



UFSM

Dissertação de Mestrado

**QUALIDADE DE CHAPAS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA
AGLOMERADA FABRICADAS COM RESÍDUOS DE UMA
INDÚSTRIA DE CELULOSE**

CRISTIANE PEDRAZZI

PPGEF

Santa Maria, RS, Brasil

2005

QUALIDADE DE CHAPAS DE PARTÍCULAS DE
MADEIRA AGLOMERADA FABRICADAS COM
RESÍDUOS DE UMA INDÚSTRIA DE CELULOSE

por

Cristiane Pedrazzi

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Engenharia Florestal, área de concentração em Tecnologia de
Produtos Florestais, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM –
RS), como requisito parcial para a obtenção do grau de **Mestre em
Engenharia Florestal.**

PPGEF

Santa Maria, RS – Brasil

2005

**Universidade Federal de Santa Maria
Centro de Ciências Rurais
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal**

A comissão examinadora, abaixo assinada,
aprova a Dissertação de Mestrado

**QUALIDADE DE CHAPAS DE PARTÍCULAS DE
MADEIRA AGLOMERADA FABRICADAS COM
RESÍDUOS DE UMA INDÚSTRIA DE CELULOSE**

elaborada por
Cristiane Pedrazzi

Como requisito parcial para obtenção do grau de
Mestre em Engenharia Florestal

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. Dr. Clovis Roberto Haselein
(Presidente/Orientador)

Prof. Dr. Elio José Santini

Prof. Dr. Renato Zanella

*Esta obra eu dedico ao
homem que é, e sempre
será em minhas
lembranças, sinônimo de
integridade, bondade e
inteligência, que levarei
como exemplo de ser
humano para o resto de
minha vida.*

Ao meu amado avô,

José Luiz Pedrazzi

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não teria sido possível sem a contribuição generosa de diversas pessoas.

Em primeiro lugar, agradeço ao professor Clovis Roberto Haselein, meu orientador, pelo incentivo, disponibilidade e orientações a este trabalho.

A todos os professores da Pós-Graduação em Engenharia Florestal pelos conhecimentos transferidos e apoio no decorrer do curso e na realização deste trabalho, em especial ao professor Elio Santini.

A todos os colegas e amigos do laboratório: Dalva, Silviana, Leandro, Darci, Rômulo, Ediane, Karine, Cristiano, Fabiana e Tobias pela paciência e incentivo durante o decorrer deste trabalho, em especial a Patrícia pelo auxílio e amizade durante todo o curso de mestrado.

A indústria Klabin Riocell pelo fornecimento do material, sem o qual, a execução deste trabalho não teria sido possível e a Universidade Federal de Santa Maria por propiciar a oportunidade de estudo.

Aos meus pais, Marco Antonio e Norma, e minhas irmãs Viviane e Katiane, pela ajuda, apoio, e incentivo.

Ao Carlos Ricardo pelos conhecimentos transmitidos e dedicação nas análises estatísticas e, principalmente, pelo carinho e paciência o qual necessitei.

Em fim, a todos que de uma maneira ou de outra auxiliaram na realização deste trabalho.

RESUMO

Dissertação de Mestrado
Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal
Universidade Federal de Santa Maria

QUALIDADE DE CHAPAS DE PARTÍCULAS DE MADEIRA AGLOMERADA FABRICADAS COM RESÍDUOS DE UMA INDÚSTRIA DE CELULOSE

Autora: Cristiane Pedrazzi

Orientador: Prof Dr. Clóvis Roberto Haselein

Local e data da defesa: Santa Maria, 19 de janeiro de 2005

Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade de chapas aglomeradas fabricadas com resíduos da madeira de *Eucalyptus saligna*, resultantes da picagem das toras para a confecção de cavacos utilizados na produção de celulose. As chapas foram produzidas com dois tipos de resíduos, palitos e serragem, sendo utilizados puros. O adesivo usado foi à base de uréia-formaldeído em proporções de 4, 8 e 12%, com base no peso seco das partículas de madeira, e as densidades nominais das chapas foram de 0,55, 0,65 e 0,75 g/cm³. Foram avaliadas propriedades de flexão estática, ligação interna, arrancamento de parafusos, absorção d'água e inchamento em espessura. Os valores obtidos das propriedades de flexão estática aumentaram com a densidade da chapa, assim como com o teor de adesivo, e as chapas produzidas com partículas tipo serragem apresentaram valores um pouco maiores que chapas produzidas com partículas tipo palitos. Para a ligação interna e o arrancamento de parafusos, os valores foram maiores para as chapas com maior densidade e maior teor de adesivo, independentemente do tipo de resíduo. No caso da absorção d'água, os valores aumentaram com a redução da densidade, tanto para chapas produzidas com partículas tipo palitos como para serragem. Para inchamento em espessura, os valores aumentaram com a diminuição do teor de adesivo, sem considerar o do tipo de resíduo utilizado. Os resultados, permitem concluir que, usando-se tanto partículas tipo palitos quanto serragem com maiores percentagens de adesivo e maiores densidades, podem ser produzidas chapas com qualidade satisfatória.

ABSTRACT

Master Thesis
Graduate Program in Forest Engineering
Santa Maria Federal University, RS, Brazil

QUALITY OF WOOD PARTICLEBOARD MANUFACTURED WITH RESIDUE OF A PULP INDUSTRY

Author: Cristiane Pedrazzi

Adviser: Prof. Dr. Clovis Roberto Haselein

Place and date of defense: Santa Maria, 19 of January of 2005

The objective of this work was to investigate the quality of particleboards made with *Eucalyptus saligna* wood residues, resulting from chipping of the logs for pulp production. The boards were produced with two types of residues, sticks and sawdust, used pure. The adhesive used was urea-formaldehyde resin in proportions of 4, 8 and 12% (based on oven-dry weight of wood particles) and nominal densities were 0,55, 0,65 and 0,75 g/cm³. There were evaluated the bending properties, internal bond, screw withdrawal, water absorption and thickness swelling. The results indicated that the bending properties were slightly higher with the sawdust type residue than boards made with stick type residue. For internal bond and screw withdrawal values were larger for boards with larger densities and larger resin proportions, independent of the type of the residue. For water absorption, the values increased with the reduction of the density, for both type of particles. Thickness swelling increased with the reduction of resin proportion, independent of the type of the residue used. Observing the results it was possible to conclude that using either particle type with larger resin proportion and larger densities, boards with acceptable quality can be made

SUMÁRIO

RESUMO	v
ABSTRACT	vi
LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1 Produção de chapas de partículas aglomeradas	5
2.1.1 Matéria-prima	5
2.1.1.1 Uso de madeira roliça	6
2.1.1.2 Resíduo da indústria madeireira	10
2.1.1.3 Fontes alternativas de matéria-prima	11
2.1.2 Adesivos e aditivos	14
2.2 Parâmetros técnicos de produção	16
2.2.1 Densidade da madeira e das chapas	17
2.2.2 Quantidade de resina	19
2.2.3 Umidade do colchão	20
2.2.4 Temperatura e tempo de prensagem	21
2.2.5 Tipo e tamanho das partículas	23
2.2.6 Umidade das partículas	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	25
3.1 Matéria-prima e amostragem	25
3.1.1 Caracterização do resíduo	26
3.1.2 Classificação das partículas	26
3.1.3 O adesivo e o aditivo	28
3.2 Fabricação das chapas	28
3.2.1. Planilha de cálculo	28
3.2.2 Processo de produção das chapas	30

3.2.3	Formação do colchão	33
3.3	Testes físicos e mecânicos	36
3.3.1	Flexão estática	37
3.3.2	Tração perpendicular à superfície da chapa	38
3.3.3	Arrancamento de parafusos	39
3.3.4	Absorção d'água e inchamento em espessura	39
3.4	Modelo experimental e análise dos resultados	41
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	43
4.1	Propriedades físicas das chapas de partículas	43
4.1.1	Densidade	43
4.1.2	Teor de umidade do colchão	46
4.1.3	Teor de umidade das partículas	47
4.2	Propriedades mecânicas das chapas de partículas	47
4.2.1	Resistência à flexão estática (MOR e MOE)	47
4.2.2	Tração perpendicular à superfície da chapa (ligação interna)	62
4.2.3	Arrancamento de parafusos	69
4.3	Propriedades físicas das chapas relacionadas com as variáveis de fabricação	76
4.3.1	Absorção d'água	76
4.3.2	Inchamento em espessura	83
5	CONCLUSÕES	88
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	91
7	ANEXO	103

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. Tratamentos que foram utilizados na confecção das chapas	42
TABELA 2. Valores médios de densidade nominal e observada e teor de umidade do colchão encontrados para os diferentes tratamentos	44
TABELA 3. Valores de MOR e MOE, encontrados para os diferentes tratamentos	48
TABELA 4. Correlação de Pearson entre as propriedades de flexão e as variáveis de fabricação das chapas para partícula tipo palito	52
TABELA 5. Correlação de Pearson entre as propriedades de flexão e as variáveis de fabricação das chapas para partícula tipo serragem	53
TABELA 6. Equações ajustadas para as propriedades das chapas em função das variáveis de fabricação para tipo de partícula palitos	60
TABELA 7. Equações ajustadas para as propriedades das chapas em função das variáveis de fabricação para tipo de partícula serragem	61
TABELA 8. Valores médios de ligação interna (LI) encontrados para os diferentes tratamentos	63
TABELA 9. Correlação de Pearson entre a ligação interna e as variáveis de fabricação das chapas usando partícula tipo palito	65
TABELA 10. Correlação de Pearson entre a ligação interna e as variáveis de fabricação das chapas usando partícula tipo serragem	66
TABELA 11. Valores médios de arrancamento de parafuso (AP) para os diferentes tratamentos	71
TABELA 12. Correlação de Pearson entre as propriedades de resistência ao arrancamento de parafusos e as variáveis de fabricação das chapas para partícula tipo palito	72

TABELA 13. Correlação de Pearson entre as propriedades de arrancamento de parafusoso e as variáveis de fabricação das chapas para partícula tipo serragem	73
TABELA 14. Valores médios de absorção de água encontrados para os diferentes tratamentos	77
TABELA 15. Correlação de Pearson entre as propriedades de estabilidade dimensional e as variáveis de fabricação das chapas para partícula tipo palitos	79
TABELA 16. Correlação de Pearson entre as propriedades de estabilidade dimensional e as variáveis de fabricação das chapas para partícula tipo serragem	80
TABELA 17. Valores médios de inchamento em espessura, encontrados para os diferentes tratamentos	84
TABELA 18. Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas das chapas (MOR, MOE e AP)	105
TABELA 19. Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas das chapas (LI)	108
TABELA 20. Valores verificados nos ensaios das propriedades físicas das chapas (Ab e IE)	116
TABELA 21. Análise de variância da regressão para MOR-palitos.....	120
TABELA 22. Análise de variância da regressão para MOR-serragem	120
TABELA 23. Análise de variância da regressão para MOE-palitos	120
TABELA 24. Análise de variância da regressão para MOE-serragem	120
TABELA 25. Análise de variância da regressão para LI - palitos	121
TABELA 26. Análise de variância da regressão para LI - serragem	121
TABELA 27. Análise de variância da regressão para AP - palitos	121
TABELA 28. Análise de variância da regressão para AP-serragem	121

TABELA 29. Análise de variância da regressão para Ab 24h-palitos	122
TABELA 30. Análise de variância da regressão para Ab 24h-serragem	122
TABELA 31. Análise de variância da regressão para IE 24h-palitos	122
TABELA 32. Análise de variância da regressão para IE 24h-serragem	122

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. Amostras de madeira classificadas como cavacos normais (1), palitos (2) e serragem (3)	27
FIGURA 2. Planilha usada para o cálculo das quantidades de componentes utilizados na fabricação das chapas	29
FIGURA 3. Tambor rotativo	31
FIGURA 4. Aplicação do adesivo nas partículas com a pistola acionada por ar comprimido e acoplada ao tambor rotativo	32
FIGURA 5. Prensa hidráulica	34
FIGURA 6. Modelo de corte das chapas para a confecção dos corpos de prova	35
FIGURA 7. Máquina de ensaio universal	37
FIGURA 8. Valores de densidade observada (DO) para os diferentes tratamentos para cada densidade nominal (DN)	45
FIGURA 9. Valores de MOR, observados e ajustados em função da densidade nominal, partícula tipo palito e teor de adesivo igual a 8%.....	54
FIGURA 10. Valores de MOR, observados e estimados em função da densidade nominal, partícula tipo serragem e teor de adesivo igual a 8%.....	55
FIGURA 11. Valores de MOR, observados e estimados em função do teor de adesivo, partícula tipo palito e densidade igual a 0,65 g/cm ³	56
FIGURA 12. Valores de MOR, observados e estimados em função do teor de adesivo, partícula tipo serragem e densidade igual a 0,65 g/cm ³	56
FIGURA 13. Valores de MOE, observados e ajustados em função da densidade observada, partícula tipo palito e teor de adesivo igual a 8%	57
FIGURA 14. Valores de MOE, observados e ajustados em função da densidade observada, partícula tipo serragem e teor de adesivo igual a 8%	57

FIGURA 15. Valores de MOE, observados e ajustados em função do teor de adesivo, partícula tipo palito e densidade igual a 0,65 g/cm ³	58
FIGURA 16. Valores de MOE, observados e ajustados em função do teor de adesivo, partícula tipo serragem e densidade igual a 0,65 g/cm ³	58
FIGURA 17. Valores de ligação interna, observados e estimados em relação ao teor de adesivo, partícula tipo palito e teor de adesivo de 8%	67
FIGURA 18. Valores de ligação interna, observados e estimados em relação ao teor de adesivo, partícula tipo serragem e teor de adesivo de 8%	68
FIGURA 19. Valores de ligação interna, observados e estimados em função do teor de adesivo, partícula tipo palito e densidade de 0,65 g/cm ³	68
FIGURA 20. Valores de ligação interna, observados e estimados em função do teor de adesivo, partícula tipo serragem e densidade de 0,65 g/cm ³	69
FIGURA 21. Valores de resistência ao arrancamento de parafuso observados e estimados em função do teor de adesivo, partícula tipo palito e densidade de 0,65 g/cm ³	74
FIGURA 22. Valores de resistência ao arrancamento de parafuso observados e estimados em função do teor de adesivo, partícula tipo serragem e densidade de 0,65 g/cm ³	75
FIGURA 23. Valores de absorção d'água após 24 horas de imersão (Ab24), observados e estimados em função da densidade observada para partícula tipo palito	82
FIGURA 24. Valores de absorção d'água após 24 horas de imersão (Ab24), observados e estimados em função do teor de adesivo para partícula tipo serragem	82
FIGURA 25. Valores de inchamento em espessura 24 horas (IE24), observados e estimados em função do teor de adesivo para partícula tipo palito	86
FIGURA 26. Valores de inchamento em espessura 24 horas (IE24), observados e estimados em função do teor de adesivo para partícula tipo serragem	87

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1. Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas das chapas (MOR, MOE, AP e LI)	104
ANEXO 2. Valores verificados nos ensaios das propriedades físicas das chapas (Ab e IE)	115
ANEXO 3. Análise da variância da regressão.....	119

1 INTRODUÇÃO

Devido à grande diversidade e quantidade de florestas naturais tropicais no Brasil, o surgimento de indústrias madeireiras é cada vez mais intenso. Porém, pela inadequada exploração e utilização não racional destas florestas, associada ao aumento da demanda de produtos madeireiros, torna-se interessante o uso de novas formas de aproveitamento de resíduos de madeira, oriundas do sistema industrial de fabricação de celulose e papel e de serrarias.

A indústria de painéis enfrentou, nas últimas décadas, mudanças significativas em termos de produtos. As madeiras nobres, que participavam com volumes expressivos no processo industrial, hoje tem uma contribuição relativamente pequena, mesmo considerando que a matéria-prima não tenha propriedades adequadas, o produto final deverá ser de alta qualidade para que o mercado remunere o capital investido em níveis compatíveis (Couto, 1979).

Devido a isto, a indústria madeireira deve aperfeiçoar-se para manter sua competitividade no mercado. Assim, a redução de perdas, a automação do processo com utilização de novos equipamentos e o desenvolvimento de novas tecnologias e produtos passaram a ser questão fundamental à sobrevivência a médio e longo prazo. Por isto, atualmente as indústrias madeireiras estão adotando novas tecnologias para obter um melhor e maior aproveitamento da matéria-prima.

Por exemplo, o resíduo produzido pelo picador industrial de cavacos para celulose, em grande quantidade, é transformado em fonte de lucro à indústria, através da sua queima em caldeira para a produção de energia ou comercialização à empresas para a produção de adubos. No entanto, a remuneração dessa matéria-prima para estas finalidades citadas é baixa quando comparada ao valor pago pela indústria de aglomerados.

A tendência de utilização de resíduos fibrosos é crescente, pois, além de servir como matéria-prima para as indústrias, também possibilita uma produção eco-eficiente e contribui na melhoria e na qualidade do produto final.

As espécies, como o eucalipto, apresentam grande potencial para suprir esta demanda devido às boas características da sua madeira, ser de rápido crescimento e também devido à disponibilidade de grandes áreas plantadas.

Segundo Iwakiri *et al* (1999a), as grandes áreas de reflorestamentos de eucalipto foram implantadas com a finalidade de suprir as demandas de indústrias siderúrgicas e para, posteriormente, serem utilizadas na produção de cavacos destinados às indústrias de celulose e papel e de painéis de madeira.

Portanto, é de fundamental importância que estudos sejam realizados para promover o uso de matéria-prima não convencional na produção de chapas aglomeradas visando a obtenção de painéis estáveis dimensionalmente e de boa resistência mecânica.

Desta maneira, o presente estudo foi realizado visando os seguintes objetivos:

- Analisar a viabilidade do uso de resíduos fibrosos de *Eucalyptus saligna*, oriundos de uma indústria de celulose na fabricação de chapas de madeira aglomerada;
- Avaliar o efeito dos diferentes tamanhos de partículas (palito e serragem) nas propriedades físico-mecânicas das chapas;
- Estabelecer ajustes de modelos matemáticos, utilizando-se análise de regressão, relacionando as variáveis de produção com as características físico-mecânicas das chapas produzidas;
- Comparar as propriedades do painel fabricado com as recomendadas pelas normas de comercialização;
- Estabelecer proporções de adesivo e densidades apropriadas para o uso de resíduos madeireiros da indústria de celulose na fabricação de chapas aglomeradas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os produtos derivados de madeira são uma proposta interessante na ampliação dos materiais empregados na indústria da construção civil, moveleira e outras. O Brasil apresenta condições favoráveis para se tornar um importante produtor mundial de painéis de madeira, porque possui tecnologia que possibilita o emprego de resíduos de processamento da madeira.

A produção de painéis à base de madeira é de relevante importância para a economia brasileira, pois possibilita a geração de empregos. Entretanto, para que haja desenvolvimento, é preciso investir em tecnologias voltadas para melhorar a produção de painéis derivados de madeira (Campos & Lahr, 2004).

Os avanços observados nesse setor, nas últimas década, devem-se ao desenvolvimento de novas resinas e processos, o que ocorreu em grande parte nos países industrializados (Haselein & Pauleski, 2004).

Segundo Iwakiri *et al.* (1999a), as indústrias de painéis de madeira tem apresentado evolução significativa em termos de produção e inovação tecnológica a partir da década de 80. A partir daí houve a necessidade de melhor aproveitamento da matéria-prima e uso racional de recursos florestais, incentivando o desenvolvimento de novos produtos e processos produtivos.

2.1 Produção de chapas de partículas aglomeradas

Segundo Tomaselli (1998), o aglomerado é também denominado de chapa de partículas, exatamente por ser um painel de madeira formado por partículas de madeira. A madeira é picada, transformada em partículas, as quais são submetidas à secagem. O material já seco recebe uma resina sintética e é prensado com aplicação de calor e pressão, formando o painel.

O aglomerado é utilizado para uso interno, principalmente para fabricação de móveis, divisórias e componentes de aparelhos eletroeletrônicos (Iwakiri *et al.*, 1999b).

2.1.1 Matéria-prima

A matéria-prima utilizada para fabricação de aglomerados pode ser classificada em dois grupos: fonte de fibra e adesivos. Enquanto que, nos adesivos, tem-se maior controle utilizando-se os mais adequados, tendo em vista a finalidade das chapas, sobre as fontes de fibras deve-se levar em conta também a disponibilidade em quantidades adequadas, baixo custo de armazenamento e manuseio (Hillig, 2000).

Assim, a busca por novas fontes de matéria-prima passou a ser considerada de fundamental importância às indústrias madeireiras pois, a matéria-prima fibrosa constitui-se, em um recurso escasso para as indústrias, quer seja em âmbito nacional ou mundial (Couto, 1979).

Segundo Dacosta (2004), a matéria-prima pode resultar de madeira extraída dos reflorestamentos, bem como do aproveitamento de resíduos industriais florestais ou de agricultura com a finalidade direta de abastecer as indústrias de chapas aglomeradas.

2.1.1.1 Uso de madeira roliça

Tendo em vista as dificuldades cada vez maiores na obtenção de matéria-prima para produção de chapas de aglomerados extraídas de espécies de florestas nativas, surgiu a necessidade de utilização de espécies alternativas para suprir a demanda por madeiras de boa qualidade.

Para isto, espécies de *Eucalyptus* spp e *Pinus* spp apresentam grande potencial para suprir essa demanda em função das boas características da sua madeira, por serem espécies de rápido crescimento e também devido à disponibilidade de grandes áreas plantadas no Brasil (Iwakiri *et al.*, 2000).

Segundo Dacosta (2004), as chapas produzidas com madeira de *Pinus* podem ser recomendadas para uso interno como na fabricação de móveis.

Okino *et al.* (2000) avaliaram a fabricação de chapas de partículas produzidas com *Hevea brasiliensis* (densidade nominal de 0,70 g/cm³ e 10% de adesivo à base de uréia-formaldeído). Estas chapas analisadas obtiveram valores satisfatórios, porém os resultados poderiam ser melhorados com a adição de parafina na confecção das chapas, usual na indústria.

Brito & Silva (2002), estudando a produção de painéis aglomerados, com base em duas espécies de madeira, *Samanea saman* (partículas de granulometria de 2,08-0,61mm) e *Gmelina arborea* (5,61-0,61 mm), empregadas puras, obtiveram resultados que mostraram ser possível o uso destas espécies com variação de granulometria das partículas na produção de chapas de partículas com propriedades aceitáveis.

Hillig (2000) em estudo sobre o uso de madeiras de *Pinus*, *Eucalyptus* e *Acácia-negra*, empregadas puras e misturadas, concluiu que a mistura destas espécies trouxe vantagens quanto à qualidade das chapas.

Haselein (1989) analisou *Eucalyptus* e *Embaúba* e constatou que a mistura, na proporção de 50% de cada espécie, produz chapas com propriedades melhores do que cada espécie utilizada individualmente. Desta maneira, os resultados obtidos mostraram ser vantajosa a mistura

da madeira dessas duas espécies, pois produziram chapas com melhores propriedades mecânicas do que cada espécie utilizada isoladamente. Com isso, pode-se concluir que um dos fatores que afetam a qualidade das chapas de aglomerados é a espécie de madeira empregada.

O gênero *Eucalyptus* engloba cerca de 720 espécies, originadas quase que exclusivamente da Austrália. Das características gerais do gênero, destaca-se o alburno delgado, com menos de 3,0 cm de espessura e coloração clara. O cerne por sua vez apresenta cor variando do amarelo até tons de pardo, pardo-avermelhado e vermelhos. Sua madeira apresenta pouco brilho, sendo macia a moderadamente dura ao corte. O gênero caracteriza-se por uma constituição anatômica muito homogênea, sendo, portanto, de difícil separação das espécies (Oliveira, 2000).

As possibilidades de uso da madeira de eucalipto em marcenarias e movelarias existem desde longa data, estendendo-se por diferentes regiões do mundo.

Com a demanda crescente de produtos de origem florestal e o impedimento cada vez maior da utilização de matérias-primas de mata nativa devido à pressão realizada por grupos ecológicos, o gênero *Eucalyptus* vem exercendo um papel fundamental neste nicho de mercado e no desenvolvimento sócio-econômico do setor industrial florestal brasileiro (Rincoski, 1999).

A importância das espécies de madeira do gênero *Eucalyptus* nos setores florestal-madeireiro e sócio-econômico é indiscutível. O gênero *Eucalyptus* apresenta-se como uma das melhores opções de matéria-

prima para a indústria madeireira pelas suas características físicas e mecânicas. Entretanto, os extraordinários avanços na eucaliptocultura brasileira, em que se registra um crescimento médio da ordem de quatro a cinco vezes maior do que a média mundial, não tem sido acompanhado pelas pesquisas necessárias ao aproveitamento da matéria-prima produzida, como serrados e laminados (Rozas & Tomaselli, 1993).

O sucesso do uso do eucalipto para a obtenção de chapas de fibras no Brasil é demonstrado pelo simples fato de que praticamente toda a nossa produção de chapas está baseada na utilização de madeira obtida de plantações desse gênero. As espécies mais utilizadas para essa produção têm sido o *Eucalyptus grandis* e o *Eucalyptus saligna* (Brito *et al.*, 1998).

Em estudos realizados por Vital *et al.* (1992) com madeira de *Eucalyptus grandis*, as chapas mais rígidas, com maior resistência à flexão e mais estáveis dimensionalmente, foram produzidas com flocos longos e de menor espessura.

Iwakiri *et al.* (1999a) avaliaram a produção de lâminas e compensados de *Eucalyptus cloeziana* e *Eucalyptus robusta* com três formulações diferentes de adesivo uréia-formaldeído sendo os valores médios das propriedades obtidos foram satisfatórios para as duas espécies.

Cabe ressaltar que, o *Eucalyptus saligna* foi a espécie que apresentou melhor comportamento em todas as propriedades das chapas avaliadas em estudos realizados por Iwakiri *et al.* (2000).

2.1.1.2 Resíduo da indústria madeireira

O aproveitamento do material residual pelas indústrias, atualmente, é fundamental, possibilitando produzir de maneira ecologicamente correta e conservando a qualidade do produto final.

Segundo Foelkel *et al.* (1979), dentre os resíduos das indústrias de conversão de madeira, o que mais tem chamado a atenção para possível uso é a serragem. A serragem é um produto que ocorre em quantidade variável nas indústrias madeireiras, sendo, normalmente, descartada. Por esta razão, muitas empresas têm procurado transformar esse resíduo em fonte de lucro, utilizando-o como combustível, na fabricação de tipos inferiores de celulose e na fabricação de painéis.

A serragem oferece inúmeras vantagens, tais como baixo custo e baixa densidade; porém, seu principal problema é a agregação. O produto obtido a partir da serragem é denominado aglomerado, o qual possui baixa resistência e trabalhabilidade. Contudo, alguns estudos demonstraram que o emprego desse material na matriz polimérica promove melhorias na performance do produto acabado (Haselein *et al.*, 2001).

As principais fontes de resíduos são as serrarias e os setores de picagem da madeira em fábricas de celulose e papel. Em ambos os casos, os resíduos fibrosos são separados e acumulados. A serragem de serrarias é heterogênea quanto à composição, pois serrarias trabalham geralmente

com tipos diversos de madeira. Já a serragem da indústria de celulose é separada na classificação dos cavacos, sendo conhecida como “finos” (Foelkel *et al.*, 1979).

Segundo estudo realizado por Latorraca & Iwakiri (2000), a produção de chapas que possibilitam a utilização dos resíduos gerados tanto na exploração florestal como no processamento industrial, os quais ainda são altamente desprezados, é bastante promissora. Essa prática pode resultar em aumento do valor agregado da madeira, que minimiza os depósitos de resíduos e possibilita a instalação de novas empresas, gerando receitas e novos empregos.

2.1.1.3 Fontes alternativas de matéria-prima

A madeira não é a única fonte de matéria-prima que pode ser utilizada na confecção de chapas aglomeradas. Como matéria-prima alternativa, por exemplo, são utilizados resíduos agrícolas, bambu, aparas de papel. Em muitos estudos, também é utilizada a madeira, misturada a materiais plásticos, gesso, cimento, entre outros (Dacosta, 2004).

Segundo Ginzel & Peraza (1966), a procura por novas matérias-primas para a confecção de chapas deve-se ao rápido desenvolvimento das indústrias madeireiras, juntamente com o avanço de estudos sobre o

emprego de novas matérias-primas. E dentre os resíduos agrícolas mais utilizados estão o linho e o bagaço da cana-de-açúcar.

Conforme Santana & Teixeira (1993), um dos obstáculos a melhor utilização das chapas produzidas com bagaço de cana-de-açúcar é a baixa estabilidade dimensional, decorrente da alta tendência à absorção de água.

Em estudo realizado por Vital & Haselein (1989), foi avaliada a qualidade de chapas de aglomerado produzidas com embaúba e bambu, as quais obtiveram resultados favoráveis. Segundo os autores, o trabalho desenvolvido deve ter continuidade, pois o bambu é uma espécie de grande produção por unidade de área, de fácil cultivo e difundido em todo o território nacional.

Por outro lado, Riceboard (2001) desenvolveu uma tecnologia para manufatura de painéis utilizando casca de arroz, apresentando, dessa maneira, uma das melhores soluções para os problemas dos resíduos da agricultura e, ao mesmo tempo, da preservação das florestas.

Kristova *et al.* (1996) em ensaios preliminares para a utilização de caules de girassóis como matéria-prima para aglomerado, usando fenol-formaldeído como agente colante, analisaram variáveis, como densidade e tipo de matéria-prima (caules inteiros ou sem medula e uso de aparas de madeira), conteúdo de resina, densidade da chapa e diferentes camadas de material. As conclusões gerais foram à necessidade de uso de caules sem medula, adesivo de menor custo e mistura de partículas de madeira de menor valor para a produção de chapas economicamente viáveis.

Um grande número de trabalhos publicados recentemente teve como objetivo estabelecer as características de produtos fabricados a partir de uma matriz de matéria plástica reforçada com fibras de madeira. Entretanto, apenas alguns poucos trabalhos têm evidenciado o efeito da incorporação de partículas de plástico em mistura com partículas de madeira. Os poucos disponíveis indicam que essa tecnologia de produção gera produtos com boas propriedades físicas e mecânicas (Revista Madeira, 2003)

Calegari *et al.* (2004) também estudaram a utilização de fontes alternativas de matéria-prima na confecção de chapas de aglomerados. De acordo com a pesquisa, a inclusão de aparas de papel com partículas de madeira de *Pinus elliottii* prejudicou a maioria das propriedades analisadas (absorção d'água, ligação interna e resistência ao arrancamento de parafuso).

As chapas de cimento-madeira de seringueira foram classificadas, em estudos realizados por Okino *et al.* (2002), como altamente resistentes, quando expostas ao ataque de dois fungos apodrecedores.

2.1.2 Adesivos e aditivos

Na fabricação das chapas de aglomerados de madeira, a cola tem uma importância extraordinária. Devido ao seu elevado custo, comparado com o da madeira, a cola influi sobre a economia da indústria, destacando-se quanto à grande influência que tem sobre as características da chapa fabricada e suas futuras aplicações (Ginzel & Peraza, 1966).

No processo de adesão, o adesivo deve umedecer as fibras, em seguida, deve fluir de modo controlado durante a prensagem e, finalmente, adquirir forma sólida (Campos & Lahr, 2004).

Segundo Kollmann *et al.* (1975), algumas das principais características da madeira que afetam a adesão e colagem são a variabilidade, sendo que algumas espécies apresentam maior facilidade de colagem que outras, a densidade, a porosidade, a permeabilidade, o pH e o teor de umidade.

Os principais adesivos empregados na fabricação de painéis à base de madeira são os adesivos sintéticos, destacando-se o fenol-formaldeído, o resorcinol-formaldeído, a uréia-formaldeído e a melamina-formaldeído (Koch *et al.*, 1987).

A resina de uréia é a mais empregada por razões econômicas e tecnológicas. A manufatura de chapas de boa qualidade com o menor consumo de resina é o objetivo primordial dos fabricantes, devido principalmente ao alto custo representado pela mesma (Iwakiri, 1995).

Segundo Kelly (1977) a resina uréica é a mais utilizada para o uso interior devido à baixa resistência à umidade e ao menor custo, e a fenólica, a mais adequada para manufatura de chapas para fins estruturais (OSB e Waferboard) e uso exterior devido à maior durabilidade e resistência.

Rayner (1968) comentou que a velocidade de cura para o adesivo uréia-formaldeído pode ser aumentada com uso de catalisadores e com altas temperaturas, razão pela qual se adapta bem nas indústrias de chapas de partícula, sendo que a temperatura de cura está em torno de 100°C. Segundo o autor, em virtude de seu processo de cura, estas colas, quando fornecidas na forma líquida, têm vida útil de 2 a 3 meses.

Os problemas causados pelo uso das colas uréicas são a baixa resistência a altas umidades e temperaturas e a emissão de formaldeído, um carcinogênico. Uma das soluções encontradas para o último é baixar a proporção de formaldeído em relação à quantidade de resina (Haselein & Pauleski, 2003).

Visando melhorar a qualidade da chapa produzida, pode-se adicionar ao adesivo outros produtos, os quais são classificados como aditivos.

Sobre isto, Akers (1966) comenta que os aditivos mais utilizados são inseticidas e fungicidas, além dos retardantes do fogo e da absorção d'água.

A utilização da parafina junto ao adesivo no processo de colagem, em função da higroscopicidade das chapas, é de fundamental importância

para a sua estabilidade dimensional, conforme comentado por Haselein (1989) e Mendes & Iwakiri (2001).

Moslemi (1974) ressalta que a quantidade de parafina aplicada geralmente é de 1% ou menos, pois quantidades maiores não proporcionam melhoria nas propriedades de estabilidade dimensional das chapas e, por outro lado, podem trazer problemas de colagem e redução nas propriedades de resistência das chapas.

Segundo Hillig (2000), a emulsão de parafina é, sem dúvida, o aditivo mais utilizado e visa diminuir tanto a absorção como a adsorção d'água das chapas fabricadas.

Existem também aditivos que são adicionados ao adesivo com a finalidade de melhorar as características deste quanto à distribuição, fluxo e penetração na madeira, os quais são denominados de extensores (Kollmann *et al.*, 1975).

2.2 Parâmetros técnicos de produção

A produção de aglomerados depende de vários fatores inter-relacionados, com maior ou menor importância, que, de forma direta ou indireta, intercedem em suas propriedades físicas e mecânicas (Iwakiri *et al.*, 1999b).

As variáveis de processo, tais como geometria de partículas, teor de umidade, tipo e quantidade de resina e ciclo de prensagem, devem ser consideradas dentro de critérios e padrões recomendados industrialmente (Iwakiri *et al.*, 2001).

2.2.1 Densidade da madeira e das chapas

Uma das variáveis de processo na produção de painéis de madeira aglomerada é a espécie da madeira e a conseqüente relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada, denominada de razão de compactação (Kelly, 1977; Moslemi, 1974; Maloney, 1993; Tsoumis, 1991).

Segundo Iwakiri *et al.* (2000), na produção de chapas de madeira aglomerada, o fator espécie está relacionado principalmente com a densidade da madeira.

Desta maneira, a baixa massa específica da madeira é um dos principais fatores para a escolha de uma espécie para produção de aglomerados (Maloney, 1989).

A densidade e a porosidade da madeira têm influência também na formação da linha de cola (Iwakiri *et al.*, 1999a).

Foelkel (1990) faz uma interessante consideração a respeito de que a densidade básica funciona como um bom índice de qualidade da madeira, desde que aplicada a uma mesma espécie.

Basicamente, madeira leve produz chapas mais resistentes para uma mesma densidade da chapa, porém obriga a maiores custos de transporte e armazenamento (Hillig *et al.*, 2000).

A utilização de madeiras de baixa densidade resulta em alta razão de compactação das chapas e maior área de contato entre as partículas, resultando em melhores propriedades de flexão estática e ligação interna (Kelly, 1977).

Para viabilizar a utilização de espécies de maior densidade, existe a alternativa de mistura de espécies de maior e menor densidade, visando manter a razão de compactação dentro da faixa aceitável, que, segundo a literatura, deve estar na faixa de 1,3 a 1,6 (Moslemi, 1974).

De acordo com estudos realizados por Moslemi (1974), Maloney (1993) e Kelly (1977), as propriedades físico-mecânicas da chapa são altamente influenciadas pela relação entre a densidade da chapa e a densidade da madeira utilizada.

Segundo Haselein (1989), o efeito da densidade da chapa na estabilidade dimensional não é bem definida. Embora vários autores concordem que a absorção d'água decresce com o aumento da densidade e que, praticamente, a densidade do painel não influi na expansão linear, não há muita clareza quanto à influência da densidade no inchamento em espessura.

Alguns estudos têm demonstrado que espécies de média massa específica, como os eucaliptos e a bracatinga, podem ser utilizadas em misturas de até 50% em relação à madeira de *Pinus*, com resultados satisfatórios (Iwakiri *et al.*, 1996).

De acordo com Nelson (1973) e Chow (1976), a massa específica dos painéis tem influência positiva sobre os módulos de elasticidade (MOE) e de ruptura (MOR). Não há, no entanto, consenso com respeito ao seu efeito sobre o inchamento, absorção d'água e ligação interna.

2.2.2 Quantidade de resina

Estudos realizados recentemente por Calegari *et al.* (2002) revelaram que o teor de adesivo afetou significativamente tanto a resistência à flexão, bem como a ligação interna e o inchamento em espessura das chapas. Ocorreu uma diminuição da qualidade dos painéis pela redução do teor de adesivo.

Marra (1992) afirma que as propriedades físico-mecânicas das chapas são melhoradas com o aumento na quantidade de resina. No entanto, deve ser condicionada à otimização da relação custo-benefício, de acordo com a finalidade de uso e resistência mínima exigida.

Pizzi (1994) também verificou que, com o aumento do teor de resina, independentemente de seu tipo, ocorre um aumento dos valores de propriedades mecânicas e da estabilidade dimensional dos painéis.

Para chapas produzidas com madeira de alta densidade, deve-se aumentar a quantidade de adesivo, em razão da menor área de contato entre as partículas, o que resulta, conseqüentemente, em chapas com baixa resistência mecânica (Lynam, 1959).

2.2.3 Umidade do colchão

O teor de umidade do colchão de partículas influencia na pressão mínima requerida aplicada sobre o material até atingir a espessura final da chapa, sendo que, quanto maior a umidade, menor será a resistência do material à compressão e mais fácil será a consolidação da chapa (Moslemi, 1974).

Segundo Kollmann *et al.* (1975), a resistência das chapas, a qualidade das faces, a separação do formaldeído e a pressão requerida dependem da umidade do colchão. O conteúdo de umidade do colchão deve ser tal que permita boa plasticidade das faces externas das partículas para conseqüente melhora nas propriedades de colagem.

Para Hillig (2000), deve-se estabelecer a umidade do colchão de forma que permita plasticidade das partículas suficiente para uma perfeita colagem e, de outra forma, exija o menor tempo de prensagem possível.

Conforme o autor, altas umidades do colchão durante a prensagem causam a formação de grande quantidade de vapor. Como a pressão é maior nas superfícies que no centro, o vapor tende a deslocar-se para o miolo do painel e, quando a prensa é aberta, sua descompressão pode causar um golpe de vapor, causando o estouro da chapa. É importante considerar também que, quanto maior a umidade do colchão, maior o tempo necessário de prensagem.

2.2.4 Temperatura e tempo de prensagem

A pré-prensagem das chapas de madeira compensada e de madeira aglomerada proporciona substanciais vantagens. Esta operação aumenta a produção, economiza a cola, evita os refugos e diminui bastante o custo operacional do produto (Samlaic, 1982).

O tempo de prensagem da chapa está relacionado à espessura da chapa, à temperatura de prensagem e, também, ao teor de umidade do colchão, o qual, por sua vez, é influenciado pelo teor de umidade das partículas (Lehman *et al.*, 1973).

Na pesquisa realizada por Hse (1975), todas as propriedades mecânicas das chapas melhoram com o aumento no tempo de prensagem.

Em seus estudos, Iwakiri *et al.* (1999a) concluíram que é possível a produção de aglomerados com pressão menor que 25 kgf/cm^2 e tempo de prensagem menor que 8 minutos, o que poderia ser um indicativo da viabilidade de projetos de plantas de aglomerados de pequena escala de produção.

No caso de painéis de madeira, a cura completa ocorre após certo período em que a temperatura do miolo, parte mais distante dos pratos aquecidos da prensa, atinge temperaturas superiores a $100 \text{ }^\circ\text{C}$. O período de tempo necessário para que o miolo do painel atinja a temperatura adequada para proporcionar a cura do adesivo é uma informação importante para estabelecer seu tempo de prensagem, determinando, conseqüentemente, a capacidade de produção (Calegari *et al.*, 2002).

De acordo com Ginzler & Peraza (1966), para obter um ótimo efeito na fabricação de uma chapa de partículas, é necessário conhecer todos os fatores que influem sobre a elaboração, com a finalidade de poder regular o processo. Na prática, é preciso controlar os diferentes fatores para obter uma chapa de partículas com boas características, em um tempo mais curto possível. O processo mecânico de prensagem deve ser de tal forma que a compressão (fechamento da prensa) termine antes que se inicie a policondensação no interior da chapa.

2.2.5 Tipo e tamanho das partículas

A qualidade dos painéis de madeira, especificamente as chapas de partículas, é função, das combinações de variáveis como a espécie de madeira escolhida, granulometria de partículas, umidade, entre outros (Mendes *et al.*, 2001).

Uma das principais variáveis que influenciam na confecção de chapas de madeira é a granulometria/geometria de partículas, razão pela qual vários trabalhos de pesquisa têm sido desenvolvidos para avaliar essa variável (Brito & Silva, 2002).

Vital *et al.* (1992) afirma que o uso de partículas curtas e espessas beneficia a resistência à tração perpendicular, porém ocasiona redução da tensão de ruptura e do módulo de elasticidade à flexão estática. Essas duas propriedades são melhoradas quando se aumenta o comprimento das partículas. Esse efeito é resultado de alterações na parte superficial e na flexibilidade das partículas, do consumo relativo de adesivo e da área de contato entre as partículas.

Segundo Haselein & Pauleski (2004), a forma das partículas influencia não só as propriedades físicas como as propriedades mecânicas das chapas. O fator mais importante é a relação entre o comprimento e a espessura das partículas. A absorção d'água e, conseqüentemente, a expansão linear e o inchamento em espessura diminuem conforme esta

relação aumenta. Por outro lado, o módulo de elasticidade aumenta à medida que a relação comprimento/espessura aumenta.

2.2.6 Umidade das partículas

O teor de umidade das partículas é um dos mais importantes fatores na manufatura de aglomerados. O valor desejável, após o processo de secagem varia entre 3 a 6%, dependendo do tipo e da quantidade de resina (Moslemi, 1974).

Após a mistura das partículas com o adesivo, o teor de umidade destas eleva-se para uma faixa compreendida entre 8 e 14% (Tsoumis, 1991). Umidades fora dessa faixa resultam em chapas com reduzida qualidade (Moslemi, 1974).

Pesquisa realizada por Brito (1995) demonstrou a viabilidade de utilização de partículas de madeira com 9% de umidade na manufatura de chapas de aglomerados a partir de maravalhas de *Pinus elliottii*.

Deve-se ressaltar que a secagem das partículas de madeira é uma importante operação, o qual que pode limitar a capacidade produtiva das indústrias podendo ocasionar aumento no consumo energético final (Albuquerque, 2000).

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Matéria-prima e amostragem

A matéria-prima utilizada na confecção das chapas de aglomerado foi coletada do abastecimento da indústria de celulose e papel Klabin Riocell, localizada em Guaíba, RS. Era constituída de resíduos dos cavacos usados na produção de celulose de madeira de *Eucalyptus saligna*.

A indústria seleciona os cavacos através de peneiras classificatórias, em que aqueles que possuem espessura elevada voltam ao picador para serem novamente processados e os de pequena espessura são descartados. Os cavacos utilizados para a produção de celulose são aqueles que possuem espessuras entre 2 e 8 mm, ditos como cavacos normais. Os cavacos com espessura inferior a 2 mm e que são descartados pela indústria foram utilizados neste trabalho.

Foram coletados 400kg deste resíduo, formado de diferentes frações de madeira, as quais foram separadas para a produção das chapas com diferentes tamanhos de partículas denominados de mini-cavacos ou palito e serragem.

3.1.1 Caracterização do resíduo

Segundo Pedrazzi *et al.* (2002), os diferentes resíduos do picador podem ser classificados como:

- Mini-cavaco ou palito: é a fração de madeira que inclui cavacos com espessuras menores que 2 mm, isentos de serragem.
- Serragem: é a fração da madeira que passa por orifícios com 2,5 mm de diâmetro e que fica retida em peneira com orifícios de 1,4 mm de diâmetro. A finalidade dessa peneira é remover a serragem fina ou pó de madeira.

Nesta pesquisa, as diferentes frações, após separadas, foram devidamente armazenadas em sacos plásticos e identificadas para posteriores determinações.

3.1.2 Classificação das partículas

Primeiramente, o resíduo foi constituído por pedaços de cavacos, palitos, serragem e pó. Posteriormente, esse resíduo foi peneirado para a separação e classificação das partículas em palitos e serragem e para a remoção do pó, que foi descartado. A peneira utilizada para a separação

do palito da serragem tinha malha com aberturas de 2,51 x 2,51 mm e, para a separação da serragem do pó, de 1,42 x 1,42 mm. A separação dos pedaços de cavacos dos palitos foi realizada com o uso de peneira.

Os palitos obtidos tinham dimensões médias de 18,7 x 3,15 x 1,04 mm, e a serragem, valores médios de 9,25 x 1,47 x 0,62 mm.

Em seguida, os palitos e a serragem foram para a estufa a 60 °C, com circulação de ar forçada para secagem, até atingir um teor de umidade de aproximadamente 3%.

Amostras dos resíduos foram pesadas para a determinação do peso úmido e posteriormente colocadas em estufa a 103 °C até peso constante para a obtenção do peso seco e, desta maneira, para o cálculo do teor de umidade.

A Figura 1 mostra os tipos de partículas classificadas como cavacos normais, palito e serragem.

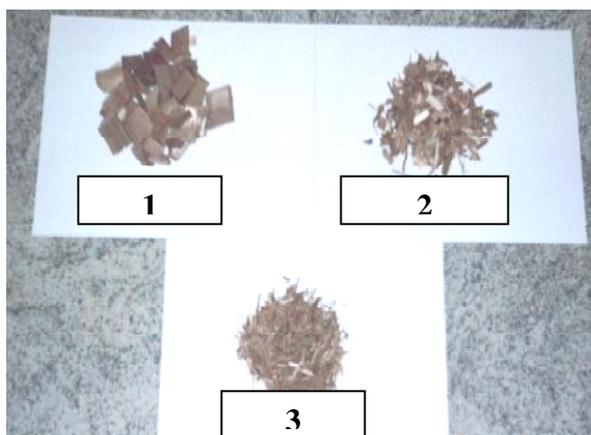


FIGURA 1. Amostras de madeira classificadas como cavacos normais (1), palito (2) e serragem (3)

3.1.3 O adesivo e o aditivo

Primeiramente, foi determinado o teor de sólidos da resina e da parafina, aplicando-se o procedimento como descreve a norma ASTM D 1490-96 (1999). O adesivo utilizado foi a resina uréia-formaldeído e o aditivo, a parafina.

Os valores obtidos para o teor de sólidos da resina uréia-formaldeído foram de 63% e, para a parafina de 55%. Segundo Dacosta (2004), ambos os valores aproximam-se dos requeridos para serem usados nas indústrias de chapas de madeira aglomerada.

3.2 Fabricação das chapas

3.2.1. Planilha de cálculo

A planilha utilizada para o cálculo das quantidades de produtos utilizados nas chapas está apresentada na Figura 2. Foram inseridos na planilha a quantidade de adesivo (4, 8 e 12%) e a densidade da chapa (0,55, 0,65 e 0,75 g/cm³) para cada tratamento e outros fatores do processo produtivo, que foram fixos para todos os tratamentos.

Largura (cm):	50	Área (cm ²):	2500
Comprimento (cm):	50	Volume (cm ³):	2375
Espessura (cm):	0,95		
Densidade g/cm ³ :	0,75		
Teor de umidade da chapa(%):	8,5	Peso chapa climatizada (g):	1781,25
		Peso total chapa (g):	1629,84
Teor umidade partículas%:	3		
Teor de adesivo %:	12		
Teor sólido uréia form. %:	65		
Teor de parafina %:	1		
Teor sólido parafina %:	57	Teor sólidos partículas %:	97

	P umido (g)	P seco (g)
Partícula:	1486,95	1442,34
Uréia formaldeído	266,28	173,08
Parafina:	25,30	14,42
TOTAL	1778,53	1629,84

Teor umidade colchão sem a adição de água %:	8,36
Para teor de umidade colchão de (%):	11,66
Portanto, adicionar (g) água:	66,44

Correção:

uréia formaldeído	paraf./ág.	partícula
30	30	20

Tipo de partícula:

	%	Pu (g)
Palito	100	1486,9
	0	0,0
Total	100	1486,9

Pu de componentes (g) :

	sem correção	com correção
Particula	1486,95	1784,34
ureia folmaldeido	213,02	276,92
parafina:	20,24	26,31
água:	66,44	86,37
Tambor-	1786,65	

(g) p/ cada chapa

Onde: Pu = peso úmido

FIGURA 2. Planilha usada para o cálculo das quantidades de componentes utilizados na fabricação das chapas

Com base nestes dados, foram calculadas as quantidades de materiais utilizados em cada tratamento, como a quantidade de partícula (palito e serragem), resina (uréia-formaldeído), parafina e água.

Para corrigir e controlar a densidade da chapa, utilizou-se uma quantidade maior de partícula (20%), adesivo, parafina e água (30%) que as calculadas. Essa correção é necessária, para compensar as perdas desses materiais que ocorrem durante o processo produtivo por ficarem aderidos nos equipamentos.

3.2.2 Processo de produção das chapas

Cinquenta e quatro chapas, com dimensões de 50 x 50 x 0,95 cm foram confeccionadas para a realização do estudo.

Antes de iniciar a confecção das chapas, as partículas foram levadas novamente à estufa, a 60 °C, para atingirem umidade de equilíbrio de aproximadamente 3%. Imediatamente após a retirada da estufa, pesou-se a quantidade de partículas necessária, a fim de não adquirirem umidade novamente. Também foi pesada a quantidade de adesivo, parafina e água.

As partículas de madeira foram então colocadas dentro do tambor rotativo, e o adesivo foi misturado com a água e o catalisador (sulfato de

amônio) e aplicado sobre as partículas dentro do tambor. Após, aplicou-se a parafina nas partículas. A água utilizada serviu para ajustar a umidade das partículas no colchão.

O tambor rotativo (Figura 3) foi o equipamento usado para misturar os materiais e tem as seguintes dimensões: 1,2 m de diâmetro e 0,5 m de largura, com velocidade correspondente a 14 rotações por minuto. Esse equipamento possui uma pistola (Figura 4) acionada por ar comprimido que tem a função de aplicar nas partículas o adesivo.



FIGURA 3. Tambor rotativo



FIGURA 4. Aplicação do adesivo nas partículas com a pistola acionada por ar comprimido e acoplada ao tambor rotativo

O adesivo, juntamente com a água e o catalisador e a parafina, foram aplicados sendo a pistola acionada com ar comprimido, com pressão de 8 kgf/cm^2 e vazão de 50 g de adesivo por minuto.

Após, pesou-se o material resultante (partículas + adesivo + água + catalisador + parafina) do tambor rotativo para obter o peso final do colchão úmido.

Para o cálculo da umidade das partículas do colchão foram recolhidas amostras de partículas que sobraram no tambor.

As chapas que apresentaram teor de umidade do colchão inferior a 9,5% e superior a 12% foram eliminadas, e o processo foi repetido.

3.2.3 Formação do colchão

O colchão foi formado manualmente sobre uma chapa de aço galvanizada revestida com papel vegetal, colocada sob uma caixa de madeira com dimensões de 50 x 50 x 20 cm, sem fundo e sem tampa. O papel vegetal serviu para evitar a aderência das partículas aos pratos da prensa.

As partículas foram, então, espalhadas e orientadas ao acaso. Após, foi realizada uma homogeneização manual para melhorar a distribuição das partículas que, em seguida, foram levadas a uma prensagem manual (pré-prensagem), a temperatura ambiente, durante 15 minutos.

Antes de ser levada à prensa quente, colocou-se sobre o colchão outra chapa de aço galvanizada, revestida com papel vegetal.

A prensagem definitiva foi realizada em prensa de laboratório marca OMECO, acionada por pistão hidráulico com capacidade de 100 toneladas de aplicação de carga e pratos com dimensões de 60 x 60 cm, aquecida no prato inferior e superior por resistências elétricas submetidas a uma temperatura de 180 °C (Figura 5).

A pressão específica aplicada foi de 30 kgf/cm², e a temperatura dos pratos da prensa foi ajustado a 180 °C. O tempo de fechamento da prensa foi de aproximadamente 40 segundos, e o tempo total de prensagem necessário para a evaporação da água e cura do adesivo, 10 minutos.

Para controlar a espessura das chapas, foram utilizadas duas barras de aço com altura igual à desejada para a chapa (9,5 mm), colocadas nas bordas laterais do colchão, limitando, desta maneira, o fechamento da prensa.

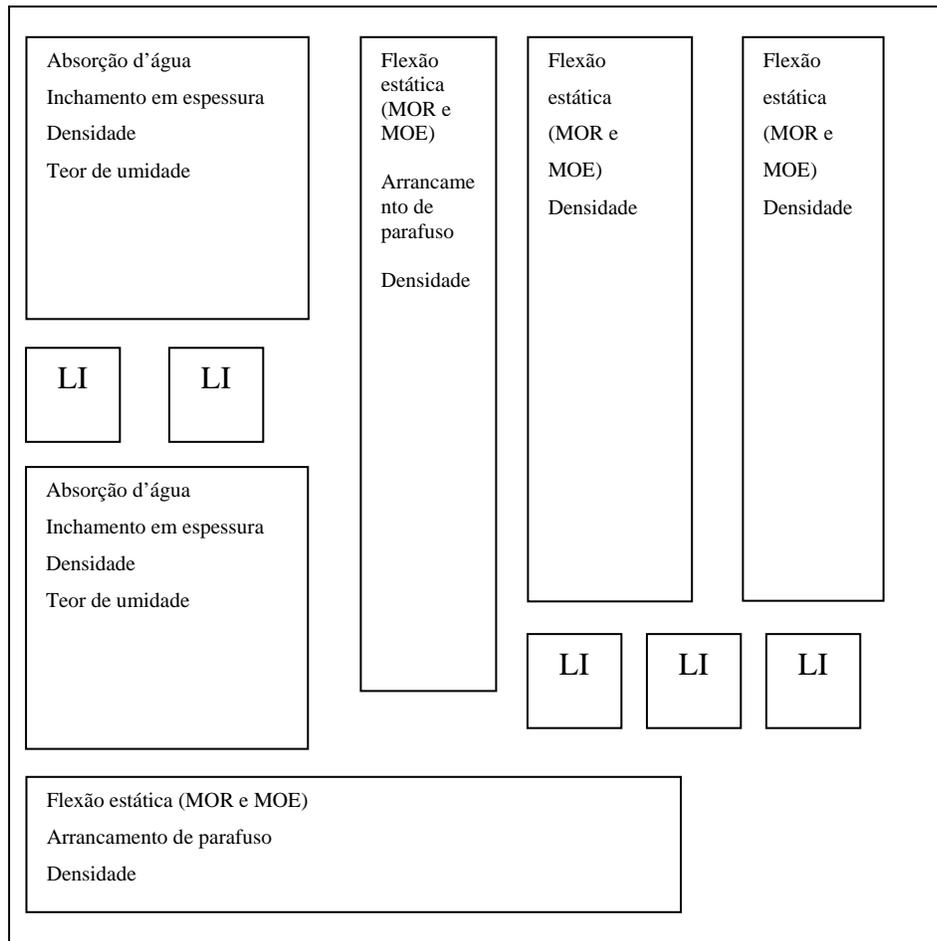


FIGURA 5. Prensa hidráulica

Após a prensagem, as chapas identificadas foram colocadas em câmara climatizada à temperatura de 20 °C e 65% de umidade relativa.

Posteriormente ao condicionamento, as chapas foram levadas à marcenaria da UFSM, para a confecção dos corpos de prova. Para isso, utilizou-se serra circular de 30 cm de diâmetro e 24 dentes tipo vídea.

Em seguida, os corpos de prova foram lixados em lixadeira manual e novamente armazenados na câmara climatizada a 20 °C e 65% de umidade relativa, até atingirem peso constante para posterior realização dos testes. O modelo de corte utilizado para a confecção dos corpos de prova pode ser visto na Figura 6.



Escala 1:4

Onde: LI = ligação interna

FIGURA 6. Modelo de corte das chapas para a confecção dos corpos de prova

3.3 Testes físicos e mecânicos

Todos os testes para avaliação da qualidade das chapas foram realizados de acordo com as recomendações da norma americana ASTM D1037 (1995), podendo serem feitas adaptações em função da disponibilidade de equipamentos.

Foram realizados os seguintes testes:

Propriedades mecânicas:

- flexão estática (Módulo de Ruptura e Módulo de Elasticidade);
- ligação interna;
- arrancamento de parafuso.

Propriedades físicas:

- absorção de água;
- inchamento em espessura.

Os ensaios mecânicos foram conduzidos em uma Máquina Universal de Ensaio, hidráulica, marca Amsler, com capacidade de 20 toneladas, pertencente ao Laboratório de Pesquisas Florestais (LPF) da UFSM (Figura 7). Os pares de carga e deformação foram alimentados automaticamente por uma placa de aquisição de dados, inserida em um computador IBM PC.



FIGURA 7. Máquina de ensaio universal

3.3.1 Flexão estática

Os testes de flexão estática foram conduzidos em corpos de prova de 30 e 25 cm de comprimento e 7,5 cm de largura. O vão entre os apoios foi de 24 vezes a espessura média dos corpos de prova (24 cm). Regulou-se a velocidade de aplicação da carga de acordo com a equação sugerida pela norma, que foi de 5 mm/minuto. Por meio de uma placa de aquisição de dados, os valores medidos coletados, foram transferidos diretamente para um computador IBM PC.

Para o teste de flexão, foi desenvolvido um software que possibilitou a construção do gráfico carga x deformação. Para os cálculos de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), utilizaram-se as seguintes equações:

$$\text{MOR} = \frac{3 \times P \times L}{2 \times b \times h^2} \quad (1)$$

$$\text{MOE} = \frac{b_1 \times L^3}{4 \times b \times h^3} \quad (2)$$

Onde: P = carga máxima aplicada (kgf); b_1 = coeficiente de inclinação da parte linear da curva carga x deformação (kgf/cm); L = vão entre os pontos de reação (cm); b = largura do corpo de prova (cm); h = espessura do corpo de prova (cm).

3.3.2 Tração perpendicular à superfície da chapa

Foram utilizados corpos de prova de 5 x 5 cm, com as faces coladas em blocos de metal com cola quente. Mediram-se as dimensões da área de esforço e, no momento da ruptura, registrou-se a carga máxima. A velocidade do teste foi ajustada, com base na espessura dos corpos de prova, em 0,7 mm/minuto.

Desta maneira, foram calculados os valores de ligação interna (LI) por meio da relação entre a carga máxima e a área de esforço, expressos em kgf/cm^2 .

3.3.3 Arrancamento de parafuso

Na realização deste teste, foram aproveitadas as extremidades dos corpos de prova do teste de flexão estática. As faces dos corpos de prova foram coladas para aumentar a espessura, e os parafusos com diâmetro de 3 mm foram introduzidos no centro do corpo de prova, em ângulo reto à superfície da chapa.

A velocidade do teste foi de 1,5 mm/minuto, registrando a carga máxima aplicada para o arrancamento do parafuso (AP), expressa em kgf.

3.3.4 Absorção d'água e inchamento em espessura

Nestes ensaios, foram utilizados corpos de prova de 15 x 15 cm, que foram submersos em água sob temperatura de 20 °C. Os corpos de

prova ficaram dispostos horizontalmente e mantidos submersos à mesma profundidade (25 mm).

Cada corpo de prova foi pesado, e a espessura foi medida em quatro pontos nas extremidades das peças, antes de serem mergulhados na água e após 2 horas e 24 horas de submersão.

Para a medição da espessura, foi utilizado um relógio comparador, adaptado especialmente para tal finalidade. As medidas de comprimento e largura foram feitas com paquímetro, e o peso foi determinado com balança analítica eletrônica.

Os cálculos das variáveis foram realizados conforme a norma D 1037 – 93 (ASTM, 1995), por meio das seguintes equações:

$$IE (\%) = \frac{\text{Espessura média final} - \text{Espessura média inicial}}{\text{Espessura média inicial}} \times 100 \quad (3)$$

$$Ab (\%) = \frac{\text{Peso médio final} - \text{Peso médio inicial}}{\text{Peso médio inicial}} \times 100 \quad (4)$$

Onde: IE (%) = inchamento em espessura e Ab (%) = absorção de água em peso.

Após as medições, os corpos de prova foram levados à estufa a 103 °C, para determinação do teor de umidade base peso seco. Assim, foram determinados os teores de umidade dos corpos de prova à umidade de equilíbrio (Tue), após 24 horas (Tue 24) submersos em água.

As variáveis obtidas neste teste foram inchamento em espessura 24 horas (IE 24) e absorção em peso 24 horas (Ab 24).

3.4. Modelo experimental e análise dos resultados

A Tabela 1 mostra as combinações empregadas para a confecção das chapas de partícula de palitos e serragem definidas como sendo tratamentos, três níveis de adesivo e três densidade. Para cada tratamento foi realizado 3 repetições.

Os resultados obtidos, após a realização dos testes, foram analisados pelo teste de correlação de médias e análise de regressão, relacionando-se os resultados dos testes com as variáveis do estudo.

A seleção dos melhores modelos foi realizada escolhendo os menores valores de P, Syx (erro padrão da estimativa), e os maiores valores de F, R^2 ajustado (coeficiente de determinação), além da análise do gráfico do resíduo.

TABELA 1. Tratamentos que foram utilizados na confecção das chapas

Tratamentos*	Tipo de partícula	Teor de adesivo (%)	Densidade (g/cm³)
1	Palito	4	0,55
2	Palito	8	0,55
3	Palito	12	0,55
4	Palito	4	0,65
5	Palito	8	0,65
6	Palito	12	0,65
7	Palito	4	0,75
8	Palito	8	0,75
9	Palito	12	0,75
10	Serragem	4	0,55
11	Serragem	8	0,55
12	Serragem	12	0,55
13	Serragem	4	0,65
14	Serragem	8	0,65
15	Serragem	12	0,65
16	Serragem	4	0,75
17	Serragem	8	0,75
18	Serragem	12	0,75

Onde: Palitos = fração de madeira com dimensões médias de 18,7 x 3,15 x 1,04 mm;

Serragem = fração de madeira com dimensões médias de 9,25 x 1,47 x 0,62 mm.

* cada tratamento foi realizado com 3 repetições

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Propriedades físicas das chapas de partículas

4.1.1 Densidade

Conforme a Tabela 2, os valores de densidade das chapas nos diferentes tratamentos variaram entre 0,48 e 0,61 g/cm³. Para as chapas com densidade nominal de 0,55 g/cm³, os valores obtidos variaram de 0,48 e 0,51 g/cm³; para chapas com densidade nominal de 0,65 g/cm³, a variação foi de 0,54 e 0,60 g/cm³; e para as chapas com 0,75 g/cm³ de densidade nominal, os valores encontrados variaram de 0,56 e 0,61 g/cm³.

Essa pequena variação encontrada nos valores de densidade entre os corpos de prova nos diferentes tratamentos já era prevista, pois a forma com que as chapas foram confeccionadas não foi totalmente homogênea devido à distribuição manual das partículas para a formação do colchão.

TABELA 2. Valores médios de densidade nominal e observada e teor de umidade do colchão encontrados para os diferentes tratamentos

Trat	TP	Tad (%)	DN (g/cm ³)	DO (g/cm ³)	Tuc (%)
1	Palito	4	0,55	0,48	10,15
2	Palito	8	0,55	0,51	10,72
3	Palito	12	0,55	0,51	10,40
4	Palito	4	0,65	0,54	10,42
5	Palito	8	0,65	0,60	10,37
6	Palito	12	0,65	0,57	10,27
7	Palito	4	0,75	0,56	9,65
8	Palito	8	0,75	0,59	10,20
9	Palito	12	0,75	0,61	10,56
10	Serragem	4	0,55	0,48	10,49
11	Serragem	8	0,55	0,50	11,07
12	Serragem	12	0,55	0,51	10,78
13	Serragem	4	0,65	0,54	11,36
14	Serragem	8	0,65	0,57	9,77
15	Serragem	12	0,65	0,59	10,30
16	Serragem	4	0,75	0,59	11,32
17	Serragem	8	0,75	0,58	10,14
18	Serragem	12	0,75	0,56	10,13

Onde: TP = tipo de partícula; Tad = teor de adesivo (%); DN = densidade nominal (g/cm³); DO = densidade observada (g/cm³); Tuc = teor de umidade do colchão (%)

De uma maneira geral, as densidades das chapas produzidas ficaram abaixo dos valores previstos, devido às condições de manufatura em laboratório, além da variação de densidade dos tipos de partículas utilizadas, considerando palito e serragem. Além disso, normalmente as chapas apresentam a tendência de liberar tensões de prensagem, o que causa aumento em espessura, por longos períodos após a prensagem.

Dacosta (2004) também verificou a variação de densidade em chapas produzidas com dois tipos de resíduos de madeira de *Pinus elliottii* (cavacos e maravalhas), sendo que pequenas variações destas densidades foram considerados como normais.

A variação ocorrida entre a densidade nominal e a densidade observada para cada tratamento pode ser observada na Figura 8.

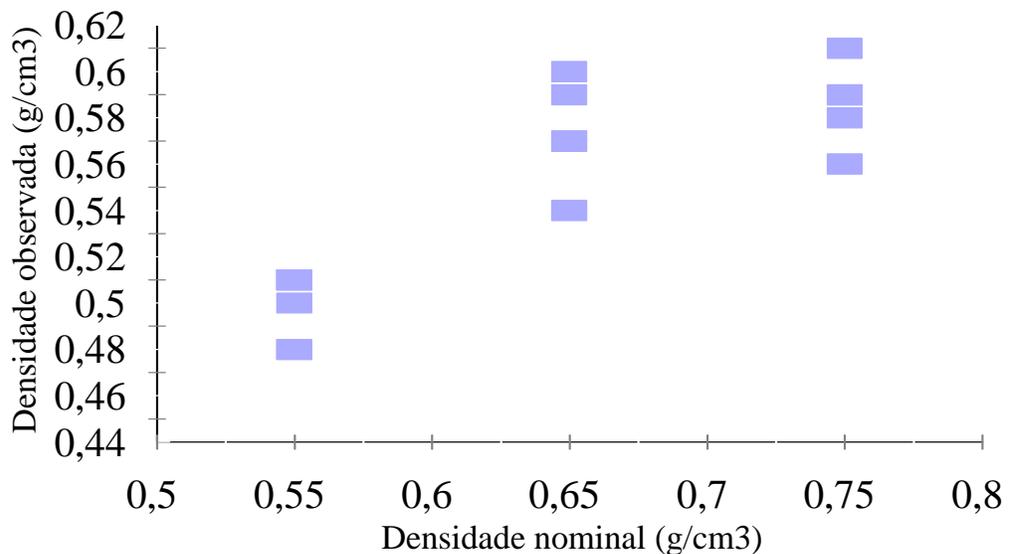


FIGURA 8. Valores de densidade média observada (DO) para os diferentes tratamentos para cada densidade nominal (DN)

Como pode ser observado na Figura 8, os valores de densidade observada tenderam a estabilizar com o aumento da densidade nominal.

4.1.2 Teor de umidade do colchão

O teor de umidade médio do colchão variou de 9,65 a 11,36 %, como mostra a Tabela 2. Essa variação ocorreu devido à quantidade de adesivo, parafina e água aplicada nas chapas. Esses produtos são, em pequena parte, perdidos por ficarem aderidos aos instrumentos utilizados durante a produção das chapas, como a pistola que aplica esses produtos nas partículas de madeira, na mangueira da pistola e no tambor rotativo misturador.

Durante a confecção das chapas, em todos os tratamentos, foi difícil a obtenção da umidade das partículas no colchão entre o valor pré-estabelecido de 11% de umidade nominal. Devido a isso, várias chapas de diferentes tratamentos foram refeitas, aumentando-se a quantidade da formulação da resina, para que o valor da umidade do colchão ficasse o mais próximo possível do valor pré-estabelecido.

Segundo Moslemi (1974), o teor de umidade ideal depende de inúmeros fatores, como a natureza do processo, tipo e dimensionamento das partículas, densidade da madeira, entre outros.

4.1.3 Teor de umidade das partículas

O teor de umidade, observado tanto para partículas tipo serragem como para palito, foi de 3,5 a 4,0 %, após a secagem em estufa a uma temperatura de 60 °C, por um período de 12 horas. Esse parâmetro foi controlado durante a manufatura das chapas através de amostragem.

4.2 Propriedades mecânicas das chapas de partículas

4.2.1 Resistência à flexão estática (MOR e MOE)

Em ensaios de flexão estática, o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são parâmetros utilizados, pois fornecem indicações da qualidade do material. Estes valores, segundo Dacosta (2004), são importantes visto que oferecem uma aproximação de resistência do material, servindo de comparação com os produtos comerciais similares encontrados no mercado.

A Tabela 3 apresenta os valores médios dos ensaios em flexão de MOR e MOE para os diferentes tratamentos, em função do tipo de partícula, teor de adesivo e densidade.

TABELA 3. Valores de MOR e MOE, encontrados para os diferentes tratamentos

Trat	TP	Tad (%)	DN (g/cm³)	DO (g/cm³)	Tuc (%)	MOR (kgf/cm²)	MOE (kgf/cm²)
1	Palito	4	0,55	0,48	10,15	38,08	5048
2	Palito	8	0,55	0,51	10,72	52,79	7248
3	Palito	12	0,55	0,51	10,40	59,83	7550
4	Palito	4	0,65	0,54	10,42	51,89	7820
5	Palito	8	0,65	0,60	10,37	86,29	10584
6	Palito	12	0,65	0,57	10,27	83,65	12633
7	Palito	4	0,75	0,56	9,65	74,41	12977
8	Palito	8	0,75	0,59	10,20	95,84	16206
9	Palito	12	0,75	0,61	10,56	95,71	15970
10	Serragem	4	0,55	0,48	10,49	42,76	7351
11	Serragem	8	0,55	0,50	11,07	55,08	10143
12	Serragem	12	0,55	0,51	10,78	54,55	7989
13	Serragem	4	0,65	0,54	11,36	53,99	8546
14	Serragem	8	0,65	0,57	9,77	63,61	10154
15	Serragem	12	0,65	0,59	10,30	94,17	12749
16	Serragem	4	0,75	0,59	11,32	68,63	12147
17	Serragem	8	0,75	0,58	10,14	100,86	14774
18	Serragem	12	0,75	0,56	10,13	100,44	18574

Onde: TP = tipo de partícula; Tad = teor de adesivo; DN = densidade nominal; DO = densidade observada; Tuc = teor de umidade do colchão; MOR = módulo de ruptura; MOE = módulo de elasticidade.

Pode-se observar que, para partículas tipo palito, os valores de MOR variaram entre 38,08 e 95,84 kgf/cm² e os valores de MOE, entre 5048 e 16206 kgf/cm².

De acordo com a norma ANSI A 208.1, as chapas de partícula de baixa (menor que 0,59 g/cm³) e média densidade (entre 0,59 e 0,80 g/cm³) admitem valores mínimos requeridos de MOR entre 56 e 112 kgf/cm² e de MOE, entre 10561 e 17602 kgf/cm².

Desta maneira, os valores obtidos de MOR nos ensaios para partículas do tipo palitos superaram os limites requeridos pela norma, com exceção dos tratamentos 1, 2 e 4, nos quais os valores ficaram abaixo deste limites.

Iwakiri *et al.* (2000), analisando chapas produzidas com resíduos de madeira de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citridora* e *Eucalyptus pilularis*, constatou que os melhores resultados de módulo de ruptura foram obtidos através das chapas produzidas com a madeira de *Eucalyptus saligna*.

Para o MOE, os tratamentos 4, 5, 6, 7, 8 e 9 obtiveram os valores dentro dos limites mínimos requeridos pela norma, sendo que, nos demais tratamentos, os baixos valores de MOE podem ser explicados pela menor densidade das chapas produzidas. Neste sentido, Hillig (2000), diz que à medida que aumenta a densidade da chapa aumentam o MOR e MOE, independentemente da espécie de madeira ou mistura utilizada.

Para os tratamentos que usaram partículas do tipo serragem, os valores obtidos para MOR variaram entre 42,76 e 100,86 kgf/cm² e, para MOE, entre 7351 e 18574 kgf/cm².

Como pode-se observar, os valores de MOR e MOE, nos tratamentos 14, 15, 16, 17 e 18, superaram os limites requeridos pela norma e, nos tratamentos 10, 11, 12 e 13, os valores foram inferiores.

Desta maneira, pode-se considerar que a variação ocorrida para os tratamentos com partículas tipo serragem também se deve à variação da densidade da chapa, assim como para os tratamentos com partículas tipo palitos.

A influência da densidade da chapa sobre o módulo de elasticidade e de ruptura é relatado, por Kelly (1977), Stewart & Lehmann (1959) e Vital *et al.* (1974), que com um aumento da densidade da chapa aumenta ambas as propriedades.

Além da densidade, o teor de adesivo também influenciou na variação dos valores de MOR e MOE, tanto para partículas tipo palito como serragem. Observou-se que, com o aumento do teor de adesivo aplicado nas chapas, os valores de MOR aumentaram, conforme o modelo ajustado para MOR mostrado nas Figuras 11 e 12.

Para MOE, os valores também aumentaram com o teor de adesivo, conforme modelo ajustado para o MOE, mostrado nas Figuras 15 e 16.

Da mesma forma, Dacosta (2004), Hillig (2000) e Haselein (1989) observaram que, com o aumento do teor de adesivo e da densidade das chapas, os valores de MOR e MOE aumentam.

Os maiores valores de MOR e MOE foram obtidos com as chapas fabricadas com partículas tipo serragem. Isso foi constatado pois, comparadas às partículas tipo palito, as partículas serragem são mais finas e menos espessas, e desta maneira, mais flexíveis, o que favorece a colagem e a estrutura final da chapa.

Segundo Haselein & Pauleski (2004), a forma das partículas influencia não apenas as propriedades físicas, como também as mecânicas. O módulo de elasticidade aumenta à medida que a relação comprimento/espessura aumenta.

As correlações entre as propriedades de flexão estática das chapas definidas pelo MOR e o MOE e as variáveis independentes analisadas para as partículas tipo palito e serragem são apresentadas nas Tabelas 4 e 5, respectivamente.

TABELA 4. Correlação de Pearson entre as propriedades de flexão e as variáveis de fabricação das chapas para partícula tipo palito

Correlações	Teor de adesivo (%)	Densidade observada (g/cm³)	MOR (kgf/cm²)	MOE (kgf/cm²)
MOR (kgf/cm²)	0,427(**)	0,598(**)	1	
MOE (kgf/cm²)	0,314(**)	0,530(**)	0,859(**)	1

Onde: **Correlação significativa a 1% de probabilidade; ns = correlação não-significativa a 5% de probabilidade; MOR = módulo de ruptura; MOE = módulo de elasticidade.

A análise apresentado na Tabela 4 mostra o MOR e o MOE valores de correlação significativos para o teor de adesivo e densidade observada, nos tratamentos que utilizaram partícula tipo palito.

Para o teor de adesivo, os valores de correlação MOR e MOE foram de 0,427, significativo à probabilidade de 0,001 e 0,314, à probabilidade de 0,021, respectivamente, indicando que, quando aumenta a proporção de adesivo, o MOE e o MOR aumentam.

Iwakiri *et al.* (2000) também constataram que as chapas de *Eucalyptus saligna* com 12% de adesivo foram as que apresentaram melhores valores de módulo de ruptura, comparadas às produzidas com 8% de resina.

Quanto à densidade observada, há uma correlação de 0,598 e 0,530, significativos à probabilidade menor que 0,0001. Assim, da mesma forma que o teor de adesivo, aumentando-se a densidade observada aumentam os valores de MOR e MOE.

TABELA 5. Correlação de Pearson entre as propriedades de flexão e as variáveis de fabricação das chapas para partícula tipo serragem

Correlações	Teor de adesivo (%)	Densidade observada (g/cm³)	MOR (kgf/cm²)	MOE (kgf/cm²)
MOR (kgf/cm²)	0,464(**)	0,733(**)	1	
MOE (kgf/cm²)	0,386(**)	0,643(**)	0,822(**)	1

Onde: **Correlação significativa a 1% de probabilidade; ns = correlação não-significativa a 5% de probabilidade; MOR = módulo de ruptura; MOE = módulo de elasticidade.

A Tabela 5, mostra que o MOR e o MOE apresentaram valores de correlação significativos para teor de adesivo e densidade observada nos tratamentos com partícula tipo serragem.

Para teor de adesivo, o valor de correlação para MOR e MOE foi de 0,464 e 0,386, significativos à probabilidade menor que 0,0001, respectivamente, significando que, quando aumenta a proporção de adesivo, os valores de MOR e MOE aumentam também.

Já quanto à densidade, há uma correlação de 0,733 e 0,643, à probabilidade inferior a 0,0001, respectivamente, demonstrando que, com o aumento da densidade da chapa, aumentam os valores de MOR e MOE.

Considerando todos os valores obtidos, tanto para partícula do tipo palito quanto serragem, o ajuste do modelo de MOR e MOE, em função do teor de adesivo e densidade, passa a ser significativo.

A variável que melhor se relacionou com o MOR e o MOE foi a densidade real das chapas produzidas com tipo de partícula serragem. Isto também foi verificado por Hillig (2000) que a densidade da chapa obteve valor de correlação elevado para MOR e MOE .

As Figuras 9, 10, 11 e 12 ilustram as relações de MOR e MOE, respectivamente ajustados em função do teor de adesivo e densidade observada.

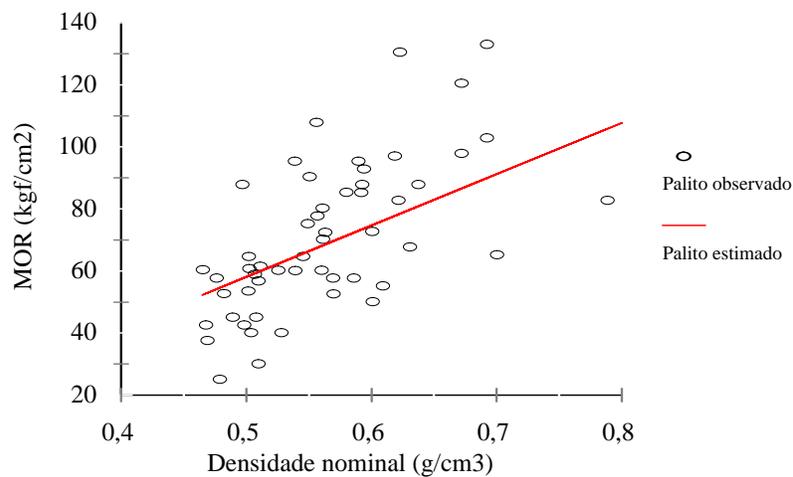


FIGURA 9. Valores de MOR, observados e ajustados em função da densidade nominal, partícula tipo palito e teor de adesivo igual a 8%

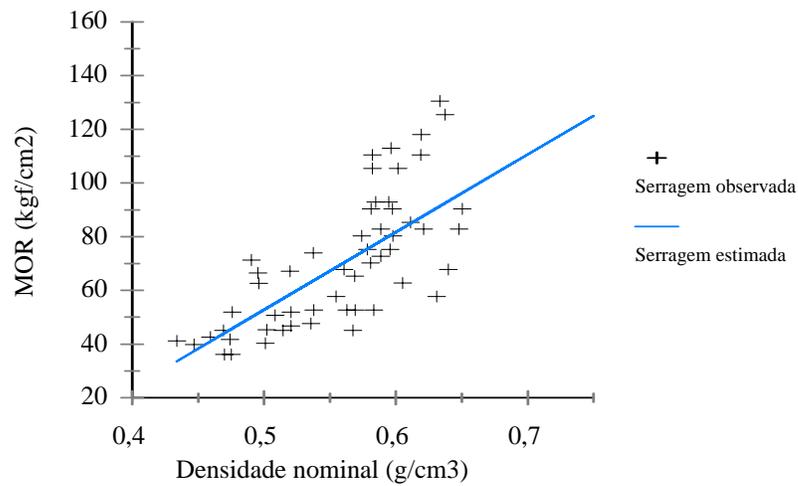


FIGURA 10. Valores de MOR, observados e estimados em função da densidade nominal, partícula tipo serragem e teor de adesivo igual a 8%

Como observado na Figura 9 e 10, as chapas fabricadas com partícula tipo palito e serragem obtiveram efeito similares para os valores de MOR com o aumento da densidade.

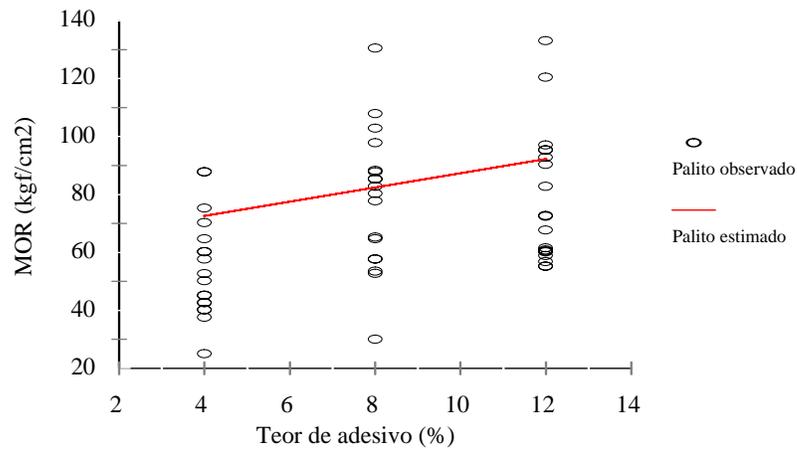


FIGURA 11. Valores de MOR, observados e estimados em função do teor de adesivo, partícula tipo palito e densidade igual a $0,65 \text{ g/cm}^3$

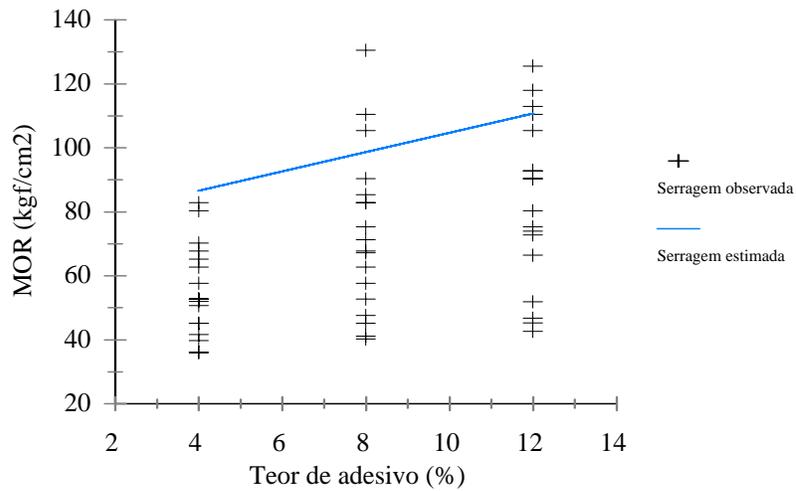


FIGURA 12. Valores de MOR, observados e estimados em função do teor de adesivo, partícula tipo serragem e densidade igual a $0,65 \text{ g/cm}^3$

Para o aumento do teor de adesivo, o efeito das chapas produzidas com partículas tipo palito e serragem também apresentaram efeito similar em relação aos valores de MOR, conforme mostram as Figuras 11 e 12.

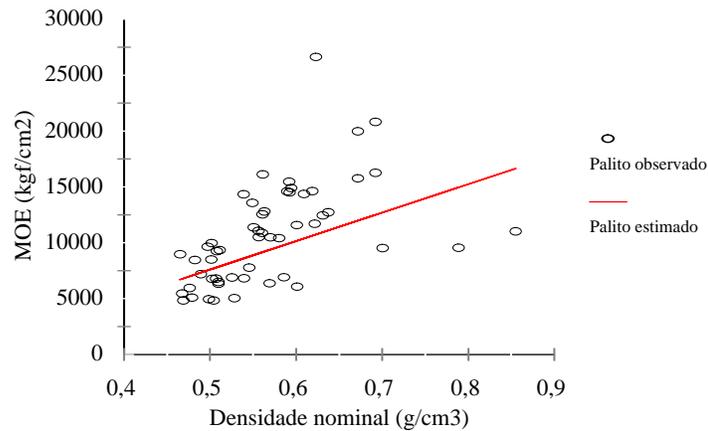


FIGURA 13. Valores de MOE, observados e ajustados em função da densidade observada, partícula tipo palito e teor de adesivo igual a 8%

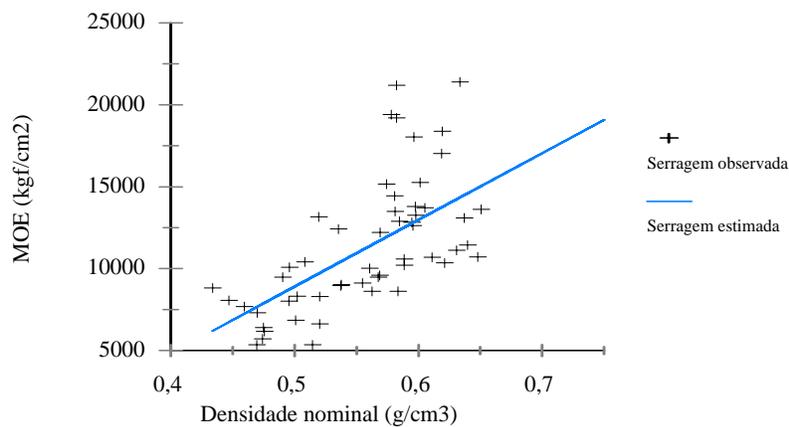


FIGURA 14. Valores de MOE, observados e ajustados em função da densidade observada, partícula tipo serragem e teor de adesivo igual a 8%

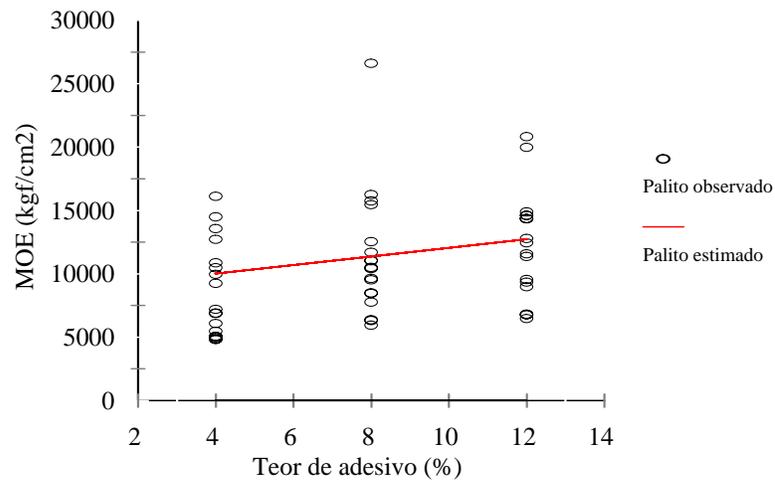


FIGURA 15. Valores de MOE, observados e ajustados em função do teor de adesivo, partícula tipo palito e densidade igual a $0,65 \text{ g/cm}^3$

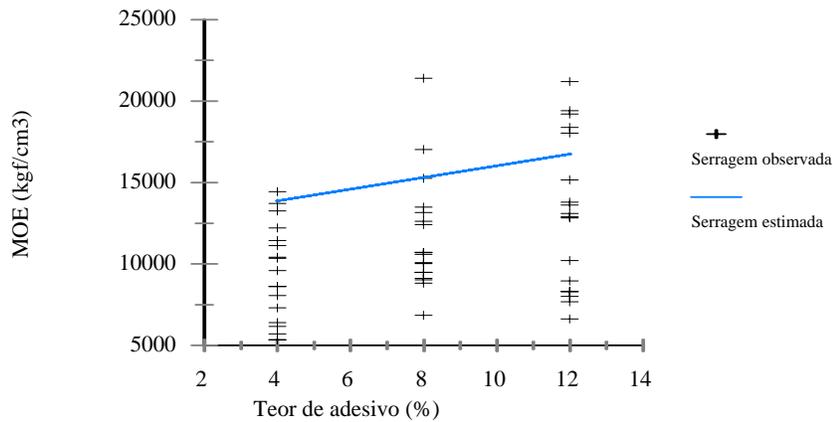


FIGURA 16. Valores de MOE, observados e ajustados em função do teor de adesivo, partícula tipo serragem e densidade igual a $0,65 \text{ g/cm}^3$

Observando as Figuras 13 e 14, o efeito do MOE para chapas produzidas com partículas tipo palito e serragem foi similar com o aumento da densidade.

Por outro lado, com o aumento do teor de adesivo o maior efeito de MOE foi encontrado para as chapas produzidas com partículas tipo serragem, como pode ser visto nas Figuras 15 e 16.

As equações ajustadas de MOR, MOE, ligação interna, arrancamento de parafuso, absorção e inchamento 24 horas em função do teor de adesivo e densidade, tanto para chapas produzidas com partículas tipo palito quanto para serragem, podem ser vistas nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

TABELA 6. Equações ajustadas para as propriedades das chapas em função das variáveis de fabricação para partícula do tipo palito

Propriedades	Equação ajustada	F	Syx	R ² aj.(%)	R ² (%)	DW
MOR	$\sqrt{MOR} = 1,85883+0,135758*tad+9,42257*Do$	21,26	1,0761	43,323	-	1,15582
MOE	$\sqrt{MOE} = 13,093+1.56985*tad+124,111*Do$	16,26	0,16015	36,5472	-	0,860501
LI	$\sqrt{LI} = -0,945833+2,74726*Do+0,0844171*tad$	157,4	0,23534	70,0094	-	1,28568
AP	$\sqrt{AP} = 3,62317+5,01909*Do+0,117331*tad$	12,75	0,89504	30,7221	-	1,15419
Ab 24	$\sqrt{Ab24} = 13,2999-9,96154*Do$	35,37	0,60725	-	40,4856	1,62245
IE 24	$\sqrt{IE24} = 7,3321-0,198147*tad$	71,57	0,56211	-	57,9192	1,29675

Onde: Tad = teor de adesivo(%); Do = densidade observada (g/cm³); MOR =módulo de ruptura (kgf/cm²); MOE= módulo de elasticidade (kgf/cm²); LI = ligação interna(kgf); AP = resistência ao arrancamento de parafuso (kgf); Ab 24 = absorção em peso 24 horas de imersão (%); IE 24 = inchamento em espessura 24 horas de imersão; F = teste de F; Syx = erro padrão da estimativa; R²aj. e R² = coeficientes de determinação; DW = teste de Durbin-Watson.

TABELA 7. Equações ajustadas para as propriedades das chapas em função das variáveis de fabricação para partícula do tipo serragem

Propriedades	Equação ajustada	F	Syx	R ² aj.(%)	R ² (%)	DW
MOR	$\sqrt{MOR} = 91719+0,151872*tad+17,8852*Do$	52,32	0,838442	66,8048	-	1,65466
MOE	$\sqrt{MOE} = -16,0532+1,44905*tad+197,148*Do$	25,04	12,9785	48,5246	-	1,12598
LI	$\sqrt{LI} = -0,286142+1,581*Do+0,085884*tad$	93,00	0,261935	57,8603	-	0,99891
AP	$\sqrt{AP} = 2,19916+8,0614*Do+0,139095*tad$	19,98	0,812548	41,7317	-	1,75339
Ab 24	$\sqrt{Ab24} = 8,92045-0,159994*tad$	46,32	0,564194	-	47,1117	0,719438
IE 24	$\sqrt{IE24} = 7,09529-0,209764*tad$	133,9	0,435015	-	72,0324	1,38807

Onde: Tad = teor de adesivo(%); Do = densidade observada (g/cm³); MOR = módulo de ruptura (kgf/cm²); MOE= módulo de elasticidade (kgf/cm²); LI = ligação interna(kgf); AP = resistência ao arrancamento de parafuso (kgf); Ab 24 = absorção em peso 24 horas de imersão (%); IE 24 = inchamento em espessura 24 horas de imersão; F = teste de F; Syx = erro padrão da estimativa; R²aj. e R² = coeficientes de determinação; DW = teste de Durbin-Watson.

4.2.2 Tração perpendicular à superfície da chapa (ligação interna)

O ensaio de tração perpendicular tem o objetivo de definir a adesão interna das partículas em um corpo-de-prova (Campos & Lahr, 2004).

A Tabela 8 apresenta os valores médios de tração perpendicular à superfície da chapa obtidos nos diferentes tratamentos, considerando o efeito do tipo de partícula, teor de adesivo e densidade. Como pode ser observado, os valores de resistência à tração perpendicular avaliados nas chapas variaram entre 0,36 e 3,04 kgf/cm².

A norma ANSI A 208.1, nos ensaios de resistência à tração perpendicular das chapas de partículas de baixa (menor que 0,59 g/cm³) e média densidade (0,59 e 0,80 g/cm³), estabelece como valores mínimos de resistência 1,40 e 4,22 kgf/cm², respectivamente. Desta maneira, os valores obtidos nos tratamentos 1, 4, 7, 10, 13, 14 e 16 não atingiram o valor mínimo requerido, ao passo que os demais tratamentos superaram os valores mínimos requeridos.

Os maiores valores de ligação interna foram conseguidos com as chapas produzidas com 12% de adesivo, e os mais baixos, com aquelas produzidas com teor de adesivo de 4%. Desta maneira, pode-se concluir que um dos fatores responsáveis pela baixa resistência de colagem é o teor de adesivo, tanto para palitos quanto para serragem.

TABELA 8. Valores médios de ligação interna (LI) encontrados para os diferentes tratamentos.

Trat	TP	Tad (%)	DN (g/cm³)	DO (g/cm³)	Tuc (%)	LI (kgf/cm²)
1	Palito	4	0,55	0,48	10,15	0,46
2	Palito	8	0,55	0,51	10,72	1,41
3	Palito	12	0,55	0,51	10,40	2,13
4	Palito	4	0,65	0,54	10,42	0,76
5	Palito	8	0,65	0,60	10,37	1,75
6	Palito	12	0,65	0,57	10,27	2,41
7	Palito	4	0,75	0,56	9,65	0,95
8	Palito	8	0,75	0,59	10,20	1,45
9	Palito	12	0,75	0,61	10,56	3,04
10	Serragem	4	0,55	0,48	10,49	0,36
11	Serragem	8	0,55	0,50	11,07	1,59
12	Serragem	12	0,55	0,51	10,78	2,72
13	Serragem	4	0,65	0,54	11,36	1,05
14	Serragem	8	0,65	0,57	9,77	1,35
15	Serragem	12	0,65	0,59	10,30	2,32
16	Serragem	4	0,75	0,59	11,32	1,19
17	Serragem	8	0,75	0,58	10,14	1,97
18	Serragem	12	0,75	0,56	10,13	2,90

Onde: TP = tipo de partícula; Tad = teor de adesivo; DN = densidade nominal; DO = densidade observada; Tuc = teor de umidade do colchão; LI = ligação interna.

Em estudo realizado por Haselein (1989), foi encontrada baixa resistência de colagem para painéis aglomerados fabricados com madeira de eucalipto.

Por outro lado, Dacosta (2004) obteve o maior valor de ligação interna com o uso do adesivo em proporção de 12%, independentemente do tipo de resíduo.

Além do teor de adesivo, outro fator que também influenciou nos valores de ligação interna foi a densidade das chapas. As chapas produzidas com densidade $0,75 \text{ g/cm}^3$ apresentaram os melhores valores. Já para as produzidas com $0,55 \text{ g/cm}^3$, foram encontrados valores bem menores de ligação interna.

Muitos pesquisadores têm obtido altos valores de ligação interna com o incremento da densidade das chapas. Sobre isto, Brito (1984) verificou, uma tendência clara de a ligação interna em aumentar com o aumento da densidade das chapas, ao estudar a ligação interna para *Pinus patula*, *Pinus taeda* e *Pinus elliottii*.

Da mesma forma, Alberto & Keinert Jr (1993) observaram também que chapas mais densas apresentam valores mais altos de ligação interna.

As correlações entre a propriedade de ligação interna, o teor de adesivo e a densidade da chapa para partícula tipo palito e serragem podem ser vistas nas Tabelas 9 e 10, respectivamente.

TABELA 9. Correlação de Pearson entre a ligação interna e as variáveis de fabricação das chapas usando partícula tipo palito

Correlações	Teor de adesivo (%)	Densidade observada (g/cm³)	LI (kgf/cm²)
Teor de adesivo (%)	1		
Densidade observada (g/cm²)	0,236(**)	1	
LI (kgf/cm²)	0,732(**)	0,530(**)	1

Onde: **Correlação significativa a 1% de probabilidade; ns = correlação não-significativa a 5% de probabilidade; LI = ligação interna.

A Tabela 9 evidencia que a ligação interna apresentou valores de correlação significativos para as variáveis, independentes do teor de adesivo e da densidade observada. As chapas produzidas com partículas tipo palito, em relação ao teor de adesivo, apresentaram valor de correlação de 0,732, significativo à probabilidade inferior a 0,0001, indicando que, com o aumento da proporção de adesivo, a ligação interna também aumenta na chapa.

Com relação à variável densidade observada, o valor de correlação obtido para ligação interna foi de 0,530, significativo à probabilidade menor que 0,0001, revelando que, com o aumento da densidade observada, a ligação interna das chapas aumenta.

TABELA 10. Correlação de Pearson entre a ligação interna e as variáveis de fabricação das chapas usando partícula tipo serragem

Correlações	Teor de adesivo (%)	Densidade observada (g/cm³)	LI (kgf/cm²)
Teor de adesivo (%)	1		
Densidade observada (g/cm²)	0,167 (ns)	1	
LI (kgf/cm²)	0,728(**)	0,307(**)	1

Onde: **Correlação significativa a 1% de probabilidade; ns = correlação não-significativa a 5% de probabilidade; LI = ligação interna.

Em relação às chapas produzidas com partícula tipo serragem, o valor de correlação obtido para teor de adesivo foi de 0,728, significativo à probabilidade menor que 0,0001, e, para densidade observada, o valor de correlação foi de 0,307, à probabilidade menor que 0,0001, indicando que, com o aumento da proporção de adesivo e da densidade observada, aumenta a ligação interna.

O melhor modelo de regressão linear ajustado inclui o teor de adesivo e a densidade observada, para chapas produzidas com os dois tipos de resíduos (palito e serragem), com valor de probabilidade inferior a 0,0001, demonstrando que há uma relação de significância entre as variáveis, para um nível de confiança de 99,9%.

As Figuras 17, 18, 19 e 20 mostram gráficos com o modelo de regressão para ligação interna, com valores ajustados em função do teor de adesivo e da densidade observada, respectivamente.

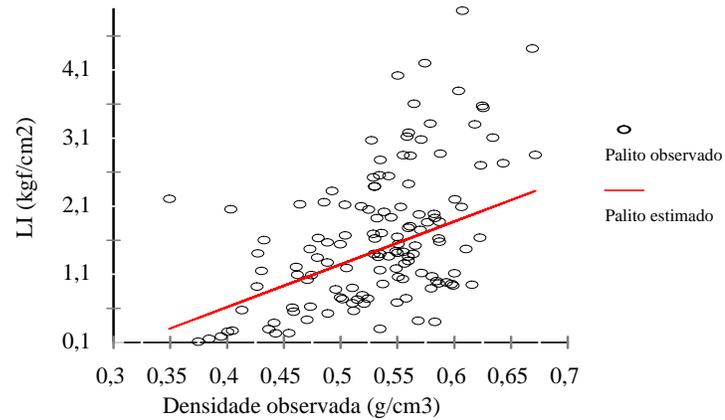


FIGURA 17. Valores de ligação interna, observados e estimados em relação a densidade, partícula tipo palito e teor de adesivo de 8%

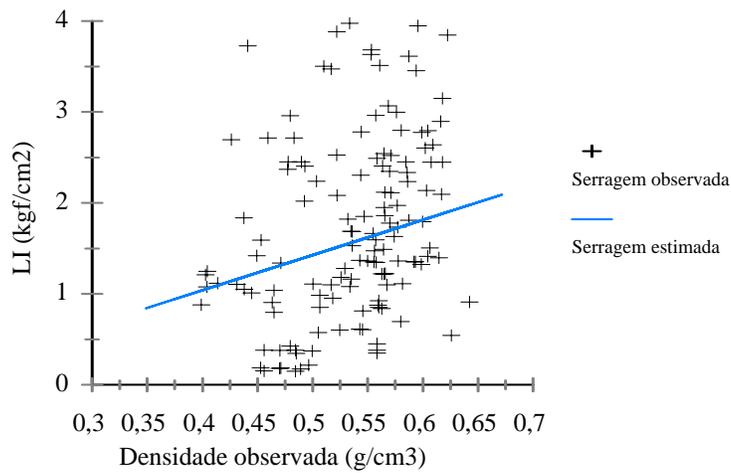


FIGURA 18. Valores de ligação interna, observados e estimados em relação a densidade, partícula tipo serragem e teor de adesivo de 8%

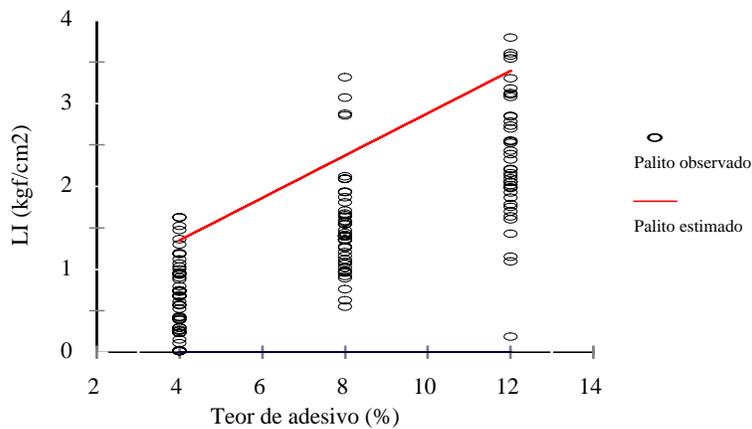


FIGURA 19. Valores de ligação interna, observados e estimados em função do teor de adesivo, partícula tipo palito e densidade de $0,65 \text{ g/cm}^3$

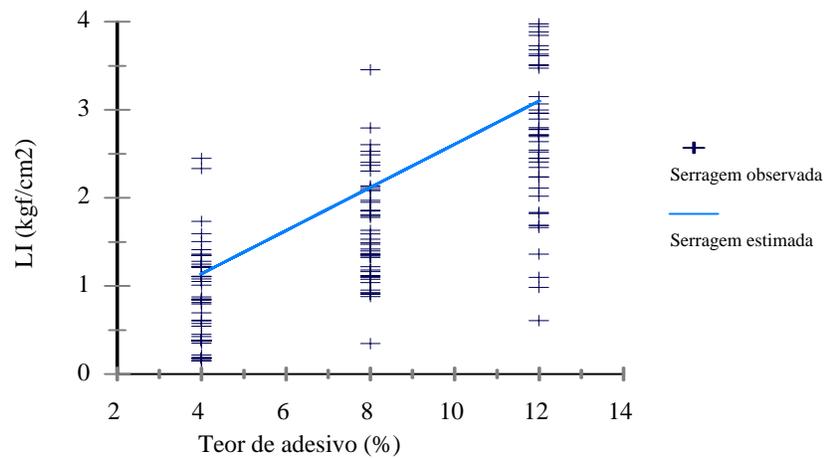


FIGURA 20. Valores de ligação interna, observados e estimados em função do teor de adesivo, partícula tipo serragem e densidade de 0,65 g/cm³

Conforme as Figuras 17, 18, 19 e 20, o efeito de ligação interna foi similar para as chapas produzidas com partículas tipo palito e serragem com o aumento da densidade e do teor de adesivo.

4.2.3 Arrancamento de parafuso

A Tabela 11 apresenta os valores obtidos nos ensaios de arrancamento de parafuso para os diferentes tratamentos.

Observa-se que os valores médios de arrancamento de parafuso ficaram entre 34 e 80 kgf.

A norma ANSI A 208.1 admite valores mínimos requeridos de resistência para este ensaio de 61 e 102 kgf para chapas de partículas de baixa (menor que $0,59 \text{ g/cm}^3$) e média densidade (entre $0,59$ e $0,8 \text{ g/cm}^3$).

Desta maneira, apenas os tratamentos 2, 5, 6, 8, 9, 15, 17 e 18 superaram o valor mínimo requerido pela norma. Já nos demais tratamentos, os valores ficaram abaixo do valor mínimo. Nos ensaios efetuados para as chapas produzidas com tipo de partícula palito, os melhores valores de resistência ocorreram para chapas de maior densidade ($0,75 \text{ g/cm}^2$), enquanto que, para chapas produzidas com serragem, as com $0,65 \text{ g/cm}^3$ de densidade foram as que atingiram os maiores valores. Para chapas de densidade $0,55 \text{ g/cm}^3$, os valores obtidos foram inferiores ao requerido pela norma.

Além da densidade, o teor de adesivo também influenciou na resistência ao arrancamento de parafuso, pois, com o aumento da quantidade de adesivo aplicado nas chapas os valores de resistência também aumentaram.

TABELA 11. Valores médios de arrancamento de parafusos (AP) para os diferentes tratamentos

Trat	TP	Tad (%)	DN (g/cm³)	DO (g/cm³)	Tuc (%)	AP (kgf)
1	Palito	4	0,55	0,48	10,15	39
2	Palito	8	0,55	0,51	10,72	62
3	Palito	12	0,55	0,51	10,40	55
4	Palito	4	0,65	0,54	10,42	49
5	Palito	8	0,65	0,60	10,37	70
6	Palito	12	0,65	0,57	10,27	72
7	Palito	4	0,75	0,56	9,65	60
8	Palito	8	0,75	0,59	10,20	72
9	Palito	12	0,75	0,61	10,56	80
10	Serragem	4	0,55	0,48	10,49	34
11	Serragem	8	0,55	0,50	11,07	49
12	Serragem	12	0,55	0,51	10,78	47
13	Serragem	4	0,65	0,54	11,36	48
14	Serragem	8	0,65	0,57	9,77	53
15	Serragem	12	0,65	0,59	10,30	80
16	Serragem	4	0,75	0,59	11,32	58
17	Serragem	8	0,75	0,58	10,14	71
18	Serragem	12	0,75	0,56	10,13	65

Onde: TP = tipo de partícula; Tad = teor de adesivo; DN = densidade nominal; DO = densidade observada; Tuc = teor de umidade do colchão; AP = resistência ao arrancamento de parafusos.

Isto, também, foi verificado por Dacosta (2004) que com o aumento do teor de adesivo e da densidade, a resistência ao arrancamento de parafusos das chapas aumentam.

O tipo de partícula (palito e serragem) utilizada não influenciou na resistência ao arrancamento de parafuso.

Resultados semelhantes foram obtidos por Vital *et al.* (1992), onde a resistência ao arrancamento de parafuso em chapas de partículas e de flocos não foi afetada pela geometria da matéria-prima.

As correlações entre a propriedade de resistência ao arrancamento de parafuso da chapa e as variáveis analisadas para partícula tipo palito e serragem podem ser vistas nas Tabelas 12 e 13, respectivamente.

TABELA 12. Correlação de Pearson entre as propriedades de resistência ao arrancamento de parafuso e as variáveis de fabricação das chapas para partícula tipo palito

Correlações	Teor de adesivo (%)	Densidade observada (g/cm³)	AP (kgf)
Teor de adesivo (%)	1		
Densidade observada (g/cm²)	0,246 (ns)	1	
AP (kgf)	0,428(**)	0,603(**)	1

Onde: **Correlação significativa a 1% de probabilidade; ns = correlação não-significativa a 5% de probabilidade; AP = arrancamento de parafuso.

Conforme a Tabela 12, ocorreu correlação significativa no arrancamento de parafuso com teor de adesivo e densidade observada para chapas produzidas com partícula tipo palito.

Para o teor de adesivo, o valor de correlação foi de 0,428 e, para densidade, foi de 0,603, ambos com probabilidade inferior a 0,0001. Isto indica que, com o aumento da proporção de adesivo e da densidade observada, a resistência no arrancamento também aumenta.

TABELA 13. Correlação de Pearson entre as propriedades de arrancamento de parafuso e as variáveis de fabricação das chapas para partícula tipo serragem

Correlações	Teor de adesivo (%)	Densidade observada (g/cm³)	AP (kgf)
Teor de adesivo (%)	1		
Densidade observada (g/cm²)	0,170(ns)	1	
AP (kgf)	0,457(**)	0,758(**)	1

Onde: **Correlação significativa a 1% de probabilidade; ns = correlação não-significativa a 5% de probabilidade; AP = arrancamento de parafuso.

De acordo com a Tabela 13, as chapas produzidas com partícula tipo serragem tiveram correlação 0,457 para teor de adesivo, significativa à probabilidade igual a 0,001. Deste modo, conclui-se que, quanto mais

elevado o teor de adesivo, maior a resistência ao arrancamento de parafuso, dentro dos limites deste estudo.

Para a densidade, há correlação de 0,758, à probabilidade menor que 0,0001, revelando que, com o aumento da densidade, ocorre o aumento da resistência ao arrancamento de parafuso.

Os modelos de regressão linear utilizados para os dois tipos de partículas (palito e serragem) incluem o teor de adesivo e a densidade com valor de probabilidade menor que 0,01, significando que a significância estatística entre as variáveis está a um nível de confiança de 99,9%.

As Figuras 21 e 22 mostram os gráficos com valores de resistência ao arrancamento de parafuso ajustados em função do teor de adesivo para chapas produzidas com partícula tipo palito e serragem, respectivamente.

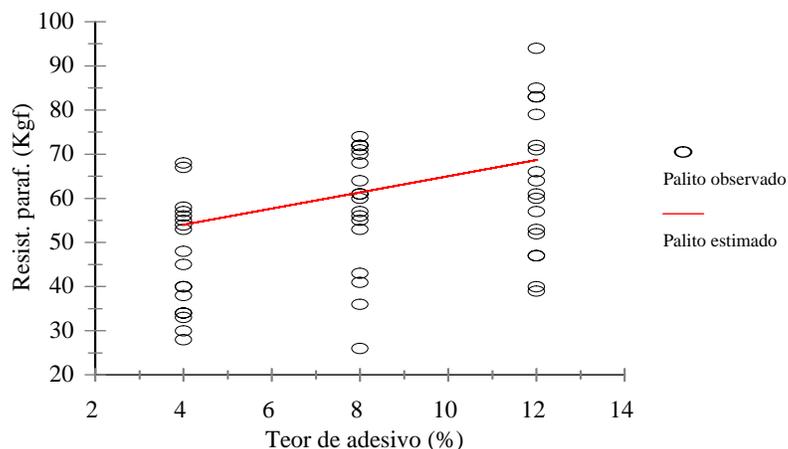


FIGURA 21. Valores de resistência ao arrancamento de parafuso observados e estimados em função do teor de adesivo, partícula tipo palito e densidade de 0,65 g/cm³

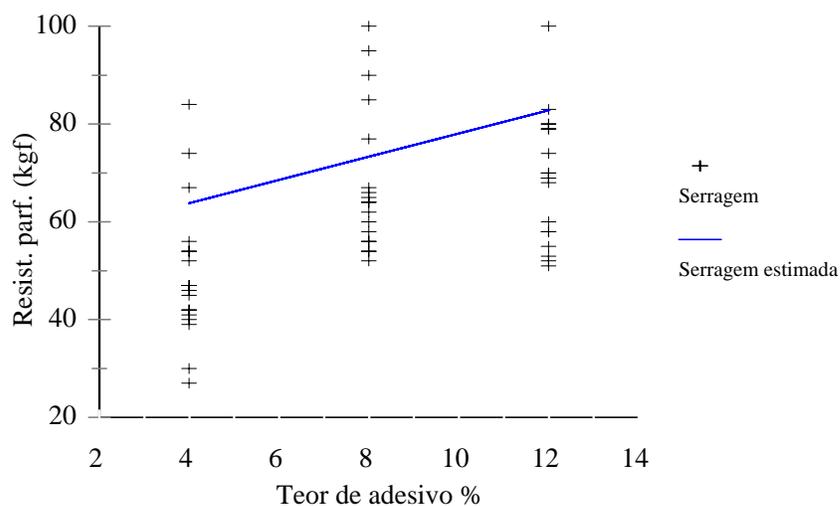


FIGURA 22. Valores de resistência ao arrancamento de parafuso observados e estimados em função do teor de adesivo, partícula tipo serragem e densidade de $0,65 \text{ g/cm}^3$

Conforme os modelos estimados nas Figuras 21 e 22, o maior efeito do teor de adesivo na resistência ao arrancamento de parafuso foi encontrado nas chapas produzidas com partículas tipo serragem.

4.3 Propriedades físicas das chapas relacionadas com as variáveis de fabricação

4.3.1 Absorção d'água

Os efeitos da umidade sobre as chapas causam alterações nas suas propriedades, impossibilitando seu uso em ambientes externos ou com fins estruturais. A absorção, assim como o inchamento em espessura é afetada pela umidade e temperatura de exposição (Dacosta, 2004).

A Tabela 14 mostra os valores médios de absorção d'água, após 24 horas de imersão, sendo que os valores médios oscilaram entre 41,05 e 81,48%.

TABELA 14. Valores médios de absorção de água encontrados para os diferentes tratamentos

Trat	TP	Tad (%)	DN (g/cm³)	DO (g/cm³)	Tue (%)	Ab 24 (%)
1	Palito	4	0,55	0,48	12,97	73,21
2	Palito	8	0,55	0,51	13,22	65,79
3	Palito	12	0,55	0,51	20,44	78,20
4	Palito	4	0,65	0,54	12,72	64,76
5	Palito	8	0,65	0,60	13,02	57,09
6	Palito	12	0,65	0,57	12,43	57,48
7	Palito	4	0,75	0,56	12,63	58,04
8	Palito	8	0,75	0,59	11,94	51,13
9	Palito	12	0,75	0,61	12,29	46,81
10	Serragem	4	0,55	0,48	12,96	81,48
11	Serragem	8	0,55	0,50	13,03	65,11
12	Serragem	12	0,55	0,51	13,07	52,30
13	Serragem	4	0,65	0,54	12,30	65,13
14	Serragem	8	0,65	0,57	12,53	62,79
15	Serragem	12	0,65	0,59	13,17	54,50
16	Serragem	4	0,75	0,59	12,43	60,20
17	Serragem	8	0,75	0,58	12,49	53,64
18	Serragem	12	0,75	0,56	12,07	41,05

Onde: TP = tipo de partícula; Tad = teor de adesivo; DN = densidade nominal; DO = densidade observada; Tue = teor de umidade de equilíbrio Ab 24 = absorção em peso 24 horas de imersão.

Os menores valores foram encontrados para os tratamentos que utilizaram 12% de adesivo. Já os tratamentos com apenas 4% de adesivo obtiveram os maiores valores de absorção d'água, à exceção do tratamento 3, no qual o maior valor foi para o teor de adesivo de 12%. Sobre isto Iwakiri *et al.* (2000), dizem que a utilização de maior quantidade de resina reduz a absorção de água das chapas. Este fato pode ser atribuído ao maior recobrimento das partículas com resina e à melhor impermeabilização superficial das mesmas, contribuindo para diminuir a absorção d'água.

Observou-se também que, com a redução da densidade, os valores de absorção aumentaram. Isto também foi verificado por Dacosta (2004), que constatou que as chapas com menor quantidade de adesivo e de menores densidades foram as que obtiveram os maiores valores de absorção d'água.

Por outro lado, no estudo conduzido por Brito (1984), um aumento na densidade da chapa acarretou uma diminuição na absorção d'água.

Desta maneira, constatou-se que tanto a quantidade de resina como a densidade da chapa afetam na quantidade de umidade absorvida pela chapa.

Os valores do teor de adesivo e de densidade observada foram correlacionados com aqueles obtidos para absorção d'água e inchamento em espessura e estão apresentados nas Tabelas 15 e 16 para partícula tipo palito e serragem, respectivamente.

TABELA 15. Correlação de Pearson entre as propriedades de estabilidade dimensional e as variáveis de fabricação das chapas para partícula tipo palito

Correlações	Teor de adesivo (%)	Densidade observada (g/cm³)	Ab 24 (%)	IE 24 (%)
Teor de adesivo (%)	1			
Densidade observada (g/cm³)	0,293(*)	1		
Ab 24 (%)	-0,148(ns)	-0,614(**)	1	
IE 24 (%)	-0,746(*)	-0,223(ns)	0,419(**)	1

Onde: **Correlação significativa a 1% de probabilidade; ns = correlação não-significativa a 5% de probabilidade; Ab24 = absorção d'água 24 horas de imersão; IE 24 = inchamento em espessura 24 horas de imersão em água.

Como pode ser observado na Tabela 15, para chapas produzidas com partícula tipo palito, não ocorreu correlação significativa entre o teor de adesivo e absorção 24 horas. Já para densidade, o valor de correlação foi de $-0,614$, significativo à probabilidade menor que 0,0001. Isso significa que, com o aumento da densidade, diminui a absorção d' água pela chapa.

Para inchamento em espessura, o valor de correlação foi significativo para o teor de adesivo. O valor de correlação foi de -0,746, significativo à probabilidade menor que 0,0001, indicando que, com o aumento do teor de adesivo, diminui o inchamento em espessura da chapa.

TABELA 16. Correlação de Pearson entre as propriedades de estabilidade dimensional e as variáveis de fabricação das chapas para partícula tipo serragem

Correlações	Teor de adesivo (%)	Densidade observada (g/cm³)	Ab 24 (%)	IE 24 (%)
Teor de adesivo (%)	1			
Densidade observada (g/cm³)	0,134(ns)	1		
Ab 24 (%)	-0,664(**)	-0,277(*)	1	
IE 24 (%)	-0,837(**)	0,028(ns)	0,718(**)	1

Onde: **Correlação significativa a 1% de probabilidade; ns = correlação não-significativa a 5% de probabilidade; Ab24 = absorção d'água 24 horas de imersão; IE 24 = inchamento em espessura 24 horas de imersão em água.

Observando-se a Tabela 16, verifica-se que a absorção d'água, após 24 horas, apresentou valor de correlação significativo para teor de adesivo e densidade observada.

Para o teor de adesivo, há uma correlação de $-0,644$, à probabilidade menor que $0,0001$, e, para densidade, o valor de correlação foi de $-0,277$. Desta maneira, com o aumento da proporção de adesivo e da densidade da chapa, diminui a absorção d'água pela chapa.

Para inchamento em espessura, apenas o teor de adesivo obteve correlação significativa para chapas produzidas com partícula tipo serragem.

O valor de correlação para teor de adesivo foi de $-0,837$, à probabilidade menor que $0,0001$, indicando que, com o aumento do teor de adesivo, o inchamento 24 horas diminui.

Na análise de absorção d'água em função das variáveis de produção, o melhor modelo para explicar a absorção em peso d'água após 24 horas, para todas as chapas fabricadas com partículas tipo palito, inclui a densidade observada, e para as chapas fabricadas com partículas tipo serragem, o teor de adesivo. O valor de probabilidade para os dois modelos é menor que $0,01$, significativos a um nível de confiança de $99,9\%$ (Tabelas 6 e 7, respectivamente).

As Figuras 23 e 24 mostram os gráficos para absorção d'água com os valores ajustados em função da densidade observada para chapas produzidas com partícula tipo palito e em função do teor de adesivo para chapas produzidas com partículas tipo serragem, respectivamente.

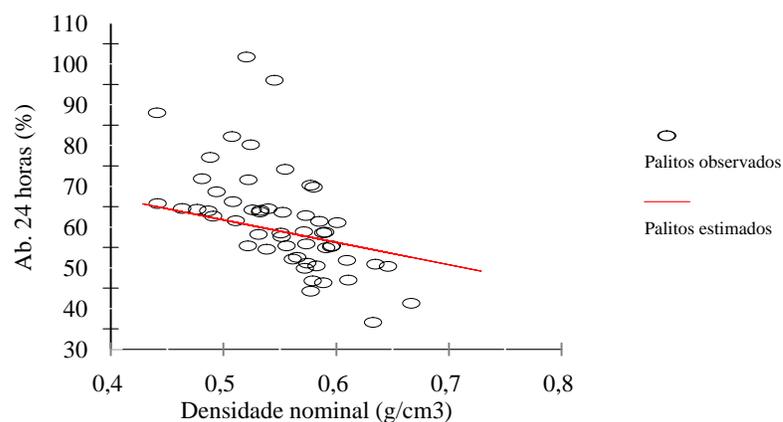


FIGURA 23. Valores de absorção d'água após 24 horas de imersão (Ab24), observados e estimados em função da densidade observada para partícula tipo palito

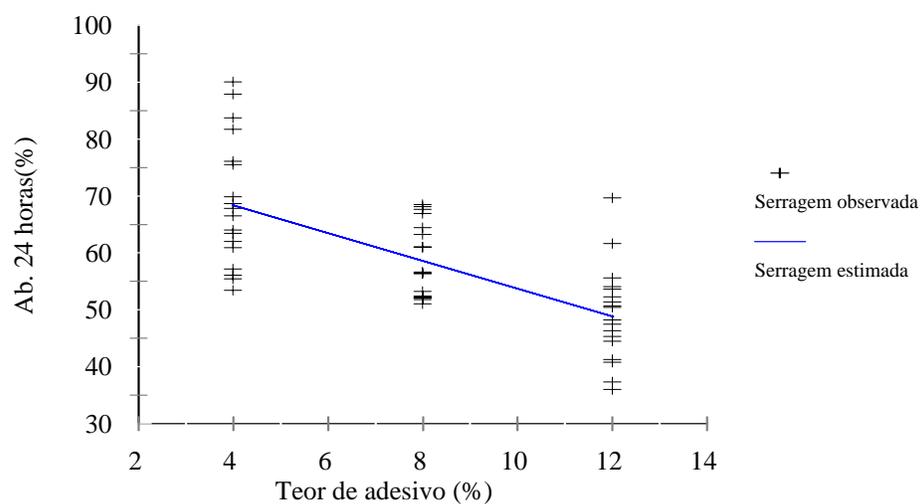


FIGURA 24. Valores de absorção d'água após 24 horas de imersão (Ab24), observados e estimados em função do teor de adesivo para partícula tipo serragem

Conforme ilustrado nas Figuras 23 e 24, apenas as chapas produzidas com partícula tipo serragem obtiveram efeito significativo sobre absorção 24 horas com o aumento do teor de adesivo e da densidade das chapas.

4.3.2 Inchamento em espessura

Segundo Brito & Silva (2002), o inchamento em espessura é uma alteração sofrida pelas chapas de partículas quando expostas à umidade, e é um fator limitante em relação ao uso final.

Os valores médios de inchamento em espessura são apresentados na Tabela 17. Pode ser observado que os valores variaram entre 18,90 e 47,99% para os diferentes tratamentos.

TABELA 17. Valores médios de inchamento em espessura, encontrados para os diferentes tratamentos

Trat	TP	Tad (%)	DN (g/cm³)	DO (g/cm³)	Tue (%)	IE24 (%)
1	Palito	4	0,55	0,48	12,97	41,04
2	Palito	8	0,55	0,51	13,22	29,43
3	Palito	12	0,55	0,51	20,44	32,03
4	Palito	4	0,65	0,54	12,72	45,56
5	Palito	8	0,65	0,60	13,02	31,84
6	Palito	12	0,65	0,57	12,43	26,49
7	Palito	4	0,75	0,56	12,63	47,99
8	Palito	8	0,75	0,59	11,94	29,05
9	Palito	12	0,75	0,61	12,29	21,63
10	Serragem	4	0,55	0,48	12,96	45,26
11	Serragem	8	0,55	0,50	13,03	26,67
12	Serragem	12	0,55	0,51	13,07	18,90
13	Serragem	4	0,65	0,54	12,30	35,24
14	Serragem	8	0,65	0,57	12,53	38,84
15	Serragem	12	0,65	0,59	13,17	23,59
16	Serragem	4	0,75	0,59	12,43	37,51
17	Serragem	8	0,75	0,58	12,49	27,39
18	Serragem	12	0,75	0,56	12,07	20,58

Onde: TP = tipo de partícula; Tad = teor de adesivo; DN = densidade nominal; DO = densidade observada; Tue= teor de umidade de equilíbrio; IE 24 = inchamento em espessura 24 horas de imersão em água.

Os maiores valores de inchamento em espessura foram os obtidos nas chapas produzidas com teor de adesivo de 4%, enquanto que as chapas produzidas com 12% de adesivo obtiveram valores menores. Isto demonstra que, com o aumento do teor de adesivo, o inchamento em espessura das chapas diminui.

Quanto à densidade das chapas, não foi observada nenhuma variação significativa. Isto é confirmado por Keinert Jr. (1993), ao trabalhar com vários tipos de chapas de partículas a partir de *Eucalyptus*, que também não achou uma relação clara entre o inchamento em espessura com a densidade das chapas.

Por outro lado, Dacosta (2004), trabalhando com resíduo de madeira de *Pinus* spp e teores de adesivo de 4, 8 e 12%, também constatou que, com o aumento do teor de adesivo, diminuía os valores de inchamento em espessura das chapas produzidas, embora os valores observados tenham variado de 13,36 a 41,39%. Desta maneira, as chapas produzidas com madeira de eucalipto tiveram maior tendência a absorver água e a incharem.

Iwakiri *et al.* (2000) atribui o menor valor de inchamento em espessura para chapas à menor absorção d'água devido à maior cobertura superficial das partículas com resina.

Comparando o tipo de partícula, palito produziram chapas com maiores valores do que serragem, porém com pequena diferença.

Se observado com a norma DIN (1967), em nenhum dos tratamentos foram obtidas chapas que atendessem às exigências de um valor máximo de 15% para IE24.

O melhor modelo encontrado para explicar o inchamento em espessura para chapas produzidas com partículas tipo palitos e serragem inclui o teor de adesivo, com valor de probabilidade inferior a 0,01, relacionando a significância estatística da variável para um nível de confiança de 99,9% (Tabela 6 e 7, respectivamente).

As Figuras 25 e 26 mostram a relação entre o inchamento em espessura para os dois tipos de partículas analisadas.

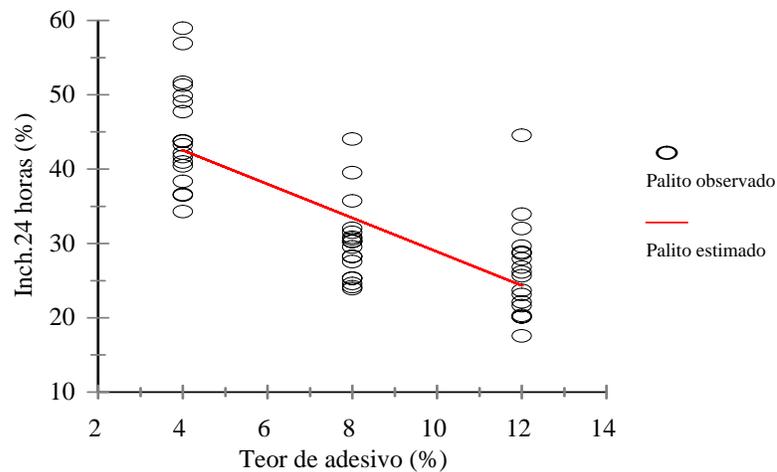


FIGURA 25. Valores de inchamento em espessura 24 horas (IE24), observados e estimados em função do teor de adesivo para partícula tipo palito

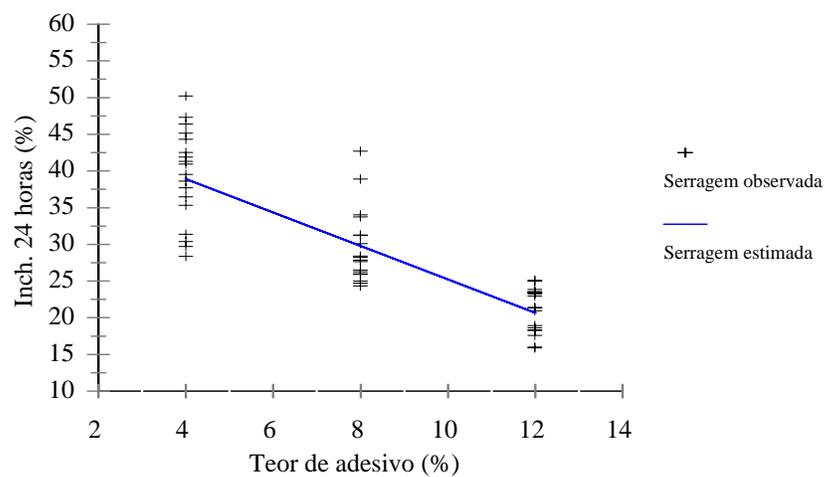


FIGURA 26. Valores de inchamento em espessura 24 horas (IE24), observados e estimados em função do teor de adesivo para partícula tipo serragem

Conforme as Figuras 25 e 26, o maior efeito do inchamento em espessura 24 horas foi encontrado nas chapas produzidas com partículas tipo palito com o aumento do teor de adesivo.

5 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo permitem as seguintes conclusões e recomendações:

De um modo geral, chapas aglomeradas produzidas tanto com partículas tipo palito como serragem apresentaram boa qualidade, evidenciando a viabilidade de uso destes resíduos na fabricação desse produto, e com isso possibilitando novas alternativas de aproveitamento desse material pela indústria.

Os valores médios encontrados para módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), na maioria dos tratamentos, ficaram dentro dos exigidos pelos padrões de qualidade internacional, tanto para partículas tipo palito como para serragem.

Dentre as variáveis estudadas, a densidade da chapa foi a que mais influenciou no módulo de ruptura e no módulo de elasticidade, seguida do teor de adesivo e do tipo de partícula.

Os valores médios para ligação interna ficaram dentro dos limites determinados pelos padrões de qualidade internacional, sendo que em todos os tratamentos nos quais foi utilizado 4% de teor de adesivo, obtiveram-se valores inferiores, demonstrando baixa qualidade das chapas nestes tratamentos. Contudo, foi observado que, com a densidade aumentada e com teor de adesivo entre 8 e 12%, a ligação interna

aumenta. Porém, não foi observada influência sobre os valores quanto ao tipo de partícula palito e serragem, sendo o teor de adesivo a propriedade que mais influenciou, seguido da densidade da chapa.

Na resistência ao arrancamento de parafuso, os valores obtidos atingiram os valores exigidos pelos padrões de qualidade internacional, em alguns tratamentos. Para esta propriedade, a densidade das chapas foi a variável que teve maior influência, seguida do teor de adesivo. Não foi observado, nesta propriedade, influência do tipo de partícula utilizada.

Para o inchamento em espessura, nenhum dos valores atingiu o mínimo requerido pelos padrões internacionais. Contudo, pode ser observado que, com o aumento do teor de adesivo, o inchamento em espessura diminuiu. Além disso, as chapas produzidas com partículas tipo serragem obtiveram valores menores em inchamento.

Na absorção d'água, foi constatado que a variável que exerceu maior influência foi o teor de adesivo, seguida da densidade. Para inchamento em espessura o teor de adesivo também foi a variável que mais influenciou, porém a densidade não teve influência significativa tanto para chapas fabricadas com partícula tipo palito quanto para serragem.

De forma geral, não foram observadas mudanças na qualidade das chapas com relação ao tipo de resíduo utilizado, sendo encontrados valores muito semelhantes na maioria das propriedades analisadas para chapas fabricadas com partícula tipo palito e serragem.

Com base nos parâmetros de fabricação as chapas com densidade de $0,75 \text{ g/cm}^3$ produzidas com 12% de adesivo, tanto de palito como de serragem, estão mais adequadas às normas de comercialização.

Recomenda-se, para futuros estudos, a confecção de chapas com a mistura dos dois tipos de partículas (palito e serragem), com maiores densidades.

Sugere-se também conduzir estudos com resíduos de outras espécies de eucaliptos utilizadas nas indústrias de celulose, como por exemplo, o *Eucalyptus globulus*, que vem ocupando espaço maior nestas indústrias de celulose por propiciar maior rendimento e qualidade da polpa celulósica.

Em função dos resultados, com valores das propriedades um pouco baixos aos comparados com os dos painéis comerciais, sugere-se também, a utilização desse tipo de resíduo (palito e serragem) em combinação com outros tipos de partículas industriais como as produzidas a partir de madeira roliça, de melhor qualidade, sem necessidade de alterar o processo normal de produção.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKERS, L.E. **Particle board and harboard**. Great Britain: Balckie & Son Ltda., 1966. v.4, 172p.

ALBERTO, M. M. M. & KEINERT JR., S. Efeito da geometria das partículas e da densidade, sobre as propriedades de painéis estruturais “waferboards”. Parte I – Efeito sobre as propriedades de resistência. , 1993, Curitiba. **Anais ...** Curitiba: 1º Congresso Florestal Panamericano, 1993. p. 613.

ALBUQUERQUE, C. E. E. Umidade da madeira para painéis aglomerados. **Revista da Madeira**. Curitiba. PR, ano 9, n.50, p. 50-54, 2000.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **Particleboard**, ANSI A 208.1. New York, 1978.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials**. ASTM D 1037 – 93, Philadelphia, Pa. 1995.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard method of test for nonvolatile content of urea-formaldehyde resin solutions:** ASTM D 1490-67. Philadelphia, 1967.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard specification for urea-formaldehyde resin adhesives,** D 4690-95a. Philadelphia, P.A., 1999.

BRITO, E. O. **A viabilidade de utilização de espécies de Pinus para produção de chapas de composição estruturais “Waferboards”.** Curitiba, 1984. 98p. Dissertação. Mestrado. U. F. Pr. Curso de Pós-graduação em Engenharia Florestal.

BRITO, E. O. **Produção de chapas de partículas de madeira a partir de maravalhas de Pinus ellottii Engelm. Var. elliotii plantado no sul do Brasil.** Curitiba, 1995. Tese (Doutorando). Universidade Federal do Paraná. 123p. 1995.

BRITO, E.O. et al. **Nos caminhos do eucaliptos;** coletânea. SENAI – RS. Bento Gonçalves, CETEMO, 88p. 1998.

BRITO, E.O.; SILVA, V.C. Propriedade de chapas de partículas produzidas a partir de *Gmelia arbórea* Linn. Roxb. e *Samanea saman* (Jacq.) Merr. **Revista Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro. V.9, n.1, p.127-134, 2002.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C.R.; HILLIG, E.; SANTINI, E.J. Elevação da temperatura durante a prensagem de painéis aglomerados colados com tanino-fenol-formaldeído. In: 8º CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, nov. 2000, Nova Prata, RS. **Anais: 8 Congresso Florestal Estadual**. p. 651-656. 2000.

CALEGARI, L.; HASELEIN, C. R.; BARROS, M. V.; SCARAVELLI, T. L.; DACOSTA, L. P.; PEDRAZZI, C. Adição de aparas de papel reciclável na fabricação de chapas de madeira aglomerada. **Revista Ciência Florestal**. Santa Maria, 2004.

CAMPOS, C.I.; LAHR, F.A.R. Estudo comparativo dos resultados de ensaio de tração perpendicular para MDF produzido em laboratório com fibras de pinus e de eucalipto utilizando uréia-formaldeído. **Matéria**. Rio de Janeiro. v.9, n.1, p.32-34, 2004.

CHOW, P. Properties of medium-density, dry-formed fiberboard from seven hardwood residues and bark. **Forest Products Journal**, v.26, n.5, p.48-55, May 1976.

COUTO, L.C. **Influência da morfologia dos cavacos de madeira de *Eucalyptus urophylla* de origem híbrida na qualidade da celulose Kraft.** 1979. 113p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 1979.

DACOSTA, L.P.E. **Utilização de resíduos do processamento mecânico da madeira para fabricação de chapas de partículas aglomeradas.** 2004. 118p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.

FOELKEL, C.E.B.; COUTO, L.C.; KATO, J. **A utilização da serragem de madeira de eucalipto na produção de polpa celulósica.** Cenibra, São Paulo, 21p, 1979.

FOELKEL, C.E.B. Densidade básica; sua verdadeira utilidade como índice de qualidade da madeira de eucalipto para produção de celulose. **In: Congresso Florestal Brasileiro**, Campos do Jordão, SP. 1990.

GINZEL, W., PERAZA C. **Tecnologia de tableros de particulas.** Madrid: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, 1966.187 p.

HASELEIN, C. R. **Análise de parâmetros para a fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis* W. Hill ex- Maiden) e embaúba (*Cecropia sp.*)**. Viçosa, 1989. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1989.

HASELEIN, C.R. *et al.* Resistência à flexão estática de alguns painéis aglomerados comercializados no Rio Grande do Sul. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria. V.11, n.1, p.195-200, 2001.

HASELEIN, C.R.; CALEGARI, L.; BARROS, M.V.; HACK, C. **Teste de resistência mecânica e a resistência à umidade de painéis de aglomerado contendo diferentes dimensões das partículas de madeira**. Santa Maria: UFSM, 2002.

HASELEIN, C.R. PAULESKI, D.T. **Caderno didático da disciplina de tecnologia da madeira II: parte I**. Santa Maria: Imprensa Univeritária. 2003. 82p.

HASELEIN, C.R. PAULESKI, D.T. **Caderno didático da disciplina de tecnologia da Madeira II: parte II**. Santa Maria: Imprensa Univeritária. 2004. 53p.

HILLIG, E. **Qualidade de chapas aglomeradas estruturais, fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia negra, puras ou misturadas, coladas com tanino-formaldeído.** 2000. 96p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

HILLIG E., HASELEIN C. R., MACHADO JR D. B. F., TOMBINI C. S. A. Análise da qualidade de painéis aglomerados estruturais colados com tanino-formaldeído, sob diferentes teores de umidade do colchão. In: 8º CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL, nov. 2000, Nova Prata, RS. **Anais:** 8 Congresso Florestal Estadual. 2000. p.611-618.

HSE, C.Y. Properties of flakeboard from hardwoods growing on southern pine sites. **For. Prod. J.**, Madison, v.25, n.3, p. 48-53, 1975.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre as propriedades de chapas de partícula de diferentes espécies de Pinus.** 129 P. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

IWAKIRI S. *et al.* Mistura de espécies na produção de chapas de partículas estruturais Waferboard. **Agrárias**, Curitiba, v.14, p.107-114, 1995.

IWAKIRI S. *et al.* Produção de chapas de partículas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus dunnii*. **Agrárias**, Curitiba, v.15, p.33-41, 1996.

IWAKIRI S.; PEREIRA, S.J.; NISGOSKI, S. Influência da umidade, pressão e tempo de prensagem na produção de chapas de partículas de madeira aglomerada . **Revista Ciências Agrárias**, Curitiba. v.18, n1-2. p.29-36.,1999a.

IWAKIRI S. *et al.* Produção de chapas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* Engelm. com inclusão laminar. **CERNE**, v.5, n.2, p.86-94, 1999b.

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, 2000.

IWAKIRI S. *et al.* Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v.8, n.1, p. 137-142, 2001.

KELLY, M.W. **Critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard.** USDA. Forest Service Rep. FPI, V.10, 66 p, 1977.

KOCH, G.S.; KLAREICH, F.; EXTRUM, B. **Adhesives for the composite wood panel industry.** Editora Noyes Data Corporation. New Jersey. USA. 1987.

KOLLMANN, F.F.P.; KUENZI, E.W.; STAMM, A.J. **Principles of wood science and technology. Volume II – Wood Based Materials.** New York: Springer Verlag, 1975.

KRISTOVA, P., YOSSFIOV, N., GABIR, S. Particleboards from sunflower stalks: preliminary trials. **Bioresource Technology.** v. 58, n.3, p. 319-321, 1996.

LATORRACA, J.V. F.; IWAKIRI, S. Efeitos do tratamento das partículas de *Eucalyptus dunni* (Maiden), da variação da relação madeira-cimento e do uso de aditivos sobre as propriedades físico-mecânicas de chapas de madeira-cimento. **Revista Cerne.** v. 6, n.1, p. 001-008, 2000.

LEHMAN, W.F; GEIMER, R.; HEFTY, F.V. **Factors affecting particleboard pressing time: interaction with catalyst systems.** USA For. Serv. Res. Paper FPL, n. 207, 8p, 1973.

MALONEY, T.M. **Modern Particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. 3. ed. San Francisco: Miller Freeman. 672p. 1989.

MALONEY, T.M. **Modern Particleboard and dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: Miller Freeman. 681p. 1993.

MARRA, A.A. **Tecnology of wood bonding – Principles in Practice**. New York: Van Nostrand Reinhold. 453p. 1992.

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; IWAKIRI, S. A. Indústria brasileira de painéis de madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, v.10, n.56, p67-72,2001.

MOSLEMI, A.A. **Particleboard**. Illinois. Southern. Illinois University Press, 1974. v.2, 245p. 1974.

NELSON, N. D. Effects of wood and pulp properties on medium-density, dry-formed hardboard. **For. Prod. J.**, v. 23, n.9, p. 72-80, sep. 1973.

OKINO, E.Y.A; SANTANA, M. E.; SOUZA, M.R. Utilização da madeira de *Hevea brasilienses* Muell. Arg. na fabricação de chapas aglomeradas. **Revista Árvore**, Viçosa, v.24, n.3, p.341-347. 2000.

OKINO, *et al.* Durabilidade natural de madeira sólida e de chapas aglomeradas e de chapas de cimento-madeira de *Hevea brasiliensis*. **Brasil Florestal**. Brasília, n.73. 2002.

OLIVEIRA, J.T.S. Experiência mundial com a madeira de eucalipto. **Revista da Madeira**. n. 54. p.98-100. 2000.

PEDRAZZI, C.; FRIZZO, S.B.; FOELKEL, C.E. Estudo da qualidade da polpa obtida de serragem, de minicavacos de madeira e de resíduos de celulose de *Eucalyptus* spp, São Paulo. **Anais: Congresso Internacional de Celulose e Papel**, 2002.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. 370 p.

REVISTA MADEIRA. **Chapas de fibras: produção e características**. n° 72. ano 12. maio de 2003.

RICEBORD. **Technologyoffter**. <<http://www.nrdcindia.com/pages/ricebord.htm>> . Acesso em: 25 março. 2001.

RINCOSKI, C. R. Influência da gramatura de cola nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis compensados de *Eucalyptus citriodora* Hook. **Agrárias**. Curitiba, v.18, n.1-2, p.37-53, 1999.

ROZAS, E.C., TOMASELLI, I. Secagem de madeira serrada de *Eucalyptus viminalis*. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v.3, n.1, p. 147-159, 1993.

SAMLAIC, J. As vantagens da pré-prensagem das chapas de madeira. **Revista da Madeira**, n. 365. 1982.

SANTANA, M.A.E., TEIXEIRA, D.E. Uso de bagaço de cana-de-açúcar na confecção de chapas de aglomerados. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7; CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1, Curitiba, 1993. **Anais**. Curitiba: SBS / SBEF, 1993. p. 667-672.

TOMASELLI, I. A indústria de painéis no Brasil e no mundo. Tendências de mudanças do perfil de produção e usos. **In: Seminário Internacional de Produtos Sólidos de madeira de alta tecnologia, 1**. Belo Horizonte, p 55–64, 1998.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood – structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 494p. 1991.

VITAL, B. R. How species and board densities effect properties of exotic hardwood particleboards. In: Annual Meeting of the Forest Products Research Society, 1974. **Proceedings...** Chicago, 1974.

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

VITAL, B.R.; HASELEIN, C.R. Qualidade de chapas de aglomerados produzidas com embaúba (*Cecropia sp.*) e bambu (*Bambusa vulgaris*). **Revista Árvore**. Viçosa. MG, v.12, n.2, p.134-145. 1989.

7 ANEXOS

ANEXO 1.

Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas das chapas
(MOR, MOE, AP e LI).

TABELA 18. Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas das chapas (MOR, MOE e AP)

Trat.	CP	Tad (%)	DN (g/cm ³)	DO (g/cm ³)	MOR (kgf/cm ²)	MOE (kgf/cm ²)	AP (kgf)
1	PA1 10	4	0,55	0,47	25,11	52,01	45
1	PA1 11	4	0,55	0,49	42,68	50,73	33
1	PA2 10	4	0,55	0,50	40,18	41,72	34
1	PA2 11	4	0,55	0,52	40,18	39,85	28
1	PA3 10	4	0,55	0,46	42,69	36,12	30
1	PA3 11	4	0,55	0,46	37,66	36,12	34
2	PB1 10	8	0,55	0,56	57,75	62,74	57
2	PB1 11	8	0,55	0,47	57,75	67,2	61
2	PB2 10	8	0,55	0,48	52,78	47,64	43
2	PB2 11	8	0,55	0,50	53,6	41,24	26
2	PB3 10	8	0,55	0,54	64,75	40,3	55
2	PB3 11	8	0,55	0,50	30,13	71,34	53
3	PC1 10	12	0,55	0,53	60,21	45,35	39
3	PC1 11	12	0,55	0,50	56,9	42,69	57
3	PC2 10	12	0,55	0,50	60,84	51,94	40
3	PC2 11	12	0,55	0,46	60,48	73,99	47
3	PC3 10	12	0,55	0,50	58,97	66,5	52
3	PC3 11	12	0,55	0,51	61,58	46,83	47
4	PD1 10	4	0,65	0,60	50,22	62,78	68
4	PD1 11	4	0,65	0,52	60,26	65,29	54
4	PD2 10	4	0,65	0,48	45,2	45,2	40
4	PD2 11	4	0,65	0,50	45,2	52,73	40
4	PD3 10	4	0,65	0,58	57,75	45,2	38
4	PD3 11	4	0,65	0,57	52,73	52,73	48
5	PE1 10	8	0,65	0,58	85,38	82,87	60
5	PE1 11	8	0,65	0,55	107,97	75,33	61
5	PE2 10	8	0,65	0,49	87,89	52,73	36
5	PE2 11	8	0,65	0,70	65,29	57,75	41
5	PE3 10	8	0,65	0,85	88,35	45,2	56
5	PE3 11	8	0,65	0,62	82,86	67,8	64
6	PF1 10	12	0,65	0,58	95,42	90,4	94
6	PF1 11	12	0,65	0,55	90,4	125,55	85
6	PF2 10	12	0,65	0,63	67,8	90,4	64
6	PF2 11	12	0,65	0,78	82,87	72,82	72
6	PF3 10	12	0,65	0,59	92,91	92,91	83
6	PF3 11	12	0,65	0,56	72,49	92,91	83
7	PG1 10	4	0,75	0,63	87,89	57,75	58
7	PG1 11	4	0,75	0,59	87,89	67,8	67

Contin...							
7	PG2 10	4	0,75	0,54	75,33	52,73	57
7	PG2 11	4	0,75	0,56	70,31	80,35	53
7	PG3 10	4	0,75	0,50	64,75	70,31	55
7	PG3 11	4	0,75	0,56	60,26	82,86	56
8	PH1 10	8	0,75	0,69	102,95	130,58	70
8	PH1 11	8	0,75	0,67	97,93	110,49	71
8	PH2 10	8	0,75	0,62	130,58	105,47	72
8	PH2 11	8	0,75	0,59	85,37	90,4	72
8	PH3 10	8	0,75	0,55	77,84	82,86	68
8	PH3 11	8	0,75	0,56	80,35	85,37	74
9	PI1 10	12	0,75	0,69	133,09	118,02	60
9	PI1 11	12	0,75	0,67	120,53	75,33	53
9	PI2 10	12	0,75	0,61	97,14	110,49	79
9	PI2 11	12	0,75	0,60	72,82	113	71
9	PI3 10	12	0,75	0,53	95,42	105,46	61
9	PI3 11	12	0,75	0,60	55,24	80,35	66
10	SA1 10	4	0,55	0,47	25,11	52,01	27
10	SA1 11	4	0,55	0,50	42,68	50,73	42
10	SA2 10	4	0,55	0,47	40,18	41,72	39
10	SA2 11	4	0,55	0,44	40,18	39,85	54
10	SA3 10	4	0,55	0,47	42,69	36,12	41
10	SA3 11	4	0,55	0,47	37,66	36,12	30
11	SB1 10	8	0,55	0,49	57,75	62,74	64
11	SB1 11	8	0,55	0,51	57,75	67,2	66
11	SB2 10	8	0,55	0,53	52,78	47,64	54
11	SB2 11	8	0,55	0,43	53,6	41,24	64
11	SB3 10	8	0,55	0,50	64,75	40,3	62
11	SB3 11	8	0,55	0,49	30,13	71,34	60
12	SC1 10	12	0,55	0,50	60,21	45,35	58
12	SC1 11	12	0,55	0,45	56,9	42,69	55
12	SC2 10	12	0,55	0,52	60,84	51,94	51
12	SC2 11	12	0,55	0,53	60,48	73,99	52
12	SC3 10	12	0,55	0,49	58,97	66,5	60
12	SC3 11	12	0,55	0,52	61,58	46,83	53
13	SD1 10	4	0,65	0,60	50,22	62,78	46
13	SD1 11	4	0,65	0,56	60,26	65,29	54
13	SD2 10	4	0,65	0,51	45,2	45,2	42
13	SD2 11	4	0,65	0,58	45,2	52,73	40
13	SD3 10	4	0,65	0,46	57,75	45,2	67
13	SD3 11	4	0,65	0,56	52,73	52,73	47
14	SE1 10	8	0,65	0,58	85,38	82,87	85
14	SE1 11	8	0,65	0,59	107,97	75,33	65
14	SE2 10	8	0,65	0,53	87,89	52,73	54
14	SE2 11	8	0,65	0,55	65,29	57,75	56
14	SE3 10	8	0,65	0,56	88,35	45,2	67

Contin...							
14	SE3 11	8	0,65	0,56	82,86	67,8	95
15	SF1 10	12	0,65	0,65	95,42	90,4	79
15	SF1 11	12	0,65	0,63	90,4	125,55	80
15	SF2 10	12	0,65	0,59	67,8	90,4	58
15	SF2 11	12	0,65	0,58	82,87	72,82	69
15	SF3 10	12	0,65	0,59	92,91	92,91	74
15	SF3 11	12	0,65	0,58	72,49	92,91	69
16	SG1 10	4	0,75	0,63	87,89	57,75	84
16	SG1 11	4	0,75	0,64	87,89	67,8	74
16	SG2 10	4	0,75	0,56	75,33	52,73	52
16	SG2 11	4	0,75	0,59	70,31	80,35	56
16	SG3 10	4	0,75	0,58	64,75	70,31	45
16	SG3 11	4	0,75	0,62	60,26	82,86	47
17	SH1 10	8	0,75	0,63	102,95	130,58	100
17	SH1 11	8	0,75	0,61	97,93	110,49	90
17	SH2 10	8	0,75	0,60	130,58	105,47	77
17	SH2 11	8	0,75	0,58	85,37	90,4	58
17	SH3 10	8	0,75	0,64	77,84	82,86	56
17	SH3 11	8	0,75	0,61	80,35	85,37	52
18	SI1 10	12	0,75	0,61	133,09	118,02	100
18	SI1 11	12	0,75	0,57	120,53	75,33	79
18	SI2 10	12	0,75	0,58	97,14	110,49	80
18	SI2 11	12	0,75	0,59	72,82	113	83
18	SI3 10	12	0,75	0,58	95,42	105,46	68
18	SI3 11	12	0,75	0,57	55,24	80,35	70

Onde: CP = corpo de prova,; Tad = teor de adesivo; DN = densidade nominal; DO = densidade observada; MOR = módulo de ruptura; MOE = módulo de elasticidade; AP = resistência ao arrancamento de parafusos.

TABELA 19. Valores verificados nos ensaios das propriedades mecânicas das chapas (LI)

Trat.	CP	Tad (%)	DN (g/cm ³)	DO (g/cm ³)	Resist. kgf/cm ²
1	PA1 1	4	0,55	0,54	0,69
1	PA1 2	4	0,55	0,43	0,30
1	PA1 3	4	0,55	0,40	0,27
1	PA1 4	4	0,55	0,37	0,11
1	PA1 5	4	0,55	0,44	0,24
1	PA2 1	4	0,55	0,38	0,16
1	PA2 2	4	0,55	0,40	0,26
1	PA2 3	4	0,55	0,52	0,67
1	PA2 4	4	0,55	0,49	0,88
1	PA2 5	4	0,55	0,53	0,96
1	PA3 1	4	0,55	0,52	0,75
1	PA3 2	4	0,55	0,48	0,53
1	PA3 3	4	0,55	0,47	0,43
1	PA3 4	4	0,55	0,44	0,39
1	PA3 5	4	0,55	0,45	0,24
2	PB1 1	8	0,55	0,52	1,40
2	PB1 2	8	0,55	0,54	1,44
2	PB1 3	8	0,55	0,47	1,35
2	PB1 4	8	0,55	0,42	1,41
2	PB1 5	8	0,55	0,42	0,92
2	PB2 1	8	0,55	0,45	0,55
2	PB2 2	8	0,55	0,47	0,63
2	PB2 3	8	0,55	0,48	1,64
2	PB2 4	8	0,55	0,55	1,55
2	PB2 5	8	0,55	0,60	1,12
2	PB3 1	8	0,55	0,50	2,13
2	PB3 2	8	0,55	0,52	3,07
2	PB3 3	8	0,55	0,48	1,57
2	PB3 4	8	0,55	0,46	1,21
2	PB3 5	8	0,55	0,47	1,09
3	PC1 1	12	0,55	0,49	2,33
3	PC1 2	12	0,55	0,54	2,55
3	PC1 3	12	0,55	0,55	2,85
3	PC1 4	12	0,55	0,56	2,85
3	PC1 5	12	0,55	0,48	2,16
3	PC2 1	12	0,55	0,46	2,13
3	PC2 2	12	0,55	0,40	2,05
3	PC2 3	12	0,55	0,46	1,10
3	PC2 4	12	0,55	0,43	1,15
3	PC2 5	12	0,55	0,43	1,60

Contin...					
3	PC3 1	12	0,55	0,34	2,21
3	PC3 2	12	0,55	0,39	0,19
3	PC3 3	12	0,55	0,62	2,70
3	PC3 4	12	0,55	0,61	3,31
3	PC3 5	12	0,55	0,64	2,73
4	PD1 1	4	0,65	0,61	0,95
4	PD1 2	4	0,65	0,55	0,75
4	PD1 3	4	0,65	0,54	1,37
4	PD1 4	4	0,65	0,58	1,00
4	PD1 5	4	0,65	0,58	1,07
4	PD2 1	4	0,65	0,53	0,30
4	PD2 2	4	0,65	0,53	0,26
4	PD2 3	4	0,65	0,45	0,18
4	PD2 4	4	0,65	0,43	0,18
4	PD2 5	4	0,65	0,42	0,15
4	PD3 1	4	0,65	0,41	0,58
4	PD3 2	4	0,65	0,45	0,61
4	PD3 3	4	0,65	0,57	1,12
4	PD3 4	4	0,65	0,55	1,30
4	PD3 5	4	0,65	0,53	1,63
5	PE1 1	8	0,65	0,49	1,54
5	PE1 2	8	0,65	0,54	1,94
5	PE1 3	8	0,65	0,55	1,07
5	PE1 4	8	0,65	0,57	0,90
5	PE1 5	8	0,65	0,53	1,71
5	PE2 1	8	0,65	0,53	1,36
5	PE2 2	8	0,65	0,55	1,65
5	PE2 3	8	0,65	0,47	1,02
5	PE2 4	8	0,65	0,49	0,76
5	PE2 5	8	0,65	0,48	1,28
5	PE3 1	8	0,65	0,57	3,32
5	PE3 2	8	0,65	0,67	2,86
5	PE3 3	8	0,65	0,56	1,81
5	PE3 4	8	0,65	0,55	2,09
5	PE3 5	8	0,65	0,58	2,88
6	PF1 1	12	0,65	0,51	2,10
6	PF1 2	12	0,65	0,58	1,99
6	PF1 3	12	0,65	0,55	1,79
6	PF1 4	12	0,65	0,53	1,93
6	PF1 5	12	0,65	0,55	1,43
6	PF2 1	12	0,65	0,52	1,70
6	PF2 2	12	0,65	0,52	2,06
6	PF2 3	12	0,65	0,53	2,02
6	PF2 4	12	0,65	0,56	1,98
6	PF2 5	12	0,65	0,57	1,87

Contin...					
6	PF3 1	12	0,65	0,53	2,78
6	PF3 2	12	0,65	0,55	4,03
6	PF3 3	12	0,65	0,56	3,61
6	PF3 4	12	0,65	0,57	3,08
6	PF3 5	12	0,65	0,60	3,80
7	PG1 1	4	0,75	0,56	0,42
7	PG1 2	4	0,75	0,59	0,94
7	PG1 3	4	0,75	0,58	1,63
7	PG1 4	4	0,75	0,61	1,47
7	PG1 5	4	0,75	0,58	0,41
7	PG2 1	4	0,75	0,51	0,57
7	PG2 2	4	0,75	0,51	0,68
7	PG2 3	4	0,75	0,51	0,73
7	PG2 4	4	0,75	0,50	0,74
7	PG2 5	4	0,75	0,55	1,04
7	PG3 1	4	0,75	0,54	1,19
7	PG3 2	4	0,75	0,56	1,52
7	PG3 3	4	0,75	0,51	0,80
7	PG3 4	4	0,75	0,51	0,91
7	PG3 5	4	0,75	0,50	1,20
8	PH1 1	8	0,75	0,60	2,09
8	PH1 2	8	0,75	0,59	0,99
8	PH1 3	8	0,75	0,58	1,58
8	PH1 4	8	0,75	0,58	1,87
8	PH1 5	8	0,75	0,58	1,93
8	PH2 1	8	0,75	0,56	1,36
8	PH2 2	8	0,75	0,60	0,96
8	PH2 3	8	0,75	0,59	0,97
8	PH2 4	8	0,75	0,56	1,40
8	PH2 5	8	0,75	0,53	1,16
8	PH3 1	8	0,75	0,56	1,26
8	PH3 2	8	0,75	0,50	1,67
8	PH3 3	8	0,75	0,47	1,48
8	PH3 4	8	0,75	0,53	1,40
8	PH3 5	8	0,75	0,55	1,42
9	PI1 1	12	0,75	0,63	3,55
9	PI1 2	12	0,75	0,63	3,11
9	PI1 3	12	0,75	0,67	4,42
9	PI1 4	12	0,75	0,62	1,64
9	PI1 5	12	0,75	0,63	3,58
9	PI2 1	12	0,75	0,56	3,13
9	PI2 2	12	0,75	0,57	4,20
9	PI2 3	12	0,75	0,61	4,97
9	PI2 4	12	0,75	0,56	3,18
9	PI2 5	12	0,75	0,53	2,53

Contin...					
9	PI3 1	12	0,75	0,56	2,43
9	PI3 2	12	0,75	0,57	1,76
9	PI3 3	12	0,75	0,60	2,21
9	PI3 4	12	0,75	0,53	2,56
9	PI3 5	12	0,75	0,53	2,39
10	AS1 1	4	0,55	0,55	0,81
10	AS1 2	4	0,55	0,56	0,38
10	AS1 3	4	0,55	0,51	0,58
10	AS1 4	4	0,55	0,45	0,19
10	AS1 5	4	0,55	0,47	0,80
10	AS2 1	4	0,55	0,46	0,15
10	AS2 2	4	0,55	0,47	0,18
10	AS2 3	4	0,55	0,46	0,38
10	AS2 4	4	0,55	0,48	0,38
10	AS2 5	4	0,55	0,47	0,18
10	AS3 1	4	0,55	0,48	0,15
10	AS3 2	4	0,55	0,47	0,38
10	AS3 3	4	0,55	0,49	0,18
10	AS3 4	4	0,55	0,50	0,22
10	AS3 5	4	0,55	0,48	0,43
11	SB1 1	8	0,55	0,54	1,37
11	SB1 2	8	0,55	0,56	1,47
11	SB1 3	8	0,55	0,45	1,59
11	SB1 4	8	0,55	0,48	2,37
11	SB1 5	8	0,55	0,49	2,41
11	SB2 1	8	0,55	0,52	2,53
11	SB2 2	8	0,55	0,56	2,49
11	SB2 3	8	0,55	0,52	2,09
11	SB2 4	8	0,55	0,45	1,42
11	SB2 5	8	0,55	0,40	1,08
11	SB3 1	8	0,55	0,50	1,11
11	SB3 2	8	0,55	0,46	0,91
11	SB3 3	8	0,55	0,41	1,12
11	SB3 4	8	0,55	0,47	1,04
11	SB3 5	8	0,55	0,40	0,88
12	SC1 1	12	0,55	0,48	2,72
12	SC1 2	12	0,55	0,44	3,73
12	SC1 3	12	0,55	0,54	1,69
12	SC1 4	12	0,55	0,51	0,99
12	SC1 5	12	0,55	0,56	1,67
12	SC2 1	12	0,55	0,51	3,50
12	SC2 2	12	0,55	0,53	3,98
12	SC2 3	12	0,55	0,48	2,96
12	SC2 4	12	0,55	0,52	3,48
12	SC2 5	12	0,55	0,52	3,88

Contin...					
12	SC3 1	12	0,55	0,48	2,45
12	SC3 2	12	0,55	0,46	2,72
12	SC3 3	12	0,55	0,43	2,70
12	SC3 4	12	0,55	0,49	2,45
12	SC3 5	12	0,55	0,44	1,84
13	SD1 1	4	0,55	0,58	1,74
13	SD1 2	4	0,55	0,61	2,45
13	SD1 3	4	0,55	0,56	1,59
13	SD1 4	4	0,55	0,56	1,35
13	SD1 5	4	0,55	0,50	0,37
13	SD2 1	4	0,55	0,56	0,35
13	SD2 2	4	0,55	0,52	0,60
13	SD2 3	4	0,55	0,56	0,45
13	SD2 4	4	0,55	0,58	0,70
13	SD2 5	4	0,55	0,63	0,54
13	SD3 1	4	0,55	0,43	1,11
13	SD3 2	4	0,55	0,40	1,25
13	SD3 3	4	0,55	0,44	1,05
13	SD3 4	4	0,55	0,44	1,01
13	SD3 5	4	0,55	0,40	1,21
14	SE1 1	8	0,55	0,54	2,31
14	SE1 2	8	0,55	0,60	1,32
14	SE1 3	8	0,55	0,59	1,35
14	SE1 4	8	0,55	0,59	1,81
14	SE1 5	8	0,55	0,54	1,16
14	SE2 1	8	0,55	0,52	0,95
14	SE2 2	8	0,55	0,56	0,93
14	SE2 3	8	0,55	0,59	1,36
14	SE2 4	8	0,55	0,57	1,78
14	SE2 5	8	0,55	0,57	2,12
14	SE3 1	8	0,55	0,49	0,35
14	SE3 2	8	0,55	0,53	1,18
14	SE3 3	8	0,55	0,56	1,49
14	SE3 4	8	0,55	0,57	1,22
14	SE3 5	8	0,55	0,64	0,91
15	SF1 1	12	0,55	0,58	2,80
15	SF1 2	12	0,55	0,57	3,07
15	SF1 3	12	0,55	0,56	2,96
15	SF1 4	12	0,55	0,49	2,02
15	SF1 5	12	0,55	0,50	2,24
15	SF2 1	12	0,55	0,53	1,82
15	SF2 2	12	0,55	0,56	2,41
15	SF2 3	12	0,55	0,55	0,61
15	SF2 4	12	0,55	0,57	1,10
15	SF2 5	12	0,55	0,55	1,36

Contin...					
15	SF3 1	12	0,55	0,59	3,61
15	SF3 2	12	0,55	0,59	2,24
15	SF3 3	12	0,55	0,57	2,35
15	SF3 4	12	0,55	0,55	3,69
15	SF3 5	12	0,55	0,57	2,52
16	SG1 1	4	0,55	0,53	1,08
16	SG1 2	4	0,55	0,61	1,50
16	SG1 3	4	0,55	0,58	1,11
16	SG1 4	4	0,55	0,56	1,22
16	SG1 5	4	0,55	0,56	1,35
16	SG2 1	4	0,55	0,51	0,85
16	SG2 2	4	0,55	0,53	1,28
16	SG2 3	4	0,55	0,56	0,85
16	SG2 4	4	0,55	0,57	1,22
16	SG2 5	4	0,55	0,56	0,84
16	SG3 1	4	0,55	0,60	1,41
16	SG3 2	4	0,55	0,59	2,33
16	SG3 3	4	0,55	0,56	0,88
16	SG3 4	4	0,55	0,58	1,36
16	SG3 5	4	0,55	0,54	0,61
17	SH1 1	8	0,55	0,47	1,34
17	SH1 2	8	0,55	0,52	1,10
17	SH1 3	8	0,55	0,60	2,14
17	SH1 4	8	0,55	0,55	1,85
17	SH1 5	8	0,55	0,54	1,53
17	SH2 1	8	0,55	0,60	2,80
17	SH2 2	8	0,55	0,62	2,10
17	SH2 3	8	0,55	0,59	3,45
17	SH2 4	8	0,55	0,60	2,61
17	SH2 5	8	0,55	0,58	1,97
17	SH3 1	8	0,55	0,57	1,86
17	SH3 2	8	0,55	0,57	1,95
17	SH3 3	8	0,55	0,60	1,80
17	SH3 4	8	0,55	0,61	1,40
17	SH3 5	8	0,55	0,57	1,63
18	SI1 1	12	0,55	0,54	2,78
18	SI1 2	12	0,55	0,55	3,63
18	SI1 3	12	0,55	0,56	3,51
18	SI1 4	12	0,55	0,60	2,78
18	SI1 5	12	0,55	0,62	3,15
18	SI2 1	12	0,55	0,58	3,00
18	SI2 2	12	0,55	0,56	2,54
18	SI2 3	12	0,55	0,62	3,85
18	SI2 4	12	0,55	0,58	2,45
18	SI2 5	12	0,55	0,60	3,95

Contin...					
18	SI3 1	12	0,55	0,62	2,90
18	SI3 2	12	0,55	0,62	2,45
18	SI3 3	12	0,55	0,61	2,64
18	SI3 4	12	0,55	0,57	2,11
18	SI3 5	12	0,55	0,53	1,69

Onde: CP = corpo de prova; Tad = teor de adesivo; DN = densidade nominal; DO = densidade observada; LI = ligação interna.

ANEXO 2.

Valores verificados nos ensaios das propriedades físicas das chapas (Ab e IE).

TABELA 20. Valores verificados nos ensaios das propriedades físicas das chapas (Ab e IE)

Trat.	CP	Tad (%)	DN (g/cm ³)	DO (g/cm ³)	Ab 2h (%)	Ab 24h (%)	IE 2h (%)	IE 24h (%)
1	PA1 1	4	0,55	0,56	15,29	74,19	8,46	47,74
1	PA1 2	4	0,55	0,49	15,99	77,11	7,16	43,28
1	PA2 1	4	0,55	0,44	25,61	88,01	13,73	38,35
1	PA2 2	4	0,55	0,48	12,77	64,39	7,91	43,74
1	PA3 1	4	0,55	0,48	16,78	71,85	8,13	36,50
1	PA3 2	4	0,55	0,53	9,42	63,71	4,88	36,61
2	PB1 1	8	0,55	0,59	11,95	58,57	5,66	30,85
2	PB1 2	8	0,55	0,44	20,99	65,80	7,55	25,33
2	PB2 1	8	0,55	0,49	27,16	63,96	11,83	27,56
2	PB2 2	8	0,55	0,51	23,40	82,18	11,81	44,06
2	PB3 1	8	0,55	0,49	20,97	62,67	6,82	24,19
2	PB3 2	8	0,55	0,51	16,82	61,54	5,86	24,63
3	PC1 1	12	0,55	0,53	16,80	64,10	8,49	28,69
3	PC1 2	12	0,55	0,55	11,12	58,51	5,90	26,82
3	PC2 1	12	0,55	0,52	30,03	80,20	17,53	44,56
3	PC2 2	12	0,55	0,55	31,20	96,04	19,70	33,94
3	PC3 1	12	0,55	0,49	15,59	68,67	4,45	26,16
3	PC3 2	12	0,55	0,52	33,99	101,70	21,47	21,46
4	PD1 1	4	0,65	0,59	10,69	54,89	7,38	40,47
4	PD1 2	4	0,65	0,59	7,16	61,43	5,29	41,69
4	PD2 1	4	0,65	0,58	13,78	69,82	12,08	58,97
4	PD2 2	4	0,65	0,52	23,14	71,62	16,31	56,92
4	PD3 1	4	0,65	0,46	8,63	64,55	5,12	34,31
4	PD3 2	4	0,65	0,51	9,08	66,27	6,59	40,97
5	PE1 1	8	0,65	0,59	15,05	58,73	9,08	31,53
5	PE1 2	8	0,65	0,54	7,04	54,61	5,15	32,05
5	PE2 1	8	0,65	0,58	11,33	70,24	7,32	39,53
5	PE2 2	8	0,65	0,57	24,01	62,85	10,15	35,73
5	PE3 1	8	0,65	0,61	14,03	51,84	6,90	28,27
5	PE3 2	8	0,65	0,58	10,70	44,24	3,65	23,91
6	PF1 1	12	0,65	0,54	19,87	64,53	6,21	23,70
6	PF1 2	12	0,65	0,57	10,79	55,84	6,28	27,94
6	PF2 1	12	0,65	0,55	13,26	57,66	4,28	25,66
6	PF2 2	12	0,65	0,52	11,32	55,36	3,84	28,86
6	PF3 1	12	0,65	0,58	7,77	50,45	3,94	23,13
6	PF3 2	12	0,65	0,60	11,42	61,06	5,58	29,67
7	PG1 1	4	0,75	0,55	8,75	63,61	6,51	51,68
7	PG1 2	4	0,75	0,57	8,57	58,84	9,59	49,89
7	PG2 1	4	0,75	0,53	15,52	58,20	6,03	49,10
7	PG2 2	4	0,75	0,53	7,08	64,22	5,18	42,17

Contin...								
7	PG3 1	4	0,75	0,57	10,16	51,19	5,44	51,29
7	PG3 2	4	0,75	0,56	12,08	52,17	6,28	43,81
8	PH1 1	8	0,75	0,65	7,40	50,32	4,60	30,26
8	PH1 2	8	0,75	0,60	9,52	55,19	4,69	30,64
8	PH2 1	8	0,75	0,60	14,46	55,39	7,62	28,25
8	PH2 2	8	0,75	0,57	12,02	52,55	4,44	29,53
8	PH3 1	8	0,75	0,59	9,42	46,35	4,07	25,31
8	PH3 2	8	0,75	0,61	6,34	46,99	4,46	30,31
9	PI1 1	12	0,75	0,63	18,61	50,90	8,18	22,15
9	PI1 2	12	0,75	0,67	7,52	41,27	2,55	20,12
9	PI2 1	12	0,75	0,58	8,18	46,80	4,55	20,13
9	PI2 2	12	0,75	0,57	13,50	49,91	4,78	17,55
9	PI3 1	12	0,75	0,56	16,16	55,40	7,18	28,15
9	PI3 2	12	0,75	0,63	6,72	36,58	2,99	21,65
10	AS1 1	4	0,55	0,55	12,23	75,52	6,28	40,97
10	AS1 2	4	0,55	0,55	14,19	69,91	8,08	41,35
10	AS2 1	4	0,55	0,50	18,50	81,74	8,65	46,42
10	AS2 2	4	0,55	0,51	25,24	83,74	10,90	45,18
10	AS3 1	4	0,55	0,51	26,98	90,07	12,93	47,37
10	AS3 2	4	0,55	0,73	12,62	87,91	10,65	50,26
11	SB1 1	8	0,55	0,52	8,63	66,95	5,13	25,03
11	SB1 2	8	0,55	0,54	12,10	68,19	4,73	25,97
11	SB2 1	8	0,55	0,56	10,50	52,35	5,65	26,30
11	SB2 2	8	0,55	0,55	11,72	56,66	5,12	26,02
11	SB3 1	8	0,55	0,50	9,18	72,24	5,28	30,12
11	SB3 2	8	0,55	0,43	15,45	74,26	5,81	26,54
12	SC1 1	12	0,55	0,56	9,58	50,71	2,98	18,29
12	SC1 2	12	0,55	0,53	16,28	69,67	3,63	21,42
12	SC2 1	12	0,55	0,57	12,10	47,51	4,45	16,04
12	SC2 2	12	0,55	0,50	15,59	48,24	5,12	17,62
12	SC3 1	12	0,55	0,55	8,34	45,33	4,43	21,39
12	SC3 2	12	0,55	0,53	10,35	52,33	5,09	18,64
13	SD1 1	4	0,65	0,45	8,53	63,46	5,41	36,50
13	SD1 2	4	0,65	0,60	8,86	57,22	5,12	35,36
13	SD2 1	4	0,65	0,56	13,38	62,08	7,05	41,93
13	SD2 2	4	0,65	0,56	14,09	67,83	7,29	39,55
13	SD3 1	4	0,65	0,48	14,48	64,07	8,29	29,73
13	SD3 2	4	0,65	0,56	23,12	76,12	10,15	28,37
14	SE1 1	8	0,65	0,56	11,75	64,50	6,88	38,92
14	SE1 2	8	0,65	0,57	14,46	56,47	6,06	42,73
14	SE2 1	8	0,65	0,57	10,81	67,67	5,31	28,27
14	SE2 2	8	0,65	0,59	8,76	56,34	4,35	34,05
14	SE3 1	8	0,65	0,55	9,87	68,51	6,13	31,27
14	SE3 2	8	0,65	0,56	10,28	63,24	5,63	33,78
15	SF1 1	12	0,65	0,59	17,69	50,48	8,42	23,54

contin...								
15	SF1 2	12	0,65	0,62	10,28	51,39	5,34	20,97
15	SF2 1	12	0,65	0,57	14,14	55,65	7,26	25,05
15	SF2 2	12	0,65	0,58	13,58	61,67	5,20	22,99
15	SF3 1	12	0,65	0,61	11,13	54,09	5,33	23,86
15	SF3 2	12	0,65	0,61	12,04	53,70	5,99	25,11
16	SG1 1	4	0,75	0,61	11,49	68,71	5,49	37,74
16	SG1 2	4	0,75	0,59	8,78	66,52	6,85	42,56
16	SG2 1	4	0,75	0,56	6,79	53,47	5,56	30,39
16	SG2 2	4	0,75	0,58	8,20	55,45	5,07	31,42
16	SG3 1	4	0,75	0,63	15,38	56,12	10,06	44,33
16	SG3 2	4	0,75	0,59	9,41	60,96	5,43	38,65
17	SH1 1	8	0,75	0,57	9,89	52,36	5,17	28,44
17	SH1 2	8	0,75	0,54	7,69	51,82	4,53	24,35
17	SH2 1	8	0,75	0,61	12,14	61,22	5,49	31,29
17	SH2 2	8	0,75	0,63	9,00	52,09	4,89	24,73
17	SH3 1	8	0,75	0,61	14,56	53,27	7,19	27,87
17	SH3 2	8	0,75	0,60	14,59	51,08	6,68	27,66
18	SI1 1	12	0,75	0,59	11,94	36,01	3,73	18,96
18	SI1 2	12	0,75	0,55	9,69	37,37	3,23	15,94
18	SI2 1	12	0,75	0,61	7,34	46,34	3,45	18,36
18	SI2 2	12	0,75	0,60	9,47	41,31	4,57	23,40
18	SI3 1	12	0,75	0,64	11,89	40,81	6,46	23,27
18	SI3 2	12	0,75	0,58	7,35	44,50	3,55	23,57

Onde: CP = corpo de prova; Tad = teor de adesivo; DN = densidade nominal; DO = densidade observada; Ab 2h = absorção d'água 2 horas de imersão; Ab 24 h = absorção d'água – 24 horas de imersão; IE 2h = inchamento em espessura – 2 horas de imersão; IE 24h = inchamento em espessura – 24horas de imersão

ANEXO 3.

Análise de variância da regressão

TABELA 21. Análise de variância da regressão para MOR - palito

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	49,2295	2	24,6147	21,26	0,0000
Resíduo	59,0581	51	1,158		
Total	108,288	53			

TABELA 22. Análise de variância da regressão para MOR - serragem

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	73,5581	2	36,779	52,32	0,0000
Resíduo	34,4463	49	0,702986		
Total	108,004	51			

TABELA 23. Análise de variância da regressão para MOE- palito

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	0,834276	2	0,417138	16,26	0,0000
Resíduo	1,3081	51	0,025649		
Total	2,14238	53			

TABELA 24. Análise de variância da regressão para MOE- serragem

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	8434,9	2	4217,45	25,04	0,0000
Resíduo	8253,6	49	168,441		
Total	16688,5	51			

TABELA 25. Análise de variância da regressão para LI - palito

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	17,4367	2	8,71833	157,40	0,0000
Resíduo	7,31128	132	0,0553885		
Total	24,7479	134			

TABELA 26. Análise de variância da regressão para LI - serragem

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	12,7608	2	6,3804	93,00	0,0000
Resíduo	9,05653	132	0,0686101		
Total	21,8173	134			

TABELA 27. Análise de variância da regressão para AP - palito

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	20,4311	2	10,2156	12,75	0,0000
Resíduo	40,8568	51	0,801113		
Total	61,2879	53			

TABELA 28. Análise de variância da regressão para AP- serragem

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	26,382	2	13,191	19,98	0,0000
Resíduo	33,672	51	0,660235		
Total	60,054	53			

TABELA 29. Análise de variância da regressão para Ab 24h - palito

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	13,0446	1	13,0446	35,37	0,0000
Resíduo	19,1757	52	0,368763		
Total	32,2203	53			

TABELA 30. Análise de variância da regressão para Ab 24h - serragem

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	14,7444	1	14,7444	46,32	0,0000
Resíduo	16,5524	52	0,318315		
Total	31,2968	53			

TABELA 31. Análise de variância da regressão para IE 24h – palito

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	22,6151	1	22,6151	71,57	0,0000
Resíduo	16,4308	52	0,315978		
Total	39,0459	53			

TABELA 32. Análise de variância da regressão para IE 24h - serragem

FV	SQ	GL	QM	F	P
Modelo	25,3446	1	25,3446	133,93	0,0000
Resíduo	9,84039	52	0,189238		
Total	35,185	53			