al. (1976) e Pizzi et al. (1981) citados por Del Menezzi et al. (2010), descrevem que o tanino formaldeído apresenta propriedades similares ao fenol formaldeído, no entanto, junto com o tanino são geralmente extraídos gomas e açúcares que prejudicam a qualidade do adesivo. Uma alternativa para melhorar a qualidade dos adesivos tânicos é modificar os taninos através de hidrólise alcalina ou ácida (PIZZI, 1994).

3.4 ESTUDOS RECENTES SOBRE A PRODUÇÃO DE CHAPAS DERIVADAS DE MADEIRA.

Nos estudos sobre a viabilidade técnica com emprego de 8% de resina poliuretana bicomponente e 5% de resina poliuretana monocomponente derivadas de óleo de mamona, desenvolvidos por Silva et al. (2013), para produção de chapas MDF com fibras de madeira de ***Pinus caribaea*** e de ***Eucalyptus grandis***, foi determinado, com base na norma européia EuroMDFBoard (EMB/IS-2:1995), que a absorção de água para as chapas confeccionadas com fibras de ***Eucalyptus grandis*** não atenderam as exigências do referido documento normativo, entretanto, as demais propriedades físicas estão de acordo com a referida norma.

Em estudos desenvolvidos por Silva e Lahr (2008), empregando-se resíduos de madeiras tropicais de baixa e média densidade para confecção de chapas de partículas com 15% de resina poliuretana bicomponente derivada de óleo de mamona na proporção de 1:1, foram determinados valores de MOR de 18,7MPa e RTP de 6,7MPa.

De acordo com Mendes et al. (2012), nos estudos com madeiras de ***Pinus oocarpa***, ***Cunninghamia lanceolata*** e ***Eucalyptus saligna***, com densidades aparente de 0,508; 0,610 e 0,426 g/cm³, respectivamente; foram confeccionadas chapas de partículas com densidade nominal de 0,65 g/cm³, 8% de resina uréia-formaldeído, 1% de parafina e ciclo de prensagem de 4 MPa, 160⁰C e 8min, sob estas condições foram determinadas densidades aparentes das chapas com cada espécie estudada, variando de 0,60 e 0,62 g/cm³. Segundo Maloney (1989), citado

por Belini (2007), a densidade aparente da madeira possibilita que a prensagem propicie um bom contato entre as fibras.

A taxa de compactação (relação entre a densidade nominal da chapa e a densidade aparente da madeira) em torno de 1,3 a 1,5; segundo Iwakiri (2004c) é outro aspecto importante para confecção de chapas de madeira, pois, este parâmetro influencia as propriedades das chapas de madeira aglomerada, tendo em vista o grau de densificação do material para a consolidação da chapa até a espessura final.

Moslemi (1974) e Maloney (1993) afirmam que as espécies de madeira com densidade de até 0,55 g/cm³ são as mais recomendadas para produção de chapas de partículas. No entanto, as espécies de maior densidade podem ser utilizadas em mistura com as de menor densidade, podendo, dessa forma, viabilizar o aproveitamento espécies com maior densidade.

Nos estudos de Mendes et al. (2012) para avaliação da absorção de água após 2 e 24 horas de imersão, foi observado que as chapas confeccionadas com partículas de ***Pinus oocarpa*** obtiveram os maiores valores médios de absorção (61 e 93,1%) após 2 e 24 horas de imersão, enquanto que, nas chapas confeccionadas com ***Cunninghamia lanceolata*** e ***Eucalyptus saligna*** foram observados valores médios de (47,3 e 76,9%) e (50,2 e 71,5%), respectivamente.

Em estudos desenvolvidos por Iwakiri et al. (2001b) na avaliação do potencial para utilização de cinco espécies de pinus tropicais na produção de chapas aglomerados empregando-se resina ureia-formaldeído, e sem a utilização de parafina, encontrou valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão, variando na faixa de 68,82 a 83,60% e de 78,69 a 93,8%, respectivamente.

Para avaliação do inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão desenvolvido por Mendes et al. (2012), foram determinados valores médios para chapas com ***Pinus oocarpa*** de 17,9 e 23 mm para chapas com; para chapas com ***Cunninghamia lanceolata*** de 21,8 e 31,1mm e para chapas com ***Eucalyptus saligna*** de 17,9 e 29,3 mm, respectivamente.

Iwakiri et al. (2000), citados por Morais (2011), avaliaram a produção de chapas aglomeradas com densidade nominal de 0,75 g/cm³ com teores de 8 e 12% do resina ureia-formaldeído e três espécies de eucaliptos (***Eucalyptus maculata***, ***Eucalyptus grandis*** e ***Eucalyptus tereticornis***). Nas avaliações realizadas foram

determinados valores médios de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão de 12,4 e 30,6% e de 23,5 e 38,8%, respectivamente.

Mendes et al. (2012) ao avaliarem o módulo de resistência à flexão (MOR), o módulo de elasticidade (MOE) e a resistência a tração perpendicular (RTP), determinaram valores para chapas confeccionadas com madeira de *Pinus oocarpa* de 12,4MPa, 25589,5MPa e 0,43MPa; com madeira de *Cunninghamia lanceolata* de 12,2MPa, 2512,6MPa e 0,43MPa e com madeira de *Eucalyptus saligna* de 12,4MPa, 1816,4MPa e 0,26MPa, respectivamente.

De acordo com Campos et al. (2012), nas chapas confeccionadas com misturas de partículas de casca de *Jatropha curcas* (pinhão manso) e *Eucalyptus grandis* com o emprego de 8% de UF, pressão de 3,2MPa, temperatura de 170⁰C durante 8min; foram determinados valores médios de densidade de 0,60g/cm³; teor de umidade variando entre 11,2 e 13,2%; absorção de água após 2 horas de imersão variando de 73,2 a 111,57% e após 24 horas de imersão variando entre 108,9 a 130,43%; inchamento após 2 horas de imersão variando entre 19,77 a 34,3% e após 24 horas de imersão variando entre 29,33 a 41,1% e com relação às propriedades mecânicas, foram determinados valores médios para o MOR de 7,186MPa, para o MOE de 76,688MPa e para a RTP variando entre 1,29 a 0,62MPa

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 MATERIAIS

- Serragem.

O principal material deste trabalho foi coletado em marcenarias industriais, na região de São José do Rio Preto – SP. De acordo com as indústrias, os resíduos de madeira são oriundos de *Cariniana micrantha* (Tauari), *Goupia glabra* (Cupiúba), *Vochysia guianensis* (Cambará), *Tabebuia alba* (Ipê) e *Apuleia leiocarpa* (Garapa) com densidades aparente média de 0,68; 0,88; 0,76; 1,02 e 0,88 (g/cm³), respectivamente.

- Resinas

Para a confecção das chapas aglomeradas foram utilizados os seguintes adesivos: uréia-formaldeído (UF), poliuretana monocomponente *Fastbond*, que se caracteriza por ser um adesivo de contato à base de água, poliuretana monocomponente *Purbond* HB S109 e a poliuretana bicomponente de mamona.

4.2 MÉTODOS

Os resíduos coletados foram submetidos ao peneiramento, objetivando-se eliminar impurezas que prejudicam a qualidade das chapas, onde as mesmas impossibilitam uma maior homogeneização com relação às dimensões das partículas (de 2 a 6 mm de comprimento). A Figura 4 ilustra alguns objetos que foram retirados da amostra após o peneiramento.

Figura 4 – Impurezas retiradas da amostra em estudo.



Fonte: Próprio autor

4.2.1 Ensaio para determinação da granulometria das partículas.

Após a coleta e o peneiramento para a eliminação dos resíduos, realizou-se o ensaio de granulometria das partículas, sendo este ensaio uma adaptação do ensaio de granulometria proposto pela ABNT NBR 7217-1987.

Ressalta-se que as partículas não foram submetidas à secagem em estufa, entretanto, realizou-se análise para determinação do teor de umidade de acordo com a ABNT NBR 14810-3:2006, pois, considerou-se que a serragem utilizada era proveniente de madeiras de empresas que controlam o teor de umidade das peças para evitar problemas devido a defeitos de secagem.

4.2.2 Cálculo da massa de partículas para confecção das chapas

Para o cálculo da massa de partículas para confecção das chapas foi utilizada a equação 1.

$$D = M/V \quad (1)$$

Onde:

D = é a densidade nominal da chapa, expressa em [g/cm³];

M = massa de serragem, expressa [g].

V = volume da chapa, determinada pela equação 2 e expressa em [cm³],

$$V = E \times L \times C \quad (2)$$

E = espessura da chapa [cm];

L = largura da chapa [cm];

C = comprimento da chapa [cm].

Utilizando a equação 1 para determinação da massa de partículas tem-se a equação 3:

$$M = D \times V \quad (3)$$

Onde:

D = Densidade nominal [g/cm³]

L = Largura da chapa [cm].

C = Comprimento da chapa [cm].

E = Espessura da chapa [cm].

Vale ressaltar, entretanto, que de acordo com Weber (2011), quando a umidade das chapas estabilizadas diferirem dos teores de umidade das partículas utilizadas, a massa de partículas a ser empregada para qualquer nível de teor de umidade deverá ser determinado da seguinte maneira de acordo com a equação 4.

$$M_n = (n/100 + 1) \times M_0 \quad (4)$$

Onde:

M_n = massa de partículas a um determinado teor de umidade “n” (g)

n = teor de umidade das partículas pretendido (%).

M_0 = massa de partículas a 0% de umidade (g)

4.2.3 Cálculo para determinação do teor de umidade das partículas

Para determinação do teor de umidade nas partículas considerou-se o documento normativo ABNT NBR 14810-3:2006 que utiliza a equação 5.

$$U = ((M_u - M_s)/M_s) \times 100 \quad (5)$$

Onde:

U = Teor de umidade em %,

M_u = Massa úmida das partículas em [g],

M_s = Massa seca das partículas em [g],

4.2.4 Adição e homogeneização do adesivo às partículas

A Figura 5 ilustra o processo de adição e homogeneização do adesivo

Figura 5 – Adição e homogeneização do adesivo.



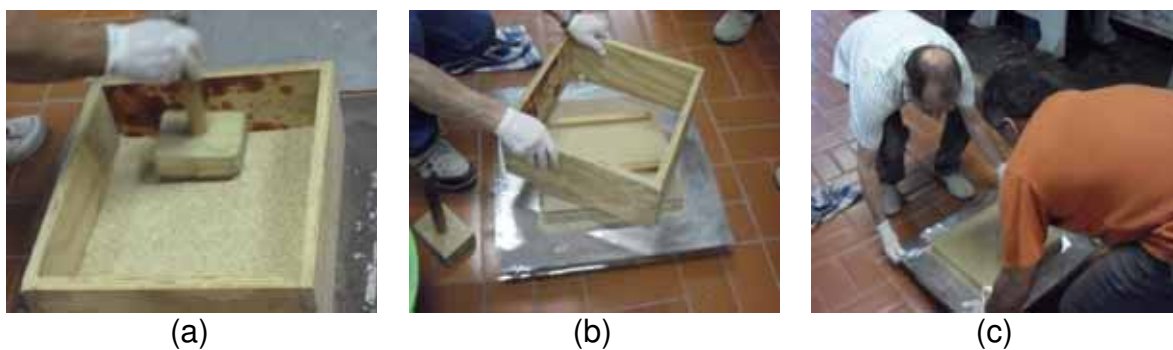
- (a) Adição do adesivo; (b) Homogeneização manual; (c) Homogeneização mecânica por meio de misturador de tambor.
(b) Fonte: Próprio autor.

A Figura 5 ilustra as etapas para adição e homogeneização do adesivo às partículas. Neste processo vale ressaltar que a resina poliuretana bicomponente derivada de óleo de mamona foi adicionada e misturada ao substrato em duas etapas. Na primeira etapa adicionou-se e homogeneizou-se o poliol, composto oriundo do óleo de mamona e na segunda etapa adicionou-se e homogeneizou-se o pré-polímero, composto oriundo do petróleo, pois, segundo Silva & Lahr (2008), este procedimento propicia melhor homogeneização do PU-Mamona ao substrato.

4.2.5 Confeção do colchão de partículas

Após adição e homogeneização do adesivo às partículas, iniciou-se os procedimentos para preparação do colchão de partículas. A Figura 6 ilustra a sequência para preparação do colchão de partículas

Figura 6 – Preparação do colchão de partículas



- (a) acomodação das partículas no interior da formadora de colchão, (b) remoção da formadora de colchão, (c) colchão de partículas pronto para ser compactado em prensa com controle de temperatura e pressão.

Fonte: próprio autor.

Vale ressaltar que para preparação do colchão de partículas empregou-se uma pré-prensagem, que de acordo com a literatura existente deve ser de aproximadamente 1MPa, objetivando-se propiciar a aproximação entre as partículas e consequentemente formação do colchão.

4.2.6 Tratamentos empregados para confecção dos painéis

Conforme descrito anteriormente, as chapas foram confeccionadas em duas fases, inicialmente de acordo com os estudos exploratórios (1ª fase) e, após avaliações, foram realizados ajustes nos parâmetros para confecção das chapas da 2ª fase. A Tabela 2 apresenta a proposta de tratamentos empregados na 1ª e 2ª fase para confecção das chapas.

Tabela 2 - Parâmetros adotados para confecção das chapas.

Tratamentos		Chapas (Unid)	Limitador	Pressão (MPa)	Tempo (min)	Temperatura (°C)
1ª Fase	T1	1	sem	3,6	10	110
	T2	1	com	3,6	10	110
	T3	2	com	3,6	10	130
2ª Fase	T4	3	sem	5,0	10	130
	T5	3	sem	5,0	10	110

Fonte: Próprio autor

Com relação à pressão de prensagem, onde as áreas das chapas foram iguais à 1225 cm² (1ª fase) e 1600 cm² (2ª fase), as pressões aplicadas foram de 3,6 MPa e 5,0 MPa, respectivamente.

Com relação ao tempo de prensagem, para as duas fases considerou-se a simulação de um ciclo com prensagem inicial de 3 min, alívio de pressão por 30 seg e prensagem final de 7 min.

Para as chapas da 1ª Fase, nos tratamentos T2 e T3 foram utilizados limitadores de espessura com o objetivo de manter a espessura nominal da chapa. Ressalta-se, entretanto, que este procedimento não é normatizado, consequentemente, adotou-se este procedimento para avaliar a influência dos limitadores de espessura na confecção e compactação das chapas. Para as chapas da 2ª Fase, nos tratamentos T4 e T5, não foram utilizados os limitadores de espessura.

A figura 7a ilustra o colchão de partículas juntamente com os limitadores de espessura sobre o prato inferior da prensa hidráulica e a figura 7b ilustra uma chapa de partículas após a compactação com controle de temperatura e pressão.

Figura 7 – Colchão de partículas preparado para prensagem com controle de temperatura e pressão.



(a)



(b)

Fonte: Próprio autor.

4.2.7 Preparação dos corpos-de-prova.

Depois de decorridas 72 horas para resfriamento e estabilização das chapas, as mesmas foram esquadrejadas e os corpos-de-prova preparados conforme ABNT NBR 14810-3:2006.

A Tabela 3 apresenta as dimensões e as quantidades de corpos-de-prova utilizados para realização dos ensaios físicos e mecânicos propostos para este trabalho, de acordo com a ABNT NBR 14810-3:2006.

Tabela 3 – Dimensões nominais e quantidades de corpos-de-prova para cada tratamento.

Propriedades	Tratamentos	Dimensões (mm)	Quantidade (unid)
Densidade	T1, T2 e T3	50x50x10	63
Densidade	T4 e T5	50x50x10	12
Teor de umidade	T1, T2 e T3	50x50x10	63
Teor de umidade	T4 e T5	50x50x10	12
Inchamento	T1, T2 e T3	25x25x10	41
Inchamento	T4 e T5	25x25x10	24
Absorção	T1, T2 e T3	25x25x10	41
Absorção	T4 e T5	25x25x10	24
M.O.R.	T4 e T5	250x50x10	24
M.O.E.	T4 e T5	250x50x10	24
R.T.P.	T4 e T5	50x50x10	24
Arrancamento de parafuso - face	T4 e T5	150x75x10	24
Arrancamento de parafuso - topo	T4 e T5	115x65x10	24

Fonte: Próprio autor

Os corpos-de-prova antes de serem ensaiados para a avaliação das propriedades físicas e mecânicas foram climatizados até atingirem a umidade de 65% e temperatura de 20°C, conforme ABNT NBR 14810-3:2006. A avaliação da qualidade consistiu na determinação das seguintes propriedades físicas e mecânicas: massa específica aparente, absorção d'água, inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água, flexão estática (ruptura e elasticidade), tração perpendicular à superfície, arrancamento de parafuso (face e topo).

4.2.8 Análise estatística

Na segunda fase do experimento (tratamentos T4 e T5), as chapas foram fabricadas com o uso de dois tipos de adesivos: resina ureia-formaldeído (UF) e resina poliuretana à base de óleo de mamona (PU-Mamona). As avaliações foram realizadas para determinação do módulo de resistência à flexão (MOR), módulo de elasticidade na flexão (MOE), resistência à tração perpendicular (RTP), arrancamento de parafuso de face (AP-F) e de topo (AP-T), sendo a densidade aparente (ρ) a propriedade física avaliada. Foram extraídos e testados 12 corpos de prova para cada propriedade.

Para investigar a influência do tipo de adesivo nas propriedades mecânicas e físicas das chapas fabricadas foi utilizada a Análise de Variância (ANOVA), com o auxílio do software Minitab® versão 14, considerada ao nível de significância (α) de 5%, tendo a equivalência entre os valores médios das propriedades como hipótese nula (H_0) e a não equivalência como hipótese alternativa (H_1). P-valor inferior ao nível de significância implica em rejeitar H_0 , aceitando-a em caso contrário.

Para validação da ANOVA foram avaliadas a normalidade (teste de *Anderson-Darling*) na distribuição dos valores das forças e a homogeneidade entre variâncias dos tratamentos (testes F e de *Levene*). Ambos os testes foram considerados ao nível de 5% de significância. O teste de *Anderson-Darling* teve como hipótese nula a normalidade nas distribuições, e a não normalidade como hipótese alternativa. P-valor superior ao nível de significância implica em aceitar H_0 , refutando-a em caso contrário. Os testes F e *Levene* tiveram a equivalência das variâncias entre os tratamentos como hipótese nula, e a não equivalência como hipótese alternativa. P-valor superior ao nível de significância implica em aceitar H_0 , refutando-a em caso contrário.

Quando do não atendimento das premissas da ANOVA (paramétrica) por alguma das variáveis-resposta avaliadas, a influência do tipo de adesivo foi investigada por meio da análise de variância (ANOVA) de *Kruskal-Wallis* (não paramétrica) e do teste de comparações múltiplas entre postos de *Student-Newman-Keuls*, com o auxílio do software BioEstat® versão 5.0. O nível de significância (α) estipulado para a ANOVA foi de 5%, e a hipótese nula (H_0) formulada consistiu na equivalência entre médias, implicando na não equivalência entre médias para a

hipótese alternativa (H_1). P-valor do teste de *Kruskal-Wallis* inferior ao nível de significância implica em aceitar H_0 , refutando-a em caso contrário.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são avaliados e discutidos aspectos inerentes ao processo de confecção das chapas: propriedades físicas e mecânicas determinadas a partir de ensaio e de acordo com os valores normatizados, apresentados na Tabela 6.

Tabela 4 - Propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas com seus respectivos valores normatizados

Propriedades	NBR	EN	CS
Densidade (g/cm ³)	0,551 a 0,750	0,690	0,60 a 0,80
Teor de umidade (%)	5 a 11	5 a 13	-
Inchamento após 2 horas (%)	8	15 ⁽³⁾	35
Absorção após 2 horas (%)	SR ⁽¹⁾	SR ⁽¹⁾	SR ⁽¹⁾
Módulo de resistência na flexão (MPa)	18	15	11,2
Módulo de elasticidade na flexão (MPa)	SR ⁽²⁾	2400 ⁽⁴⁾	2450
Resistência à tração perpendicular (MPa)	0,40	0,35	0,49
Arrancamento de parafuso na superfície do cp (N)	NA ⁽²⁾	1200	2041
Arrancamento de parafuso no topo do cp (N)	NA ⁽²⁾	SR ⁽¹⁾	-

⁽¹⁾ Sem referência,

⁽²⁾ Não aplicável para painéis aglomerados com espessura na faixa de 10mm,

⁽³⁾ Valor de Inchamento após 24 horas de imersão para painéis com espessura entre 25mm a 32mm,

⁽⁴⁾ Valor de MOE para painéis aglomerados com espessura entre 25mm a 32mm.

5.1 AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE.

A Tabela 5 apresenta os resultados obtidos com relação ao teor de umidade das partículas.

Tabela 5 - Teor de umidade das partículas

CPs	Massa úmida (g)	Massa seca (g)	Teor de umidade (%)
1	38,28	35,08	9,12
2	39,04	36,05	8,29
3	38,62	35,49	8,82
		Média	8,75

Fonte: Próprio autor

Verifica-se na Tabela 5, que o teor médio de umidade das partículas encontra-se entre os valores empregados para confecção de chapas com resina UF (em torno de 5%) e para chapas confeccionadas com resina PU-Mamona (em torno de 12%). Considerando-se que os valores determinados estão próximos dos valores para confecção das chapas, não foram realizados ajustes nos teores de umidade das partículas.

Conforme Moslemi (1974); Kollmann, Kenzi e Stamm (1975); Iwakiri (1989); Tsoumis (1991); Vital, Haselein e Della Lúcia (1992); Maloney (1993), citados por Weber (2011), o teor de umidade das partículas utilizadas para a produção de chapas aglomeradas empregando-se UF deve variar entre 3 e 6%.

Silva (2008) descreve que é adequado o teor de umidade nas partículas em torno de 10% para confecção de chapas de madeira aglomerada empregando-se resina PU-Mamona, pois, em seus estudos verificou-se que esse teor de umidade propiciou melhor homogeneização do adesivo às partículas. Estudos de Jesus (2000), Campos (2005), Silva (2007), Rocco (2008), Dias (2008), Silva et al, (2013c), Christoforo et al, (2013), entre outros, citados por Alves (2013), evidenciam que esta resina confere resultados físicos e mecânicos satisfatórios nas chapas, além de características impermeabilizantes e a vantagem de não apresentar emissão de formol.

5.2 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DA SERRAGEM

A Tabela 6 apresenta os valores obtidos com o ensaio para determinação da granulometria das partículas (da 2ª fase do experimento), onde são evidenciados os percentuais retidos acumulados em função das peneiras utilizadas conforme a ABNT

NBR 7217-1987. Observação: Na 1ª fase do experimento (T1, T2 e T3) não foi levantada os dados granulométricos, sendo uma análise qualitativa da serragem envolvida, observou-se que o percentual de partículas finas (abaixo de 1,19 mm) e de finos foi bastante relevante.

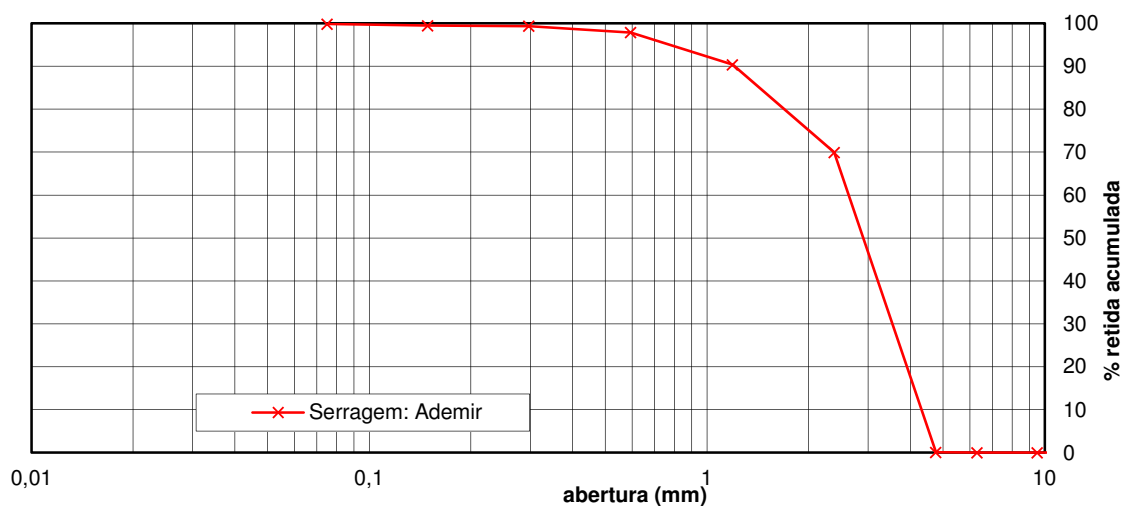
Tabela 6 - Granulometria da serragem

	% Retida Acumulado								
Peneiras (mm)	0,075	0,149	0,297	0,595	1,19	2,38	4,76	6,30	9,50
Serragem (%)	99,84	99,46	99,35	97,87	90,38	69,94	0,10	0,00	0,00
Serragem (g)	1,89	0,54	7,42	33,45	102,25	349,25	0,50	0,00	0,00

Fonte: Próprio autor

A Figura 8 ilustra o gráfico com a curva granulométrica decorrente do peneiramento realizado.

Figura 8 – Granulometria da Serragem



Fonte: Próprio autor

Considerando-se que a faixa granulométrica adequada para confecção das chapas é de 2 a 6 mm, evidencia-se com o ensaio granulométrico uma concentração acumulada de 0,1% (0,50g) de partículas com comprimento entre 4,76 a 6,30 mm,

uma concentração acumulada de 69,94% (349,25g) de partículas com comprimento entre 2,38 a 4,73 mm e uma concentração acumulada de 90,38% (102,25g) de partículas com comprimento entre 1,19 a 2,38 mm. Verificam-se ainda na Tabela 8, concentrações acumuladas superiores a 90% de partículas com dimensões inferiores a 1,19 mm. De acordo a distribuição granulométrica, verifica-se que ocorreu uma pequena concentração de partículas com comprimento de 6mm.

5.3 DETERMINAÇÃO DO TEOR DE MASSA DE PARTÍCULAS E DE ADESIVO

De acordo com a equação 1 determinou-se a massa das partículas.

$$D = M/V$$

Onde:

D = densidade nominal dos painéis de 0,8 [g/cm³]

L = largura da chapa de 35 [cm];

C = comprimento da chapa de 35 [cm];

E = espessura nominal da chapa de 1 [cm].

Consequentemente:

$$M = 0,8 \times 35 \times 35 \times 1 \text{ [g]}$$

$$M = 980\text{g, entretanto, adotou-se } M = 1000\text{g.}$$

Ou seja, a adição de adesivo foi determinada em função da massa de partículas previamente calculada na condição seca do substrato, considerando-se 1000g de massa de partículas, consequentemente o teor de adesivo utilizado foi de 100g.

Entretanto, de acordo com Weber (2011), quando a umidade das chapas estabilizadas diferirem dos teores de umidade das partículas utilizadas, a massa de partículas a ser empregada para qualquer nível de teor de umidade deverá ser determinado de acordo com a equação 4. ($M_n = (n/100 + 1) \times M_0$)

Como neste estudo o teor de umidade das partículas (serragem) foi de 8,75% e a chapa com 9%, tem-se o seguinte cálculo para uma chapa com 9%:

100 partes de partículas a 0% de umidade;

10 partes de resina sólida (resina 10% em massa seca de serragem);

9 partes de umidade;

TOTAL = 119 partes.

Onde 119 partes correspondem a M (massa de partículas para a umidade especificada, neste caso, a 8,75%)

Calcula-se a massa de partículas a 0% de umidade:

$$M_0 = (M \times 100)/119.$$

A partir de M_0 pode-se calcular a massa de partícula necessária para qualquer teor de umidade, da seguinte forma:

$$M_n = (n/100 + 1) \times M_0, \text{ onde:}$$

M_n = massa de partículas a um determinado teor de umidade “n” (g)

n = teor de umidade das partículas pretendido (%).

Assim, temos:

$$M_0 = (M \times 100)/119 \rightarrow (1000 \times 100)/119 = 840 \text{ gramas.}$$

$$M_n = (n/100 + 1) \times M_0$$

$$M_n = (8,75/100 + 1) \times 840$$

$$M_n = 913,50 \text{ gramas}$$

Para a massa de 1000g de partículas, utilizada para confecção das chapas da 1ª Fase e, considerando-se os cálculos realizados, evidencia-se um acréscimo de 9,47% em massa de partículas. Para a confecção das chapas da 2ª Fase (T4 e T5) foram utilizados moldes de 40 x 40 x 1 (cm³), para a mesma densidade nominal de 0,8 g/cm³, resultando em massa de 1280g. Considerando-se os ajustes nos parâmetros de confecção adotou-se massa nominal de 1300g de serragem e massa nominal de adesivo em 120 gramas (ou seja, percentual nominal de adesivo em 9%).

5.4 AVALIAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE DAS CHAPAS

A Tabela 7 apresenta os valores médios do teor de umidade obtidos nos ensaios para caracterização das chapas confeccionadas de acordo com os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5.

Tabela 7 - Valores médios para o teor de umidade das chapas

Tratamento	Limitador	Resina (g)	Umidade (%)
T1	sem	Fastbond	5,88
T2	com	Purbond	5,02
T3	com	UF	4,09
T4	sem	UF	7,07
T5	sem	PU-Mamona	7,65

Fonte: Próprio autor

De acordo com o documento normativo ABNT NBR 14810-3:2006, para chapas confeccionadas com resina UF, o teor de umidade média das chapas de madeira aglomerada não deve ser menor que 5% e nem maior que 11%.

Na Tabela 7, verifica-se que as chapas de T1, T2, T4 e T5 atendem aos requisitos da norma, entretanto, para as chapas confeccionadas com o T3 verifica-se que estão ligeiramente abaixo do teor mínimo normatizado.

Vale ressaltar que a umidade final das chapas está diretamente relacionada ao teor de umidade do substrato (8,75%), com a temperatura de prensagem (130°C para resina UF e 110°C para resina PU-Mamona) e com o tempo de prensagem, consequentemente, considerando-se a umidade das chapas de T1 (5,88%) evidencia-se perda de umidade de 32,8%; para o T2 (5,02%) perda de umidade de 42,63%; para o T3 (4,09%) perda de 53,26%; para o T4 (7,07%) perda de 19,20% e para o T5 (7,65%) perda de 12,57%.

Com relação às chapas do T3, verificou-se que o teor médio de umidade obtido 4,09%, ficou abaixo do teor recomendado por norma (5%), este fato pode ser devido ao uso do limitador, pois, o mesmo pode ter propiciado maior liberação de

gases, consequentemente, ocasionando maior liberação de umidade do interior da chapa.

Para os tratamentos T4 e T5, sem uso de limitadores de espessura, observa-se que a umidade média das chapas foi de 7,07% e 7,65%, aproximadamente 73% e 87%, acima da umidade das chapas do tratamento T3, respectivamente.

Verifica-se na Tabela 7 que chapas do T1, T4 e T5, sem uso de limitadores de espessura, apresentaram valores de umidades de acordo com as exigências do documento normativo, enquanto que, para as chapas do T2 e T3, indicam que o uso de limitadores de espessura influenciou a liberação de gases e consequentemente propiciaram teores de umidade às chapas de 5,02 e 4,09%, respectivamente.

É importante que seja estabelecida a dosagem adequada de umidade, pois, conforme Iwakiri (2005) citado por Ferro (2013), o teor de umidade nas partículas exerce grande influência sobre a cura da resina, o tempo de prensagem e a pressão necessária para a consolidação da chapa. Partículas com alto teor de umidade precisam de menor tempo atingir a espessura final desejada, isso ocorre devido à “plasticização”, decorrente da combinação entre a umidade e a temperatura, que propicia menor resistência à compactação.

Segundo Matos (1988), a umidade facilita a transferência de calor desde a superfície até o miolo do painel, devido ao deslocamento mais rápido de vapor para as camadas internas, facilitando o aquecimento e a cura da resina. Porém, partículas com altos teores de umidade requerem maior tempo de prensagem e resultam em colagem com menor qualidade.

Conforme Moslemi (1974); Kollmann, Kenzi e Stamm (1975); Iwakiri (1989); Tsoumis (1991); Vital, Haselein e Della Lúcia (1992); Maloney (1993), citados por Weber (2011), o teor de umidade das partículas utilizadas para a produção de chapas aglomeradas com emprego de resina UF deve variar entre 3 e 6%.

5.5 AVALIAÇÃO DA MASSA ESPECÍFICA APARENTE (MEa) DAS CHAPAS

A Tabela 8 apresenta os valores médios determinados para a massa específica aparente (MEa) das chapas para cada tratamento aplicado.

Tabela 8 - Valores médios da massa específica aparente das chapas.

Tratamento	Prensagem (MPa)	Resina	MEa (g/cm ³)
T1	3,6	Fastbond	1,00
T2	3,6	Purbond	0,67
T3	3,6	UF	0,69
T4	5,0	UF	0,71
T5	5,0	PU-Mamona	0,73

Fonte: Próprio autor

Conforme pode ser observada na Tabela 8 a MEa das chapas do tratamento T1 se apresentam acima da faixa recomendada pelos documentos normativos (entre 0,55 a 0,80g/cm³). Uma possível interpretação do resultado obtido pode estar relacionada ao teor de umidade das partículas (8,75%), a prensagem sem o emprego de limitadores de espessura e às características do adesivo *Fastbond*, que possui densidade alta, entre 1,07 a 1,11g/cm³ e altos teores de sólido, entre 47 a 51%, de acordo com as informações do fabricante, entretanto, o adesivo não propiciou coesão adequada às partículas, configurando problema de cura, provavelmente devido ao tempo necessário para o “envelopamento” das partículas, à temperatura e pressão de prensagem.

As chapas do tratamento T2, com resina poliuretana *Purbond HB S109*, estão de acordo com os parâmetros de confecção, pois, a MEa de 0,67g/cm³ está dentro da faixa recomendada pelos documentos normativos (entre 0,55 a 0,80g/cm³), mesmo considerando o baixo teor de umidade (8,75%) das partículas e a prensagem com o emprego de limitadores de espessura.

Com relação às chapas confeccionadas com os tratamentos T3 e T4, com resina UF, o valor médio da densidade aparente então de acordo com as exigências dos documentos normativos. Nestas chapas o fator determinante para a MEa foi o teor de umidade nas partículas e o tempo de prensagem, pois, verificou-se que o emprego de limitadores de espessura e a pressão de prensagem exerceram pouca influência para definição das MEa.

Para as chapas confeccionadas com o tratamento T5, empregando-se PU-Mamona, foi determinada MEa de 0,73g/cm³, que está de acordo com a faixa recomendada pelos documentos normativos (entre 0,55 a 0,80g/cm³). Para estas

chapas o teor de umidade das partículas e exerceram pouca influência para definição da MEa.

5.6 AVALIAÇÃO DA ABSORÇÃO DE ÁGUA E DO INCHAMENTO EM ESPESSURA

A tabela 9 apresenta os valores médios de absorção e inchamento após 2h e 24h de imersão para chapas confeccionadas com os tratamentos T1, T2, T3, T4 e T5.

Tabela 9 - Valores médios de absorção e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão

Tratamento	Resina	Absorção	Absorção	Inchamento	Inchamento
		2h	24h	2h	24h
T1	<i>Fastbond</i>	151,26	172,91	78,13	89,73
T2	<i>Purbond</i>	145,06	156,65	50,75	54,12
T3	UF	70,08	76,02	11,92	13,02
T4	UF	50,63	68,72	25,83	31,07
T5	PU-Mamona	34,65	52,49	15,10	24,27

Fonte: Próprio autor

De acordo com a ABNT NBR 14810-2:2006 para chapas com espessuras entre 3 a 50mm os valores de Inchamento em espessura após 2 horas de imersão, não devem ultrapassar 8%. Consequentemente, considerando-se os valores obtidos, verifica-se o não atendimento aos requisitos normativos. Ressalta-se, porém, que o documento normativo não faz referência quanto ao inchamento após 24 horas de imersão e nem com relação a valores de absorção, consequentemente, faz-se necessário recorrer a outras normas para o desenvolvimento adequado da análise dos resultados obtidos.

Os valores obtidos foram comparados com os requisitos estabelecidos pelas normas ABNT NBR 14810:2006; Euro Norma: EN 317, EN 310, EN 319, EN 323 e literaturas técnicas sobre o assunto.

A Euro Norma EN 317, define para chapas aglomerada com espessuras nominais 25 a 32mm, valores de inchamento após 24 horas de 15%, desta forma,

verifica-se que para as chapas confeccionadas com o tratamento T3, empregando-se resina UF, foi determinado valor de absorção após 24 horas de imersão de 13,02%.

A norma americana CS 236-66 estabelece para chapas aglomeradas de média densidade, valores de 35% para inchamento em espessura, respectivamente. De acordo com os valores obtidos para as chapas confeccionadas com os tratamentos T3, T4 e T5 estão de acordo com a referida norma.

A norma ABNT NBR não referencia para valores de absorção, porém na pesquisa realizada por Iwakiri et al. (2000a) com resíduos de eucalipto, os valores médios de absorção para 2 e 24 horas variaram respectivamente de 13,94 a 41,74% e de 37,37 a 58,80%. Somente os valores das chapas confeccionadas com o T5 estão em conformidade com os valores obtidos por Iwakiri.

Ressalta-se que neste estudo, os resíduos utilizados são provenientes de marcenarias industriais que realizam controle de umidade das madeiras para confecção das peças e, conseqüentemente, foi determinado valor médio de umidade das partículas de 8,75%, ou seja, principalmente para as chapas confeccionadas com resina UF, referentes aos tratamentos T3 e T4, o teor de umidade das partículas poderia ser ajustado, para valores em torno de 5%, objetivando melhorar a qualidade das chapas com relação aos requisitos exigidos pela ABNT NBR 14810-2:2006.

Com relação às chapas confeccionadas com os tratamentos T1 e T2 ressalta-se que se constituem de estudos exploratórios e nas avaliações realizadas evidenciou-se que o teor de umidade não foi o único problema. No caso das chapas do T1, observou-se que as mesmas não adquiriram coesão suficiente, provavelmente devido às características de cura do adesivo *Fastbond* que é uma poliuretana à base de água, possivelmente precisou de maior tempo para que o adesivo pudesse “envelopar” as partículas.

No caso das chapas do T2, devido às características do adesivo *Purbond*, que é uma poliuretana derivada do petróleo com viscosidade que dificultou a homogeneização do adesivo às partículas e conseqüentemente não propiciou qualidade adequada às chapas, influenciando nos valores de inchamento e absorção. Talvez neste caso, seria interessante aumentar a umidade das partículas para avaliar se o adesivo *Purbond* será mais facilmente misturado ao substrato.

Com relação às chapas confeccionadas com as partículas do tratamento T5 empregando-se resina PU-Mamona, talvez seja necessário ajustar o teor de umidade das partículas em torno de 12%, de acordo com as recomendações de Silva (2008).

5.7 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DAS CHAPAS

A partir dos resultados obtidos com as chapas dos tratamentos T1, T2 e T3, foram definidos parâmetros para as chapas dos tratamentos T4 e T5 e para estas chapas foram realizados ensaios para avaliação da resistência ao arrancamento de parafuso de face (AP-Face) e de topo (AP-Topo), resistência à tração perpendicular (RTP), módulo de resistência à flexão (MOR) e módulo de elasticidade na flexão (MOE).

A Tabela 10 apresenta as médias dos resultados das propriedades mecânicas dos tratamentos T4 e T5.

Tabela 10 – Resultados das médias das propriedades mecânicas

Tratamento	MOR (MPa)	MOE (MPa)	RTP (MPa)	AP-Face (N)	AP-Topo (N)
T4	8,2	1611	0,62	655,1	681,5
T5	7,4	1108	1,47	663,6	618,5

Fonte: Próprio autor

5.7.1 Avaliação dos resultados obtidos: MOR, MOE, TPS, AP-T e AP-F

Conforme ABNT NBR 14810-3:2006, o módulo de ruptura (MOR) mínimo para chapas entre 8 a 13mm de espessura deve ser de 18 MPa, estando os tratamentos T4 e T5 (Tabela 10) não conformes à referida norma e o módulo de elasticidade (MOE) não preconizado pela referida norma e com relação ao MOE a norma brasileira não faz referência. De forma geral, como as propriedades físicas das chapas estão interligadas às mecânicas, tendo a densidade (que depende da granulometria da serragem, umidade, tipo de resina, temperatura, entre outros)

como uma das propriedades essenciais para a análise dos resultados obtidos, serão feitas algumas considerações abordando também os valores normatizados pela Euro Norma: EN 310, EN 312, EN 319 e literaturas técnicas.

Weber (2011) em estudos com chapas confeccionadas com partículas de *Pinus sp* empregando 8% de resina UF, determinou valores de 0,69 MPa e 267,09 MPa para MOR e MOE, respectivamente. Portanto, para as chapas confeccionadas com o tratamento T4 e T5 apresentaram melhores desempenho.

Considerando-se a análise granulométrica realizada e de acordo com os estudos desenvolvidos por Albuquerque (2002), descrevem que o aumento do MOE pode ser obtido pelo aumento no teor de resina em até 4 ou 10%, dependendo do tipo de partícula e da resina empregada.

Para a resistência à tração perpendicular (RTP), os valores obtidos para as chapas dos tratamentos T4 (UF) e T5(PU-Mamona) foram de 0,62 e 1,47MPa, respectivamente, estes valores são superiores aos preconizados pela ABNT NBR14810-3:2006, EN 312 e CS 236-66.

Como para espessuras inferiores a 14 mm a NBR 14810-3:2006 não se aplica para arranque de parafuso, utilizou-se as referências para chapas com espessura entre 14 a 20mm equivalentes a 800 e 1020N, respectivamente, consequentemente, os valores para as chapas confeccionadas com os tratamentos T4 foram de 681,5 e 655,1N e, para as chapas do T5 foram de 618,5 e 663,6, respectivamente, considerando-se que a faixa de espessura referenciada é 50% mais que as espessuras das chapas deste estudo, os valores determinados são proporcionais para arranque de parafuso de face e topo de acordo com a NBR.

Com relação a EN311 e CS 236-66 os valores obtidos para arranque de parafuso de face e de topo não estão de acordo com as exigências dos documentos normativos.

5.7.2 Comparação dos resultados das propriedades mecânicas das chapas confeccionadas com o tratamento T4 e T5 por meio de análises estatísticas.

Para melhor compreensão dos estudos desenvolvidos neste item, a resistência à tração perpendicular (RTP) foi definida como tração perpendicular (TP), para facilitar as atividades com relação ao *software* empregado para a análise estatística.

A Tabela 11 apresenta as médias dos valores das propriedades mecânicas e física das chapas fabricadas com resina UF e resina PU-Mamona, sendo $\bar{x}$ a média amostral, C_v o coeficiente de variação e $Mín$ e $Máx$ os menores e os maiores valores, respectivamente. Os resultados das propriedades por amostra podem ser observado nas Tabelas A1 e A2 do Apêndice.

Tabela 11 – Análise comparativa dos valores das propriedades mecânicas e física (densidade aparente ρ) das chapas, com as resinas empregadas (UF e PU-Mamona, referente aos tratamentos T4 e T5, respectivamente.

Propriedades	μ^1	C_v (%)	<i>Mín</i>	<i>Max</i>
MOR (MPa)	8,2-7,4	34,8-17,5	5,34-5,13	11,68-9,41
MOE (MPa)	1611-1.108	24,2-14,4	1.222,9-638,2	2.071,5-1.470,1
RTP (MPa)	0,62-1,47	40,5-22,9	0,28-0,97	1,01-2,10
AP-Face (N)	655,1-663,6	32,1-26,0	176,7-460,3	969,6-918,3
AP-Topo (N)	681,5-618,5	33,0-26,0	328,2-346,7	982,1-858,3
ρ (g/cm ³)	0,71-0,73	8,93-8,00	0,61-0,61	0,82-0,90

¹Média amostral.

Fonte: Próprio autor

Observa-se que os resultados dos ensaios tiveram coeficientes de variação aparentemente bastante elevados conforme a literatura corrente e, segundo Pimentel Gomes (2000), citado por Rocha (2010) nos experimentos de campo, se o coeficiente de variação for menor a 10%, diz-se que o coeficiente é baixo (alta precisão); entre 10 – 20% (boa precisão); entre 20 – 30% (baixa precisão) e acima de 30%, muito baixa precisão. Portanto, é necessário avaliar as variáveis que participam do ensaio conforme descrito no capítulo materiais e métodos.

A Tabela 12 apresenta os resultados do teste de normalidade e de homogeneidade entre variâncias por variável-resposta para validação da ANOVA (paramétrica). Da Tabela 13, AD, Le e F denotam os testes de normalidade de Anderson-Darling e de homogeneidade entre variância Levene e teste F, respectivamente. Os resultados dos referidos testes podem ser visualizados nas Figuras A1 e A2 do Apêndice.

Tabela 12 - Resultados dos testes de normalidade e homogeneidade entre variâncias.

Respostas	Normalidade	Homogeneidade entre variâncias	
	AD	F	Le
MOR	0,040	0,000	0,012
MOE	0,016	0,032	0,032
TPS	0,488	0,404	0,532
APF	0,220	0,525	0,799
APT	0,768	0,284	0,106
ρ	0,230	0,613	0,648

Fonte: Próprio autor

Na Tabela 12, observa-se o não atendimento da normalidade e homogeneidade entre variâncias para o MOR e MOE dos compostos ($P\text{-valor} < 0,05$), realizou-se a transformada de *Johnson* dos dados, cujas transformações são apresentadas nas equações 6 e 7, respectivamente. Os resultados das transformadas podem ser vistos nas figuras A3 e A4 do apêndice.

$$Y(X) = -0,105017 + 0,981072 \cdot \operatorname{Asinh}\left(\frac{X - 8,13894}{1,29945}\right) \quad (6)$$

$$Y(X) = -1,48303 + 1,32457 \cdot \operatorname{Asinh}\left(\frac{X - 1110,15}{210,995}\right) \quad (7)$$

Os resultados dos testes de normalidade e de homogeneidade entre variâncias dos dados transformados para o MOE e MOR são apresentados na tabela 13, podendo ser visualizados nas figuras A5 e A6 do apêndice.

Tabela 13 - Resultados dos testes de normalidade e homogeneidade entre variâncias dos dados transformados sobre o MOR e MOE dos compostos.

Respostas	Normalidade	Homogeneidade entre variâncias	
	AD	F	Le
MOR	0,774	0,002	0,010
MOE	0,410	0,943	0,974

Fonte: Próprio autor

Conforme os valores apresentados na Tabela 13, para o MOR e MOE das chapas observa-se distribuição normal após a transformada. Entretanto, não houve homogeneidade entre variância para o MOR ($P\text{-valor} < 0,05$), fazendo-se necessário neste caso o uso da ANOVA de *Kruskal-Wallis* (não paramétrica).

A Tabela 14 apresenta os resultados da ANOVA estando sublinhado os P-valores considerados significativos ($P\text{-valor} < 0,05$). Os resultados do quadro de ANOVA podem ser vistos nas tabelas A3 a A7 do apêndice.

Tabela 14 - Resultados da ANOVA das propriedades mecânicas e física.

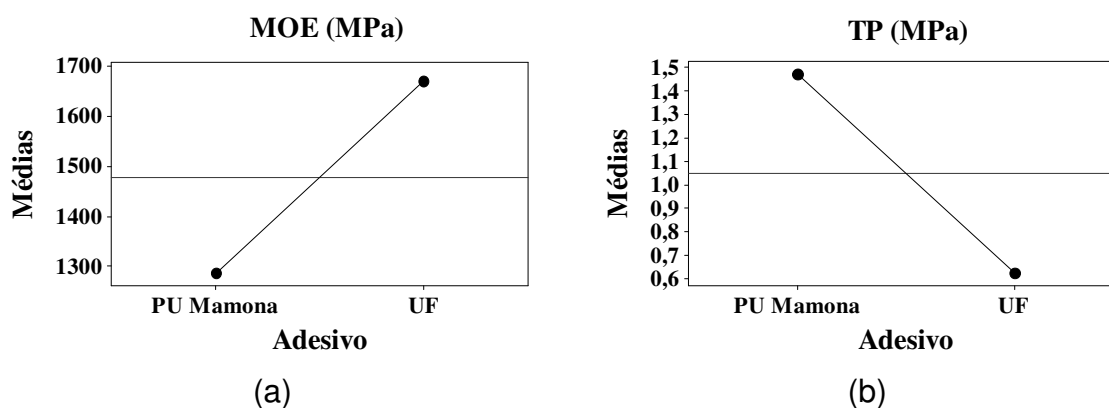
Respostas	P-valor
MOR	0,297
MOE	<u>0,001</u>
TPS	<u>0,000</u>
APF	0,914
APT	0,438
ρ	0,224

Fonte: Próprio autor

Na tabela 14, verifica-se que os adesivos foram significativos apenas no módulo de elasticidade na flexão (MOE) e na tração perpendicular (RTP), fornecendo resultados equivalentes para as demais variáveis-resposta.

A Figura 9 apresenta os gráficos de efeitos principais da ANOVA para o MOE e TP.

Figura 9: Gráficos de efeitos principais da ANOVA para o MOE (a) e TP (b).



Fonte: Próprio autor

Na Figura 9a fica evidente que os painéis fabricados com resina UF apresentaram os melhores resultados para o MOE, sendo 30% acima com relação ao MOE das chapas confeccionadas com resina PU-Mamona.

Com relação à RTP (Figura 9b), os melhores resultados foram provenientes do uso da resina PU-Mamona, que apresentou valor médio 136% superior aos materiais feitos com resina UF.

6 CONCLUSÕES

Com base nas análises efetuadas e nos resultados obtidos, pode-se concluir:

- Apesar de não haver diferença significativa nos tratamentos quanto ao teor de umidade, os valores encontrados em T1 e T2 ficaram dentro da faixa aceitável da ABNT NBR 14810:2006, enquanto que T3 (4,09%) ficou abaixo do limite mínimo (5%).
- Como a análise não deve ser realizada de forma independente dos demais parâmetros, a baixa umidade da massa da chapa propicia condições maiores para valores tanto de absorção, como de inchamento. Assim, o ajuste no teor de umidade do substrato poderá ser realizado com a adição de umidade às partículas.
- Se compararmos o T1 e T2 com o tratamento T3, observa-se que as chapas confeccionadas com o T3 obtiveram valores médios de inchamento e absorção após 2 e 24 horas, bem próximos dos valores exigidos por norma, este fato indica a necessidade de ajustes nos parâmetros de confecção das chapas, posto que, no T3 empregou-se resina UF e, esta resina é comumente utilizada para confecção de chapas aglomeradas, portanto mais indicada para os parâmetros de confecção utilizados.
- Quanto à utilização de limitadores de espessura, se os parâmetros para confecção das chapas estiverem adequados, não há necessidade de usá-los, entretanto, propõe-se realizar uma investigação quanto sua influência na compactação das chapas.
- A propriedade mecânica (MOR) avaliada nos tratamentos T4 e T5, apesar dos tratamentos diferirem em relação a ABNT NBR 14810-3:2006 e se relacionarem às referências da EN 312:2003 e aos valores médios observados na literatura sobre confecção de aglomerados, indica que possíveis ajustes nos parâmetros de confecção das chapas, como a massa

específica do painel, proporção de resina, entre outros, venham possibilitar valores mais relacionados à ABNT NBR 14810:2006.

- Ainda com relação aos valores de MOR determinados para as chapas confeccionadas com os tratamentos T4 e T5, verificou-se que as partículas apresentaram baixo índice de esbeltez (relação entre comprimento e espessura), consequentemente, influenciando na adesão entre as partículas e no MOR.
- Das análises estatísticas sobre o fator tipo de adesivo nas propriedades mecânicas e física investigadas, apenas o módulo de elasticidade na flexão e a tração perpendicular superficial mostraram ser significativos, implicando na equivalência de resultados entre as demais propriedades, ou seja, independente do tipo e adesivo utilizados, o módulo de resistência, o arrancamento de parafuso de topo e de face e a densidade apresentaram resultados equivalentes.
- O MOE das chapas confeccionadas com UF foram 30% superiores ao MOE das chapas confeccionadas com PU-Mamona, entretanto, a RTP das chapas confeccionadas com PU-Mamona foi 136% superior a RTP das chapas confeccionadas com UF.

7 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Com base nas conclusões obtidas, as seguintes recomendações podem ser apresentadas:

- Quantificar e caracterizar os tipos e o volume de resíduos de serragem gerados pelos meios empresariais.
- Ajustar e alterar os parâmetros relacionados à confecção das chapas, ao substrato, resinas, catalisadores, emulsão de parafina, pré-prensagem, entre outros, para confecção de novas chapas.
- Considerando-se as características das partículas, principalmente com relação a sua origem, faz-se necessário conhecer pelo menos o PH da mistura e os extrativos existentes.
- Outro aspecto importante é avaliar a confecção das chapas sem o uso de limitadores de espessura.
- Caracterizar as chapas quanto às propriedades mecânicas mais significativas.
- De forma geral, analisando as propriedades mecânicas, o MOR não teve resultado satisfatório (como evidenciado na análise estatística). Como as variáveis envolvidas no resultado são componentes previamente definidos ou normalizados, como espessura e largura dos corpos-de-prova (CP), bem como a distância entre apoios das extremidades do CP, resta somente a componente carga de ruptura “P” para ser analisada. Em tempo,

$$\text{MOR} = \frac{1,5 \times P \times D}{B \times E^2}$$

onde:

P= carga de ruptura (N);

D= distância entre apoios (mm);

B= largura do CP (mm);

E= espessura do CP (mm).

Para que a carga de ruptura (P) seja maior, isto implica em maior resistência do CP, que sugere algumas alternativas:

- ✓ Aumentar a densidade da chapa, podendo ser:

- Aumentar a massa de serragem + resina (ou não), implica no aumento da prensagem, que implica no aumento da taxa de compactação, que foi baixa. O aumento da pressão juntamente com a temperatura poderá reduzir o tempo de prensagem, que deverá ser reavaliado na relação custo-benefício.
- ✓ Aumentar a resistência proporcionada pela resina, podendo ser:
 - Reavaliar adesivos alternativos.
 - Reavaliar o tempo de cura da resina e concomitantemente a acidez do substrato.
 - Reavaliar a proporção da mistura de poliol+pré-polímero (para as poliuretanas)
- Considerando as análises estatísticas realizadas nos tratamentos T4 e T5 e com a não significância do tipo de adesivo aplicado nos resultados de MOR, AP-T/F e densidade, justificam-se novos estudos intensificando as análises na propriedade densidade, reavaliando a distribuição granulométrica, teor de umidade do substrato, buscando-se uma análise comparativa com e sem o emprego de parafina, temperatura e tempo de prensagem.
- Assim existem variáveis que podem ser trabalhadas, objetivando a adequação necessária à melhoria das propriedades físicas e mecânicas.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14810 – 2:** chapas de madeira aglomerada – Parte 2 – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 14810 – 3:** chapas de madeira aglomerada – Parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2006.
- ALBUQUERQUE, C. E. C. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados.** 175 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais – Setor de Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002
- ALVES, L. S. **Aproveitamento de resíduos de empresas moveleiras da região de São José do Rio Preto para confecção e avaliação de painéis aglomerados.** 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA – ABIPA. **Nossos produtos.** 2010. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosMDP.php>>. Acesso em: 17 nov. 2010.
- BELINI U. L. **Caracterização e alterações na estrutura anatômica da madeira do *Eucalyptus grandis* em três condições de desfibramento e efeito nas propriedades tecnológicas de painéis MDF.** 2007. 89 f. Dissertação (Mestre em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.
- CAMPOS, R. A.et. al. Análise da qualidade de chapas de madeira aglomerada com casca de pinhão manso. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 13., 2012, Vitória. **Anais...** Vitória: UFES, 2012 CD-ROM.
- COMMERCIAL STANDARD. **CS236-66 (1968):** mat formed wood particleboard. Honolulu: Comercial Standard, 1968.
- EUROPEAN STANDARD. **EN 310:** determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Czech Republic: European Standard, 2002. (Versão portuguesa, 2002).
- EUROPEAN STANDARD. **EN 312:** particleboards: specifications. Czech Republic: European Standard, 2003. Czech Republic: European Standard, 2003. (English version. 2003).
- EUROPEAN STANDARD. **EN 317:** determination of swelling in thickness after immersion in water. Czech Republic: European Standard, 2002. (English version. 2002).

EUROPEAN STANDARD. **EN 319**: determinação da resistência à tração perpendicular às faces da placa . Czech Republic: European Standard, 2002. (Versão Portuguesa).

EUROPEAN STANDARD. **EN 323** – painéis derivados de madeira – Determinação da massa específica. Czech Republic: European Standard, 2000. (Versão portuguesa).

FERRO, F. S. **Painéis OSB com madeira *Shizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona**: viabilidade técnica de produção. 2013. 395 f. Dissertação (Mestrado) - Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

FONTES, P. J. P. **Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento de resíduos**. 1994. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1994. Disponível em: < <http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/28882/D%20-%20PAULO%20JOSE%20PRUDENTE%20DE%20FONTES.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 12 jan. 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Anuário estatístico do Brasil**. Disponível em: http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/20/aeb_2012.pdf. Acesso em: 07 jan. 2014.

IWAKIRI, S. et al. Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 1, p. 251 - 256, 2000a. Disponível em: < <http://www.floram.org/files/v7n%C3%BAnico/v7nunicoa26.pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2013.

IWAKIRI, S. et al. Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 11, n. 2, p. 71 - 77, 2001b. Disponível em: <<http://coral.ufsm.br/cienciaflorestal/artigos/v11n2/art6v11n2.pdf>>. Acesso em: 12 jan. 2013.

IWAKIRI, S. et. al. Utilização da madeira de eucalipto na produção de chapas de partículas orientadas – OSB. **Cerne**, Lavras, v. 10, n.1, p. 46-52, jan./jun. 2004c.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 2. ed. San Francisco: Miller Freeman, 1993. 684 p.

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

MELO, R. R. **Avaliação de variáveis tecnológicas na produção de painéis LVL confeccionados com paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke)**. 2012.

164 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, DF, 2012.

MELO, R. R. et. al. Avaliação das propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de *Eucalyptus grandis* colados com uréia-formaldeído e tanino-formaldeído. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 40, n. 3, p. 497-506, 2010.

MENDES, R. F. et. al. Avaliação de espécies de rápido crescimento para a produção de painéis aglomerados. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 13., 2012, Vitória. **Anais...** Vitória: UFES, 2012. CD-ROM.

MORAIS, W. W. C. **Propriedades físico-mecânicas de chapas aglomeradas produzidas com bambu, pinus e eucalipto**. 132 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2011.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. London: Southern Illinois University Press, 1974. 245 p.

NASCIMENTO, M. F. *et al.* Aplicação de CPH (Chapas de Partículas Homogêneas) fabricadas com madeiras do Nordeste do Brasil e com resíduos de marcenaria. **Revista Madeira: Arquitetura e Engenharia**. v. 16, n 16, 13 p., 2005. Disponível em : <http://madeira.set.eesc.usp.br/article/view/243/pdf>. Acesso em: 08 jan.2013.

PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnológica do uso de espécies de pinus tropicais para produção de painéis colados lateralmente (Edge Glued Panels – EGP)**. 2010. 114 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

REMADE. **Propriedades físicas e mecânicas**. 2011. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/madeira_serrada.php?num=4&title=Propriedades%20F%C3%ADsicas%20e%20Mec%C3%A2nicas. Acesso em: 08 jan. 2013.

ROCHA, J. **Avaliação do coeficiente de variação e Relações entre caracteres de rendimento e desenvolvimento na cultura da bananeira**. 2010. 46 f. (Mestrado Ciências Agrárias) - Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, Cruz das Almas, 2010.

SEKINO, N., IRLE, M. A. Particleboard hygroscopicity: its prediction and the influence of hot-pressing. **Journal of the Japan Wood Research Society**, Tokyo, v.42, n . 1 , p.43-50, 1996.

Silva, S. A. M. **Chapas confeccionadas com resíduos de madeiras tropicais de baixa e média densidade**. 2008. Doutorado (Pós-Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SILVA, S. A. M. **Aproveitamento de resíduos de madeiras tropicais de baixa e média densidade para a produção de chapas de partículas homogêneas, empregando-se resina poliuretana derivada de óleo de mamona**. 2008.

Doutorado (Pós-Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

SILVA, S. A. M.; LAHR, F. A. R. Painéis de partículas confeccionadas com resíduos de madeiras tropicais de baixa densidade. In: CHAHUD, E. (Org.). **Reciclagem de resíduos para a construção civil**. Belo Horizonte: Ed. da Universidade FUMEC – FEA, 2007b. Cap. 14, p. 343 - 365.

SILVA, S. A. M. et al. Painéis de partículas de madeira leucina e resina poliuretana derivada de óleo de mamona. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43,n. 8, p.1399-1404, 2013c.

TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira Aglomerada**. 2010. 260 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

TRIANOSKI, R. **Avaliação da qualidade da madeira de espécies de Pinus tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos**. 2012. 553 f. Tese (Doutorado Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2012.

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados**. 2011. 87 f. Dissertação (Mestre em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

APÊNDICES

Tabela A1 - Resultados das propriedades mecânicas e física das chapas fabricadas com resina a base de uréia-formaldeído.

MOR (MPa)	MOE (MPa)	TP (MPa)	APF (N)	ρ (g/cm³)
6,81	1280	1,00	812	0,79
6,81	1280	0,73	717	0,80
6,06	1433	0,47	792	0,63
7,69	1584	0,66	782	0,71
10,46	1939	0,60	554	0,73
10,46	1939	0,62	570	0,73
6,71	1335	0,38	177	0,81
7,90	1585	0,42	970	0,72
7,90	1585	0,38	467	0,75
1,44	1931	0,28	558	0,71
11,68	2072	1,01	632	0,82
11,68	2072	0,93	831	0,61

Fonte: Próprio autor

Tabela A2 - Resultados das propriedades mecânicas e física das chapas fabricadas com resina a base de mamona.

MOR (MPa)	MOE (MPa)	TP (MPa)	APF (N)	ρ (g/cm³)
9,04	1444	1,66	887	0,78
9,04	1444	2,10	683	0,90
8,36	1470	1,43	808	0,79
8,36	1470	1,89	885	0,81
7,31	1048	1,54	918	0,80
7,31	1048	1,37	520	0,74
8,43	1167	1,27	460	0,71
8,43	1167	0,97	532	0,70
9,41	1313	1,03	514	0,72
9,41	1313	1,48	508	0,74
8,29	1270	1,65	704	0,76
8,29	1270	1,29	543	0,72

Fonte: Próprio autor

As Tabelas A3 a A7 apresentam os resultados da ANOVA sobre as cinco variáveis-resposta investigadas, sendo GL, SQ e MQ os graus de liberdade, a soma dos quadrados e a média dos quadrados.

Tabela A3 - Resultados da ANOVA para o MOR das chapas.

	Resultados
H	1,0847
GL	1
P- valor de Kruskal-Wallis	0,297

Fonte: Próprio autor

Tabela A4 - Resultados da ANOVA para o MOE (Transf.) das chapas.

Fonte	GL	SQ	MQ	F	P
Adesivo	1	8,500	8,500	14,72	0,001
Erro	22	12,702	0,577		
Total	23	21,203			

Fonte: Próprio autor

Tabela A5 - Resultados da ANOVA para a TP das chapas.

Fonte	GL	SQ	MQ	F	P
Adesivo	1	4,3350	4,3350	50,89	0,000
Erro	22	1,8741	0,0852		
Total	23	6,2091			

Fonte: Próprio autor**Tabela A6** - Resultados da ANOVA para a APF das chapas.

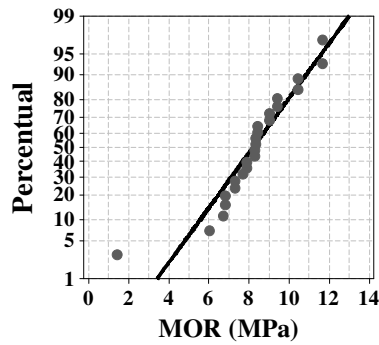
Fonte	GL	SQ	MQ	F	P
Adesivo	1	438	438	0,01	0,914
Erro	22	812228	36919		
Total	223	812666			

Fonte: Próprio autor**Tabela A7** - Resultados da ANOVA para a ρ das chapas.

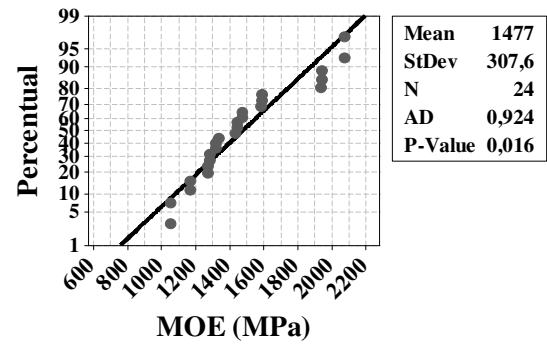
Fonte	GL	SQ	MQ	F	P
Adesivo	1	0,00583	0,00583	1,57	0,224
Erro	22	0,08187	0,00372		
Total	23	0,08770			

Fonte: Próprio autor

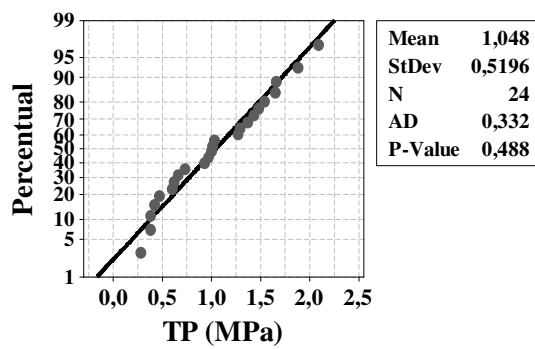
Figura A1 - Resultados do teste de normalidade de Anderson-Darling para cada propriedade física e mecânica investigada.



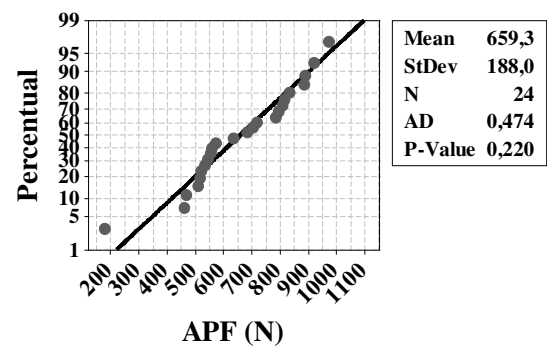
(a)



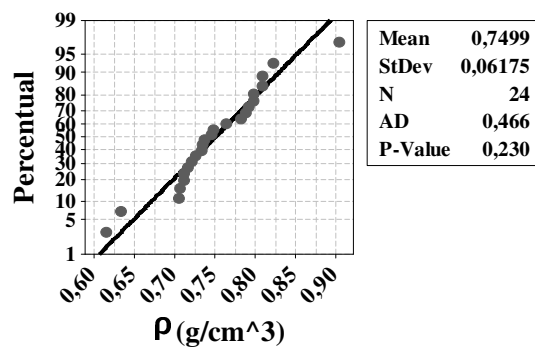
(b)



(c)



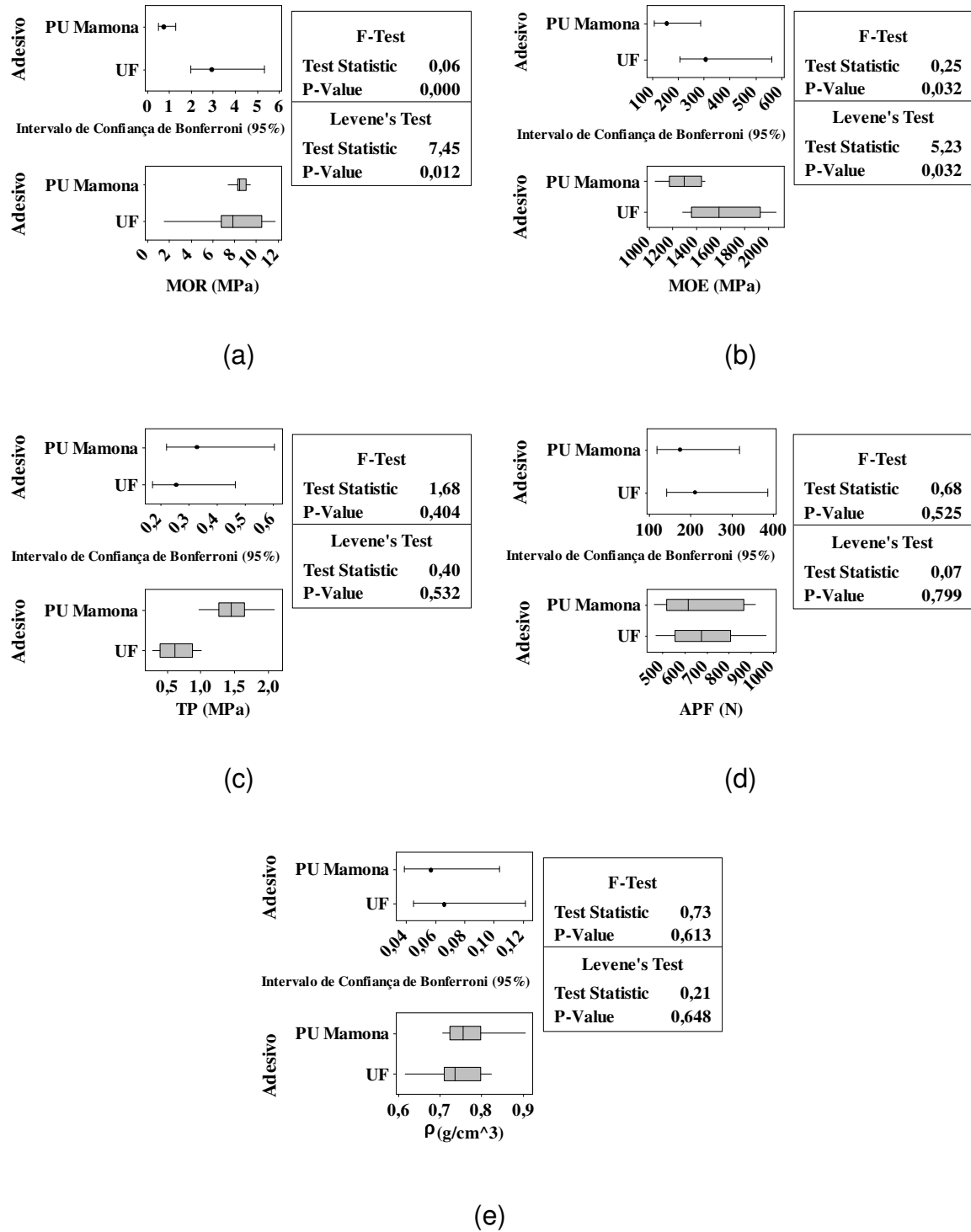
(d)



(e)

A Figura A2 apresenta os resultados dos testes de homogeneidade entre variâncias.

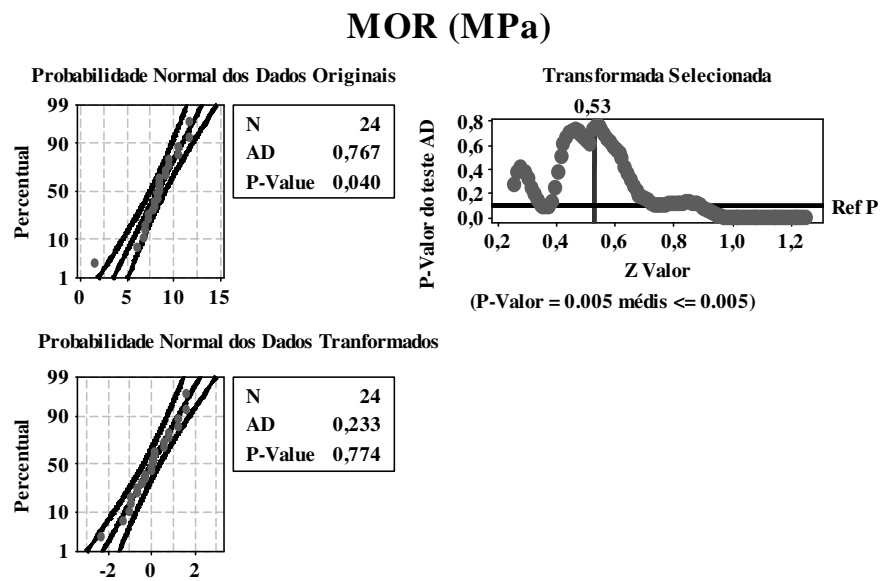
Figura A2 – Homogeneidade entre variâncias: MOR (a), MOE (b), TP (c), APF (d) e ρ (e).



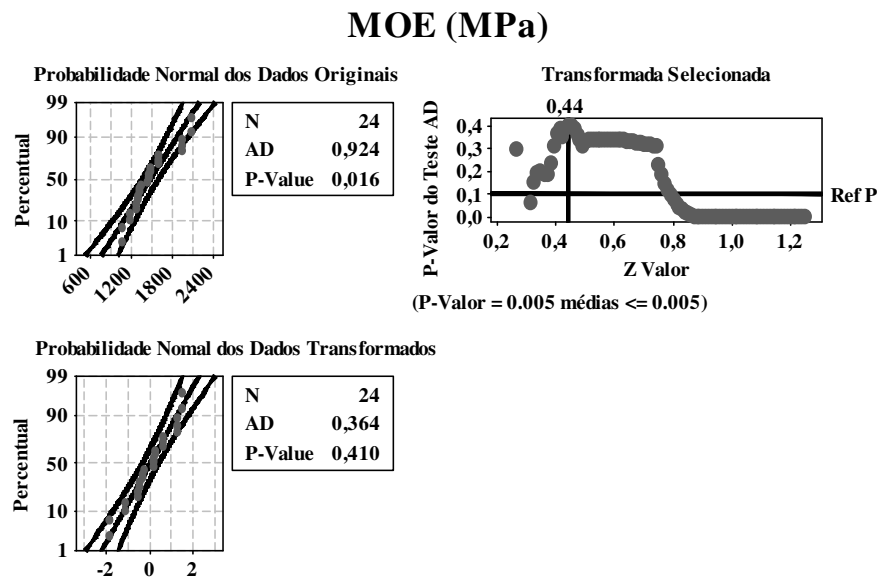
Fonte: Próprio autor

As Figuras A3 e A4 apresentam os resultados da transformada de Johnson para o MOR e MOE dos compostos, respectivamente.

Figura A3 - Transformada de Johnson (MOR)

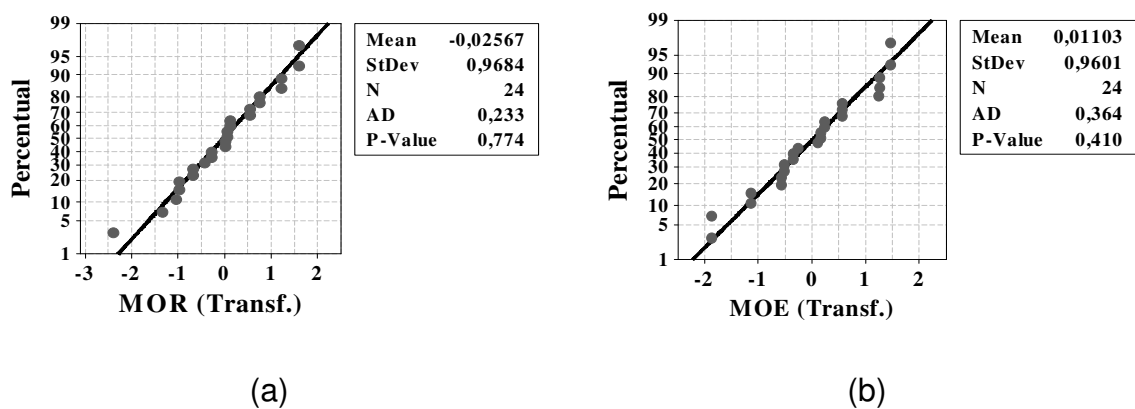


Fonte: Próprio autor

Figura A4 - Transformada de Johnson (MOE)

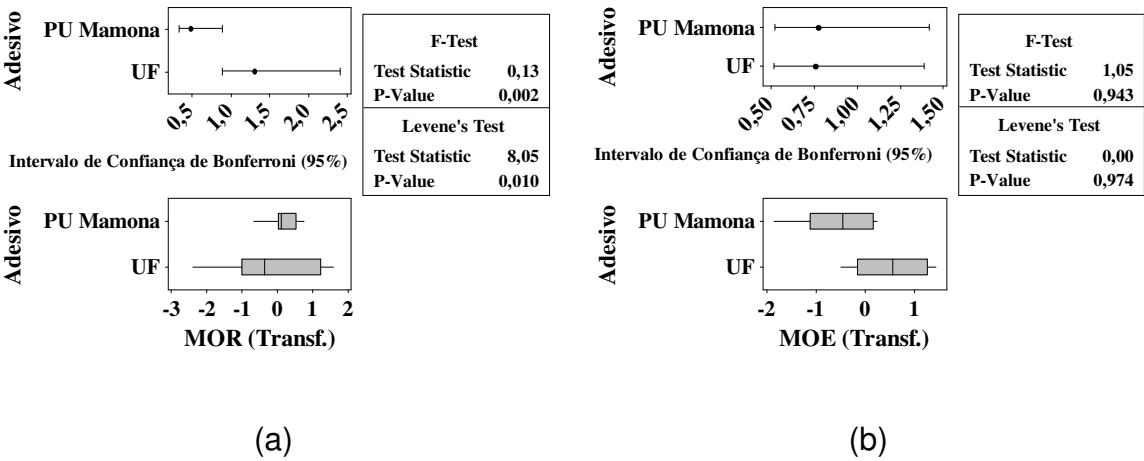
Fonte: Próprio autor.

As Figuras A5 e A6 apresentam os resultados do teste de normalidade e de homogeneidade entre variâncias dos resultados de MOR e MOE dos dados transformados, respectivamente.

Figura A5 - Resultados do teste de normalidade para o MOR (a) e MOE (b) dos dados transformados.

Fonte: Próprio autor

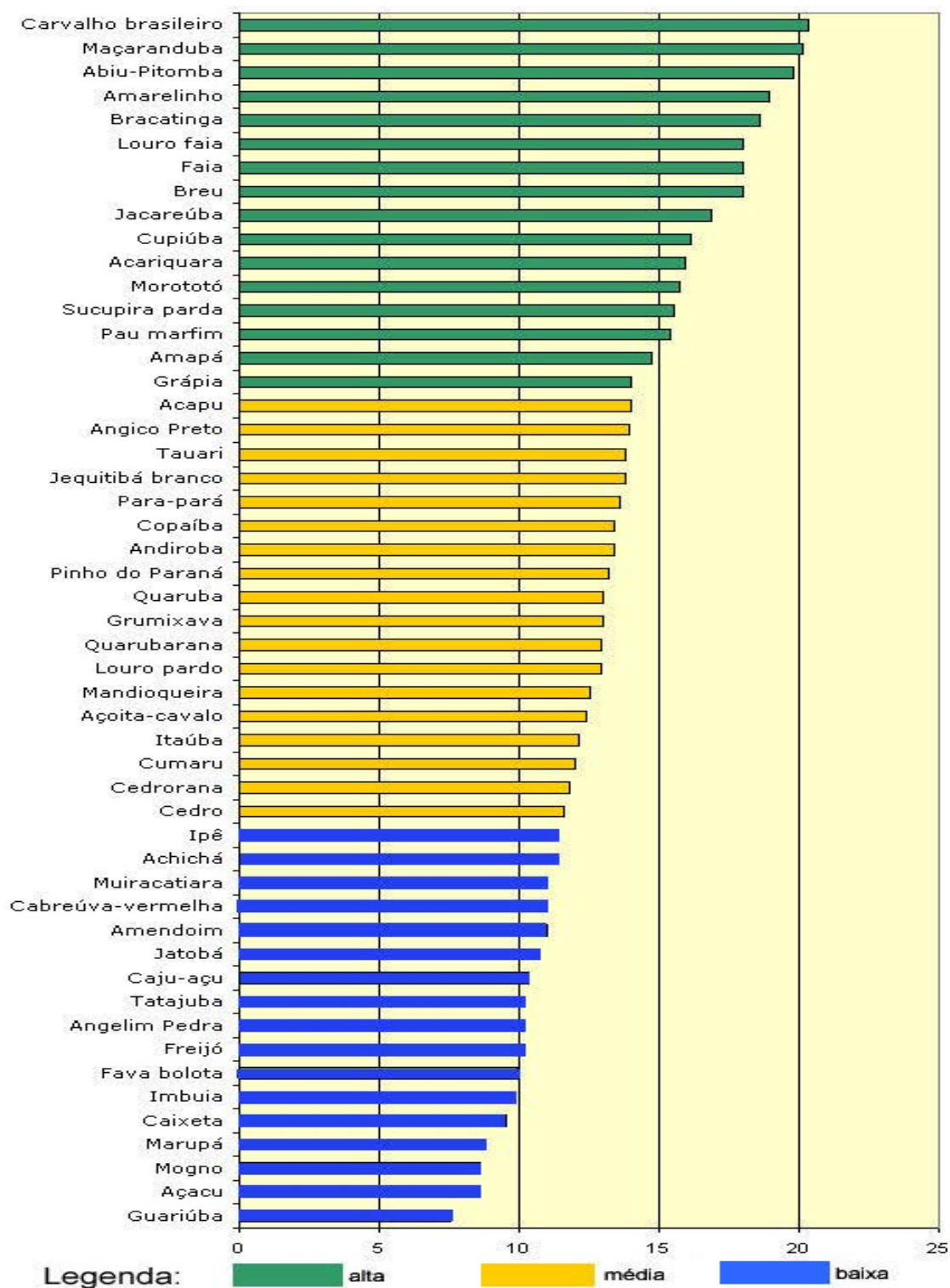
Figura A6 - Resultados do teste de equivalência entre variâncias para o MOR (a) e MOE (b) dos dados transformados.



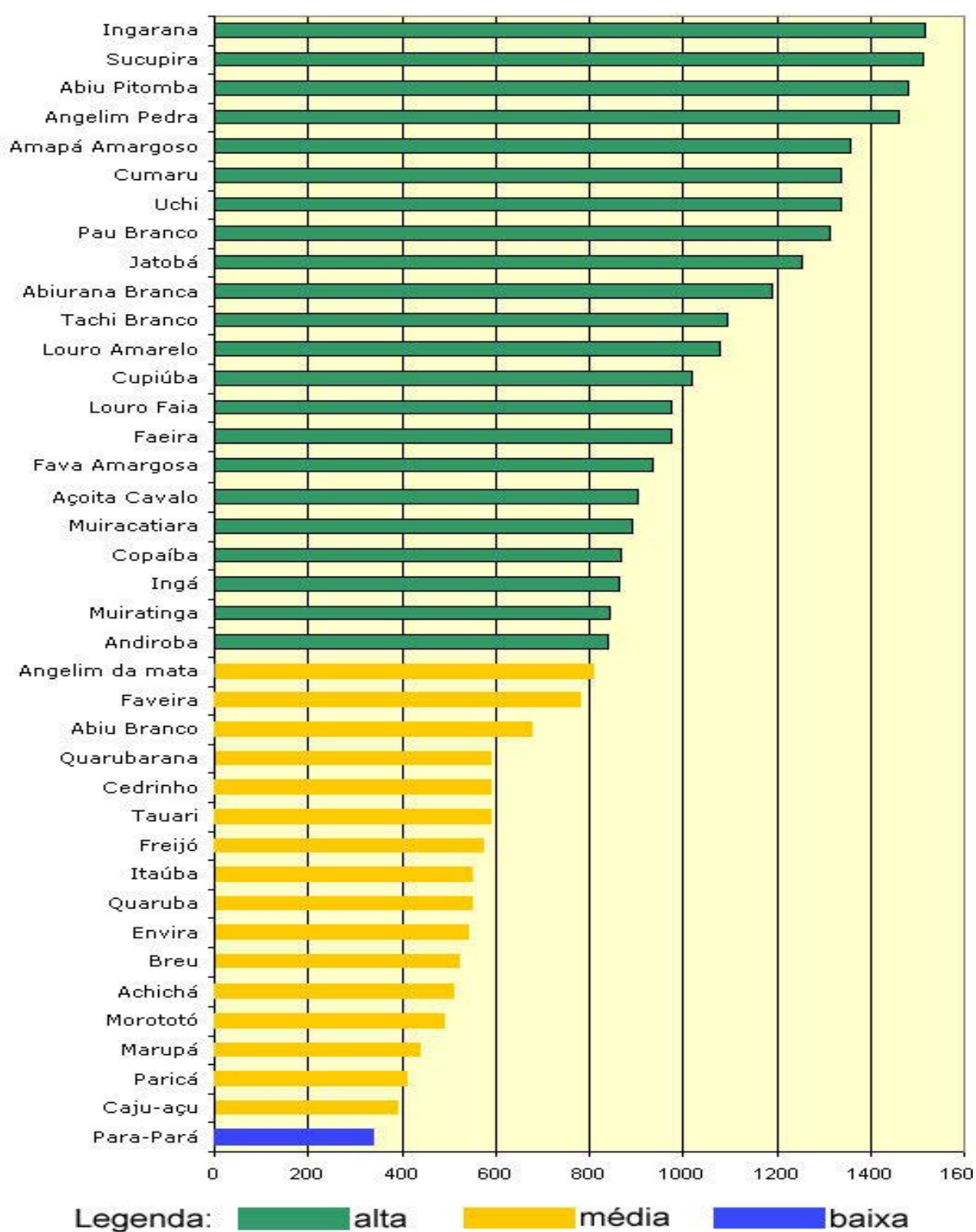
Fonte: Próprio autor

ANEXOS

Figura 2 - Relação entre a contração volumétrica e o teor de umidade da madeira, em função da sua massa específica (ME).



Fonte: REMADE (2013)

Figura 3 - Dureza Janka.

FONTE: REMADE (2013)