

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

Centro de Engenharias



TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Painéis compensados de *Pinus taeda* produzidos com resina uréia-formaldeído e diferentes proporções de resina à base de tanino

**Ramon Kuhn Pollnow**

Pelotas, 2010

**RAMON KUHN POLLNOW**

**Painéis compensados de *Pinus taeda* produzidos com resina uréia-formaldeído e diferentes proporções de resina à base de tanino**

Trabalho acadêmico apresentado ao Curso de Engenharia Industrial Madeireira da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Industrial Madeireiro.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Érika da Silva Ferreira

Pelotas, 2010

**Banca examinadora:**

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Érika da Silva Ferreira (Centro de Engenharias - UFPel)

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Merielen de Carvalho Lopes (Centro de Engenharias - UFPel)

Prof. M.Sc. Marcos Theodoro Müller (Centro de Engenharias - UFPel)

## **DEDICO**

*Aos meus queridos e amados:*

*Pais, Luis Carlos e Mirna;*

*Namorada, Roberta.*

## **AGRADECIMENTOS**

À Universidade Federal de Pelotas, pela oportunidade de realização do curso de Engenharia Industrial Madeireira;

À Universidade Federal do Paraná e aos responsáveis pelos Laboratórios de Painéis de Madeira e Tecnologia da Madeira, pela oportunidade da realização deste trabalho;

Aos técnicos de laboratório Ademir, Victor e Rosilane, pelo auxílio na condução das etapas deste trabalho;

À Prof.<sup>a</sup> orientadora Érika da Silva Ferreira, pela orientação e ensinamentos;

Aos demais professores e funcionários do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, pelos conhecimentos transmitidos;

Aos colegas de graduação, pelo companheirismo em todos os momentos.

## Resumo

Pollnow, Ramon Kuhn. **Painéis compensados de *Pinus taeda* produzidos com resina uréia-formaldeído e diferentes proporções de resina à base de tanino.** 2010. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Engenharias. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

Este trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade de painéis compensados de *Pinus taeda* produzidos com resina uréia-formaldeído e diferentes proporções de resina à base de tanino, verificando a viabilidade de sua aplicação como uma resina alternativa. Para este estudo, inicialmente foram avaliadas as propriedades das resinas puras, bem como suas modificações na razão de 10%, 20%, 30% e 40% de resina à base de tanino. Posteriormente foram produzidos painéis compensados com 5 lâminas, de 2 mm de espessura cada, de madeira e dimensões de 50 x 50 cm, sendo realizadas 3 repetições por tratamento. Para manufatura dos painéis utilizou-se uma pressão específica de 10 kgf/cm<sup>2</sup>, temperatura de 120°C e um tempo de prensagem de 8 minutos, com gramatura de 360 g/m<sup>2</sup> linha dupla. Em seguida foram avaliadas as propriedades físicas (massa específica, teor de umidade, absorção de água, recuperação em espessura e inchamento mais recuperação em espessura) e mecânicas (resistência à flexão estática e resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento) dos painéis. As propriedades dos adesivos modificados mostraram-se satisfatórias até a proporção de 30% de tanino. Contudo, para confecção dos painéis, foi viável a utilização do tanino apenas até a proporção de 20%, devido ao aumento de viscosidade da batida de cola, impossibilitando o adequado espalhamento do adesivo. As propriedades físicas dos painéis não foram influenciadas pela adição das diferentes proporções de tanino. A resistência a flexão dos painéis apresentou resultados satisfatórios para todos os tratamentos. Entretanto, a resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento mostrou-se satisfatória apenas para o teste seco. De modo geral, os painéis compensados avaliados podem ser indicados para o uso interno. A modificação do adesivo convencional foi viável e desta forma minimiza o uso de adesivos sintéticos.

**Palavras - chave:** Painel compensado. *Pinus taeda*. Uréia-formaldeído.

Tanino.

## Abstract

Pollnow, Ramon Kuhn. *Pinus taeda* plywood panels produced with urea-formaldehyde resin and different proportions of tannin-based resin. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso – Centro de Engenharias. Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

This study aimed to evaluate the quality of *Pinus taeda* plywood panels produced with urea-formaldehyde resin and different proportions of tannin-based resin, checking the viability of its application as an alternative resin. For this study, the properties of pure resins and their modifications were evaluated in a ratio of 10%, 20%, 30% and 40% of tannin-based resin. Later were produced plywood with 5 slides, 2 mm thick each, wood and dimensions of 50 x 50 cm, and held three replicates per treatment. To manufacture the panels were used a specific pressure of 10 kgf/cm<sup>2</sup>, temperature of 120°C and a pressing time of 8 minutes, with a weight of 360 g/m<sup>2</sup> double line of resin. Then were evaluated the physical properties (density, moisture content, water absorption, thickness recovery and rehabilitation more swelling in thickness) and mechanical (resistance to bending and resistance of the glue line to shear stresses) of the panels. The properties of modified adhesives showed to be satisfactory until the proportion of 30% tannin. The resistance to bending of the panels showed satisfactory results for all treatments. However, the resistance of the glue line shear stresses was satisfactory only for the dry test. In general, the plywood panels evaluated may be given for the internal use. The modification of the conventional adhesive was viable, thus minimizing the use of synthetic adhesives.

**Key - words:** Plywood panels. *Pinus taeda*. Urea-formaldehyde. Tannin.

## **Lista de figuras**

Figura 1 - Esquema de distribuição dos corpos-de-prova para avaliação das propriedades dos painéis compensados. ....	18
--	----

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Delineamento experimental para produção dos compensados.....	15
Tabela 2 - Parâmetros do processo de prensagem dos tratamentos com resina uréia-formaldeído e suas modificações com resina tânica.....	16
Tabela 3 - Parâmetros do processo de prensagem do tratamento com resina tanino-formaldeído.....	16
Tabela 4 - Formulação da batida de cola utilizada para confecção dos adesivos a base de uréia-formaldeído e suas modificações .....	17
Tabela 5 - Formulação da batida de cola utilizada para confecção do adesivo a base de tanino-formaldeído .....	17
Tabela 6 - Valores médio encontrados do Teor de sólidos (TS), Viscosidade (V), Tempo de formação de gel (TFG), pH, Tempo de escoamento (TE) e Densidade (D) das resinas. ....	23
Tabela 7 - Valores médios da Massa Específica (ME) e Teor de Umidade (TU) dos painéis produzidos com as resinas uréia-formaldeído, tanino e suas modificações. ....	24
Tabela 8 - Valores médios para Absorção de Água (AA) encontrados após 2 e 24 horas de imersão.....	25
Tabela 9 - Valores médios obtidos para Recuperação em espessura (RE) e Inchamento mais recuperação em espessura (IR).....	26
Tabela 10 - Valores médios encontrados para Módulo de Ruptura (MOR) nos sentidos paralelo e perpendicular à lâmina de capa.....	27
Tabela 11 - Valores médios encontrados para Módulo de Elasticidade (MOE) nos sentidos paralelo e perpendicular à lâmina de capa. ....	28
Tabela 12 - Valores médios encontrados para o Teste Seco da Resistência da Linha de Cola aos esforços de cisalhamento (RLC).....	29
Tabela 13 - Valores médios encontrados para o Teste Úmido da Resistência da Linha de Cola aos esforços de cisalhamento (RLC).....	30

Tabela 14 - Análise de variância para variável massa específica nos tratamentos avaliados. ....	37
Tabela 15 - Análise de variância para variável absorção de água em 2 horas nos tratamentos avaliados.....	37
Tabela 16 - Análise de variância para variável absorção de água em 24 horas nos tratamentos avaliados.....	37
Tabela 17 - Análise de variância para variável recuperação em espessura nos tratamentos avaliados.....	37
Tabela 18 - Análise de variância para variável inchamento mais recuperação em espessura nos tratamentos avaliados. ....	38
Tabela 19 - Análise de variância para variável módulo de ruptura paralelo nos tratamentos avaliados.....	38
Tabela 20 - Análise de variância para variável módulo de ruptura perpendicular nos tratamentos avaliados.....	38
Tabela 21 - Análise de variância para variável módulo de elasticidade paralelo nos tratamentos avaliados.....	38
Tabela 22 - Análise de variância para variável módulo de elasticidade perpendicular nos tratamentos avaliados.....	38
Tabela 23 - Análise de variância para variável resistência da linha de cola teste seco nos tratamentos avaliados. ....	39
Tabela 24 - Análise de variância para variável resistência da linha de cola teste úmido nos tratamentos avaliados. ....	39

## **Lista de quadros**

Quadro 1 - Divisões e subdivisões dos adesivos para madeira .....	7
---	---

## **Lista de abreviaturas e siglas**

Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada  
Mecanicamente – ABIMCI

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT

Fenol-formaldeído – FF

Medium Density Fiberboard - MDF

Melanina-formaldeído – MF

Oriented Strand Board – OSB

Painel de Lâminas Paralelas - PLP

Programa Nacional de Qualidade da Madeira – PNQM

Resorcinol-formaldeído - RF

Revista da Madeira – REMADE

Tanino-formaldeído - TF

Uréia-formaldeído – UF

## Sumário

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Geral: .....</b>	<b>3</b>
<b>2.2 Específicos: .....</b>	<b>3</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>4</b>
<b>3.1 Produtos Reconstituídos de Madeira .....</b>	<b>4</b>
<b>3.2 Painéis de Madeira Compensada.....</b>	<b>5</b>
<b>3.3 Adesivo .....</b>	<b>6</b>
<b>3.3.1 Adesivo Uréia - Formaldeído.....</b>	<b>8</b>
<b>3.3.2 Adesivos à Base de Tanino .....</b>	<b>8</b>
<b>3.4 Extensores .....</b>	<b>10</b>
<b>3.5 Catalisadores.....</b>	<b>11</b>
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>12</b>
<b>4.1 Material.....</b>	<b>12</b>
<b>4.1.1 Lâminas de <i>Pinus taeda</i> .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1.2 Resina uréia-formaldeído .....</b>	<b>12</b>
<b>4.1.3 Resina à base de tanino .....</b>	<b>12</b>
<b>4.2 Determinação das propriedades das resinas .....</b>	<b>12</b>
<b>4.2.1 Viscosidade .....</b>	<b>13</b>
<b>4.2.2 Teor de sólidos.....</b>	<b>13</b>
<b>4.2.3 Tempo de formação de gel (gel time).....</b>	<b>14</b>
<b>4.2.4 pH .....</b>	<b>14</b>
<b>4.3 Manufatura dos Painéis .....</b>	<b>14</b>
<b>4.4 Ensaio físicos e mecânicos .....</b>	<b>17</b>
<b>4.4.2 Massa específica .....</b>	<b>18</b>

4.4.3 Teor de umidade .....	19
4.4.4 Absorção de água .....	19
4.4.5 Recuperação em espessura (RE) e Inchamento mais recuperação em espessura (IR) .....	19
4.4.6 Resistência à flexão estática (MOR e MOE) .....	20
4.4.7 Resistência da linha cola aos esforços de cisalhamento e percentagem de falha na madeira .....	21
4.5 Análise estatística .....	22
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES .....</b>	<b>23</b>
5.1 Propriedades dos adesivos .....	23
5.2 Propriedades dos painéis .....	24
5.2.1 Propriedades físicas .....	24
5.2.1.1 Massa específica e teor de umidade .....	24
5.2.1.2 Absorção de água .....	25
5.2.1.3 Recuperação em espessura e Inchamento mais recuperação em espessura .....	26
5.2.2 Propriedades mecânicas .....	27
5.2.2.1 Flexão estática (MOR e MOE) .....	27
5.2.2.2 Resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento .....	29
<b>6. CONCLUSÕES .....</b>	<b>32</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>33</b>
<b>APÊNDICE .....</b>	<b>38</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Tendo em vista a crescente demanda por produtos à base de madeira, aliada a vigente escassez de produtos de madeira maciça, os painéis de madeira reconstituída se tornam de vital importância para o abastecimento do mercado mundial. Hoje, os painéis de madeira já demonstram serem capazes de substituir a madeira sólida com eficiência e economia nas mais diversas finalidades, como na fabricação de móveis e na construção civil, por exemplo.

Na manufatura de produtos reconstituídos de madeira, o adesivo é um componente fundamental, tendo em vista ser responsável pela ligação entre as peças de madeira e pela transferência de tensões geradas na linha de cola durante a sua utilização, além da participação significativa na composição de custos de produção (IWAKIRI, 2000). Tendo em vista este fato, o estudo do comportamento dos adesivos já existentes bem como a procura por novas alternativas é fundamental para que ocorram avanços na produtividade e qualidade deste segmento.

A indústria de compensados foi instalada inicialmente no sul do país na década de 40, utilizando a madeira de araucária como matéria-prima. No entanto, somente na década de 70 atingiu níveis significativos de produção (ABIMCI, 2009).

Nos últimos anos, o compensado tem enfrentado períodos de grande competitividade gerados pelo avanço de outros painéis de madeira no mercado. Por este motivo, torna-se bastante importante considerar medidas que venham a melhorar a competitividade do produto, colocando-o em igualdade de condições com esses painéis de madeira. Para tal, alguns aspectos devem ser considerados, sendo que aumentos de produtividade, qualidade e diminuição dos custos operacionais estão entre os principais (ABIMCI, 2003).

Nas indústrias de compensados, as resinas utilizadas em maior escala são as fenólicas e uréicas, ambas provenientes de derivados do petróleo. Sendo o petróleo um recurso não renovável, torna-se importante pesquisas que visem a utilização de resinas alternativas.

Dentre os materiais pesquisados para substituição dos adesivos sintéticos na fabricação de painéis de madeira aglomerada e compensados, destaca-se o tanino, polifenol obtido de várias fontes renováveis, como por exemplo, da casca de acácia negra (*Acacia mearnsii*), *Pinus radiata* e da madeira do cerne de quebracho (*Schinopsis* sp.) (LELIS et al., 2004).

Segundo PASTORE JUNIOR (1977) *apud* SOUZA (2006) o tanino é uma substância amplamente distribuída entre as plantas, sendo que na casca de algumas espécies a concentração pode atingir até 40 %, permitindo assim a sua exploração comercial.

No Brasil, o tanino é obtido especialmente da casca de acácia negra (*Acacia mearnsii*). O teor de polifenóis (taninos) na casca de Acácia pode chegar até a 35 % (ROFFAEL & DIX, 1989 *apud* SOUZA, 2006).

Segundo Hilling et al. (2002), os adesivos à base de tanino além de serem mais baratos que os adesivos à base de fenol e formol, possuem satisfatória resistência à água.

A adição de resina tânica na confecção de painéis de madeira pode contribuir de maneira significativa para a redução dos custos das chapas, uma vez que os custos dos adesivos são bastante elevados em relação ao custo total do painel, justamente por serem à base de petróleo.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Geral:

Avaliar a mistura em diferentes proporções de resina tânica com uréia-formaldeído na colagem de painéis compensados confeccionados com madeiras de *Pinus taeda*, estudando a viabilidade da adição do tanino como resina alternativa.

### 2.2 Específicos:

- Avaliar as propriedades das resinas puras e suas modificações (10%, 20%, 30% e 40%);
- Confeccionar painéis compensados de pinus com diferentes proporções de resinas;
- Avaliar o comportamento das propriedades físicas e mecânicas dos painéis (MOE e MOR - flexão estática, cisalhamento na linha de cola, percentagem de falha na madeira).

### **3. REVISÃO DE LITERATURA**

#### **3.1 Produtos reconstituídos de madeira**

Os produtos feitos a partir de madeira reconstituída podem contribuir benéficamente para a qualidade de vida da sociedade, pois possibilitam o aumento da oferta de produtos à base de madeira, melhorando também as propriedades destes produtos aumentando assim a sua utilização, podendo também servir como alternativas a outros materiais como metálicos e poliméricos (IWAKIRI, 2005).

Os painéis reconstituídos de madeira surgem como alternativa ao uso de madeiras maciças, que entraram em regime de restrição na metade do século passado, por esgotamento ou limitações ambientais.

Os fabricantes de painéis de madeira reconstituída utilizam, preponderantemente, na confecção de seus produtos, madeira proveniente de maciços florestais plantados e, para completar o mix, resíduos de serrarias. As empresas dispõem de mais de 200 mil hectares de florestas próprias de pinus e de eucalipto (REMADE, 2003).

Em função de sua estrutura heterogênea e anisotrópica, a madeira, segundo IWAKIRI (2005), apresenta uma série de limitações quanto ao seu uso em relação às suas dimensões: largura, comprimento e espessura.

Por se tratar de um material anisotrópico, com variação das propriedades mecânicas em relação ao sentido longitudinal, tangencial e radial, a madeira maciça acaba não sendo aproveitada em sua totalidade. Desta forma, a fabricação de painéis possibilita a confecção de um material mais homogêneo, capaz também de suprir defeitos naturais como: defeitos referentes à constituição da madeira, grã, lenho juvenil ou adulto, lenho de reação entre outros.

Tendo em vista essas limitações, a reconstituição da madeira veio para melhorar as propriedades dos produtos de madeira e aumentar a sua gama de utilizações.

De acordo com Bodig e Jayne (1982) *apud* Bronoski (2006), os produtos compostos de madeira podem ser classificados em dois grupos: compostos laminados, onde utilizam processos de colagem contínuas em produtos como: compensados multilaminados, sarrafeados, painéis de lâminas paralelas (PLP); e compostos particulados, os quais utilizam pequenos elementos de madeira (partículas/fibras) como painéis aglomerados, painéis de fibras dura, MDF, OSB, painéis isolantes, etc.

### **3.2 Painéis de madeira compensada**

São chapas compostas, geralmente, por um número ímpar de camadas de madeira, que são coladas entre si utilizando-se resinas sintéticas (resinas a base de uréia-formaldeído para uso interno; a base de fenol-formaldeído para uso externo). As lâminas são cruzadas de tal forma que as grãos de cada lâmina são sempre perpendiculares à camada adjacente. O número ímpar de lâminas provê um melhor balanceamento estrutural e conseqüente resistência ao compensado (ABIMCI, 2003).

O primeiro tipo de painéis de madeira foi o compensado multilaminado que surgiu no início do século XX (REMADE, 2008). O painel compensado passou a ser utilizado em larga escala, tendo em vista suas vantagens tecnológicas como maior largura, melhor distribuição dos defeitos naturais e resistência da madeira nos planos longitudinal e transversal. As madeiras utilizadas na produção de compensados eram as espécies nativas de baixa densidade, tendo em vista a facilidade de laminação no torno desfolhador.

O processo de produção do compensado se inicia com a seleção de árvores na floresta, em termos de diâmetro e forma do fuste. Elas são transformadas em toras, em seguida descascadas, aquecidas e laminadas. Da laminação, as lâminas são submetidas à secagem. Para a formação do compensado, as lâminas são coladas sobrepostas e prensadas a frio para facilitar as operações de carregamento e melhorar a distribuição do adesivo nas lâminas, antes da prensagem a quente. Os painéis seguem uma seqüência de operações de acabamento depois da prensagem a quente, como:

acondicionamento, esquadrejamento, calibração e lixamento, para posterior classificação e armazenagem (ABIMCI, 2003).

Os compensados são classificados basicamente em três tipos, de acordo com a sua utilização e tipo de resina utilizada: uso interior, produzido com a resina uréia-formaldeído, uso intermediário, produzido com resina melamina-formaldeído, e uso exterior, produzido com a resina fenol-formaldeído. São encontrados no mercado sete tipos principais de compensado: laminados, sarrafeados, decorativos, industrial, naval, resinados e plastificados (IWAKIRI et al., 2005).

Segundo MATTOS et al. (2008), no Brasil, emprega-se como matéria-prima madeira advinda de florestas plantadas, especialmente pinus, e também madeira proveniente de florestas nativas de folhosas.

### **3.3 Adesivo**

O adesivo tem uma importância extraordinária devido ao seu elevado custo quando comparado com a madeira, pois os adesivos usualmente empregados na atualidade são, predominantemente, sintéticos. Estes adesivos têm como elemento principal na sua formulação compostos derivados do petróleo e que, por suas excelentes propriedades, têm praticamente substituído os adesivos naturais (CHOW, 1983; IWAKIRI, 2002).

Segundo KEINERT e WOLF (1984) *apud* CARNEIRO (2002) a importância da colagem, no caso da madeira e seus derivados, baseia-se principalmente em razões econômicas e tecnológicas. Somente o desenvolvimento de adesivos especiais, aliado a uma tecnologia específica de colagem, possibilitou o melhor aproveitamento da matéria-prima madeira, a eliminação de propriedades indesejáveis e a criação de produtos com propriedades até superiores à do material original.

HILLIG et al. (2002) citam que devido à oscilação dos preços do petróleo dos produtos sintéticos advindos de fontes de matéria-prima não-renováveis, a utilização de resinas à base de extratos de casca de espécies florestais tem sido alvo de inúmeras investigações.

Segundo IWAKIRI (2005), a colagem de madeiras envolve três conceitos iniciais. Dentre eles estão:

- Adesão – fenômeno físico-químico que promove um mecanismo de interação entre superfícies sólidas;
- Adesivos – material com propriedades aderentes, isto é, uma substância capaz de manter unidos outros materiais em suas superfícies;
- Aderentes – termo usado para sólidos (madeira) unidos por adesivos.

Os adesivos para madeira podem ser classificados de várias maneiras, origem dos componentes primários, temperatura de cura e resistência à umidade como mostra o Quadro 01.

**Quadro 1-** Divisões e subdivisões dos adesivos para madeira

<b>Origem dos Componentes Primários</b>
Naturais e Sintéticos
<b>Temperatura de cura</b>
Adesivo de alta temperatura de cura (superior a 90°C)
Adesivo de media temperatura de cura (entre 30°C e 90°C)
Adesivo de baixa temperatura de cura (inferior a 30°C)
<b>Resistência a umidade</b>
A prova d'água
Resistente à umidade
Não resistente a umidade

Fonte: ABIMCI (2003)

Um dos adesivos mais importantes é o de uréia-formaldeído (UF), uma vez que aproximadamente 90% das chapas produzidas no mundo são feitas tendo essa resina como base. Em termos quantitativos, seguem depois o fenol-formaldeído (FF), a melamina (MF) e o resorcinol-formaldeído (RF). A qualidade da linha de cola aumenta na seqüência UF, MF, FF, RF. Na mesma ordem aumenta também o preço, com exceção da resina MF, que é mais cara

que a FF. Uma cola de alto preço é a RF, que custa de quatro a cinco vezes mais que a FF (CARNEIRO, 2002).

### **3.3.1 Adesivo uréia - formaldeído**

Adesivos que podem ser formulados para curar a temperatura ambiente (20°C) ou para aquecimento, através de prensas quentes, a temperaturas que variam até 115°C. Podem ser usados com extensores (substâncias a base de farinha de cereais, com alguma ação adesiva, que são adicionados na composição do adesivo para painéis compensados), que propiciam colagens perfeitas quando aplicados nas porcentagens adequadas. Dão corpo ao adesivo, evitando que o mesmo penetre demais na lâmina de madeira, e atuam como adesivo em função da quantidade de proteínas que lhe conferem esta capacidade (ABIMCI, 2003).

Dentre as resinas sintéticas mais utilizadas destaca-se a uréia-formaldeído, tendo em vista o seu baixo custo em relação às demais (fenol-formaldeído, melamina-formaldeído). Segundo Iwakiri (2005), esta resina foi desenvolvida na década de 30, possui uma ampla aplicação em todo o mundo, na colagem de madeiras sólidas e compostos laminados e particulados em geral. É uma resina classificada como de uso interno (INT), devido a sua baixa resistência e susceptibilidade a degradação na presença de umidade.

Os catalisadores utilizados na cura a frio são os orgânicos, como ácido cítrico, ácido fórmico, enquanto que para a cura a quente, normalmente à temperatura entre 90 a 120°C, é utilizado sulfato de amônio (IWAKIRI, 2005).

### **3.3.2 Adesivos à Base de Tanino**

O desenvolvimento de adesivos baseados em taninos vegetais efetua-se em várias partes do mundo. As primeiras tentativas provaram ser insatisfatórias e após um longo período de inatividade, renovaram-se as pesquisas, principalmente na Austrália, África do Sul, Inglaterra e EUA. Hoje é

certo que estas substâncias naturais contendo fenóis, figuram proeminentemente na síntese de adesivos fenólicos para a colagem de madeira, principalmente na prensagem a quente (ABIMCI,2003).

De acordo com Hillig et al. (2002) os taninos vegetais ou naturais podem ser encontrados em várias partes do vegetal, como madeira (cerne), casca, frutos e sementes. São constituídos por polifenóis, classificados quimicamente em hidrolisáveis e condensados, obtidos de várias fontes renováveis.

Hergert (1989) e Pizzi e Mittal (1983) apud Carneiro et al. (2001), mencionam que os polifenóis hidrolisáveis estão presentes em extratos de cascas e madeiras de algumas espécies florestais. Podem ser utilizados como substitutos parciais do fenol na produção de resinas e adesivos à base de fenol-formaldeído. Já os taninos condensados apresentam grande importância na fabricação de adesivos, sendo aqueles provenientes dos extratos da casca de acácia negra e da madeira de quebracho os mais importantes taninos condensados produzidos industrialmente.

Os taninos apresentam grande poder de ligação e podem condensar-se com formaldeído a um determinado pH formando, deste modo, uma resina, apresentando grande potencial para substituir os adesivos sintéticos (GONCALVES G, 2008).

A qualidade da colagem com adesivos de taninos pode ser influenciada pelos componentes químicos não fenólicos, presentes nos extrativos, como açúcares, gomas, aminoácidos, pectinas, e também pelos produtos químicos utilizados na extração. Tais componentes influenciam na viscosidade da resina (tanino-formaldeído), reduzem a vida útil e evitam a formação de ligações cruzadas intermoleculares, diminuindo assim, a resistência da linha de cola (PIZZI, 1994 apud CARNEIRO et al., 2001).

As formulações com tanino requerem alguma quantidade de formol e possivelmente de resina fortificante, porém, a quantidade dos materiais sintéticos requeridos é dramaticamente reduzida, o que se torna menos agressivo ao homem e ao ambiente, sendo ecologicamente correto (CHIPANSKI, 2006).

### 3.4 Extensores

Os extensores são materiais funcionais que muitas das vezes reduzem o custo global do adesivo. São considerados extensores os materiais que possuem alguma propriedade adesiva e cuja adição melhora a capacidade de adesão da resina. O termo extensor é a terminologia mais amplamente utilizada na literatura, nas patentes e nas indústrias, e é muitas vezes usado indiscriminadamente para se referir a cargas, a menos que exista uma diferença muito distinta entre os usos (SELLERS JR., 1985 apud ALMEIDA, 2009).

Dentre seus objetivos, citados por Iwakiri et al. (2005), estão: reduzir o custo do adesivo, aumentar a viscosidade do adesivo para melhor espalhamento e absorção do produto, evitar a redução precoce da viscosidade na fase inicial do aquecimento, entre outros.

No Brasil, as indústrias de compensados utilizam como extensores a farinha de trigo, a qual, em grande parte, ainda é importada. No entanto, outros materiais estão sendo estudados e testados. Materiais como farinhas de centeio, soja, milho, mandioca, sorgo, aveia, cevada, arroz, caroço de algodão, sangue de animais, batatas, entre outros, são mencionados por MOREIRA (1985), tendo alguns deles grande potencial de utilização.

Segundo o boletim técnico da ALBA QUIMICA (1990) citado por Iwakiri et al. (2000), a quantidade de extensores no adesivo pode variar de 25 a 125 partes por peso de sólidos da resina. Menor grau de extensão é recomendado para compensados destinados à exportação, com maior resistência a umidade ambiental e, maior grau de extensão destina-se aos chamados compensados “caixaria”, nos quais os índices técnicos exigidos são mais baixos.

Iwakiri et al. (2005) ainda citam algumas características fundamentais para que uma substância possa ser utilizada como extensor, a seguir:

- Ser de fácil dispersão na resina líquida, para formação de uma mistura homogênea;
- Evitar a ultrapassagem do adesivo para a superfície do painel;

- O pH deve ser neutro, em torno de sete, para não interferir na reação de cura da resina;
- Deve possuir baixo teor de cinzas (materiais abrasivos) para que não prejudique as ferramentas de corte.

Iwakiri et al. (2005), ainda citam outros materiais a serem utilizados, os produtos chamados “materiais de enchimento”, que consistem de substâncias sem propriedades de adesão, e que são adicionados com o objetivo de aumentar o volume do adesivo e baratear o produto final. Mas ainda afirmam que o uso em excesso resulta no progressivo enfraquecimento da resistência da linha de cola.

Ribeiro (2008) cita produtos comumente utilizados como materiais de enchimento: farinha de trigo, babaçu, farinha de mandioca e farinha de aveia.

### **3.5 Catalisadores**

O uso de catalisadores na indústria de painéis visa reduzir o pH da resina aplicada e acelerar a cura. Entre os diversos tipos de catalisadores disponíveis, o sulfato de amônio e o cloreto de amônio são os mais utilizados, devido aos baixos custos. Porém, o uso de cloreto em painéis é restringido em muitos países, devido à formação de compostos clorados pela incineração em caldeiras. Dessa forma o mais indicado é o sulfato de amônio (LESSMANN, 2008).

## **4. MATERIAL E MÉTODOS**

### **4.1 Material**

#### **4.1.1 Lâminas de *Pinus taeda***

As lâminas de *Pinus taeda* foram doadas pela Universidade Federal do Paraná (UFPR).

#### **4.1.2 Resina uréia-formaldeído**

A resina uréia-formaldeído, comercialmente denominada Cascamite PL2030, é classificada como de uso interno (INT) devido a sua baixa resistência e susceptibilidade a degradação na presença de umidade, sendo indicada para compensados laminados, foi concebida pela empresa HEXION QUIMICA, Curitiba, Paraná e doada pela empresa ROHDEN ARTEFATOS DE MADEIRA, Salete, Santa Catarina.

#### **4.1.3 Resina à base de tanino**

Produto desenvolvido para ser utilizado como extrato base para adesivos vegetais, especialmente indicados para compensados, aglomerados e caixas de papelão ondulado, doada pela empresa TANAC, localizada em Montenegro, Rio Grande do Sul.

### **4.2 Determinação das propriedades das resinas**

Foram determinadas as propriedades das resinas sintéticas uréia-formaldeído (Cascamite PL 2030) e suas modificações com tanino da casca de acácia negra. As modificações da resina foram feitas pela substituição de parte

da uréia-formaldeído pela resina à base de tanino a 45% na razão de 10%, 20%, 30%, 40%. Foram realizadas três repetições por tipo de resina. A confecção da resina e a determinação de suas propriedades (viscosidade, pH, densidade, teor de sólidos e tempo de formação de gel) foram desenvolvidas no Laboratório de Painéis de Madeira da Universidade Federal do Paraná.

#### 4.2.1 Viscosidade

A viscosidade foi determinada com o uso do viscosímetro Brookfield a temperatura de 25°C. Para isso, colocou-se 250 ml da resina em um becker, onde foi utilizado o *spin* (haste) número (a ser testado) do equipamento, nas velocidades 6, 12 e 30. Retirou-se uma média dos três valores obtidos na escala do equipamento e posterior conversão em mPa.s, com auxílio da tabela existente no próprio equipamento.

#### 4.2.2 Teor de sólidos

O teor de sólidos foi realizado após homogeneização da resina e foi determinado da seguinte forma: após a homogeneização da resina, pesou-se aproximadamente 1 g de amostra, determinando-se o peso úmido. Após a secagem por aproximadamente 5 horas em estufa à 103° ± 2°C determinou-se seu peso seco.

A determinação do teor de sólidos foi obtida de acordo com a equação 1.

$$TS = \frac{PS}{PU} \times 100 \quad [1]$$

sendo:

TS = teor de sólidos (%);

PS = peso seco da resina (g);

PU = peso úmido da resina (g)

#### **4.2.3 Tempo de formação de gel (gel time)**

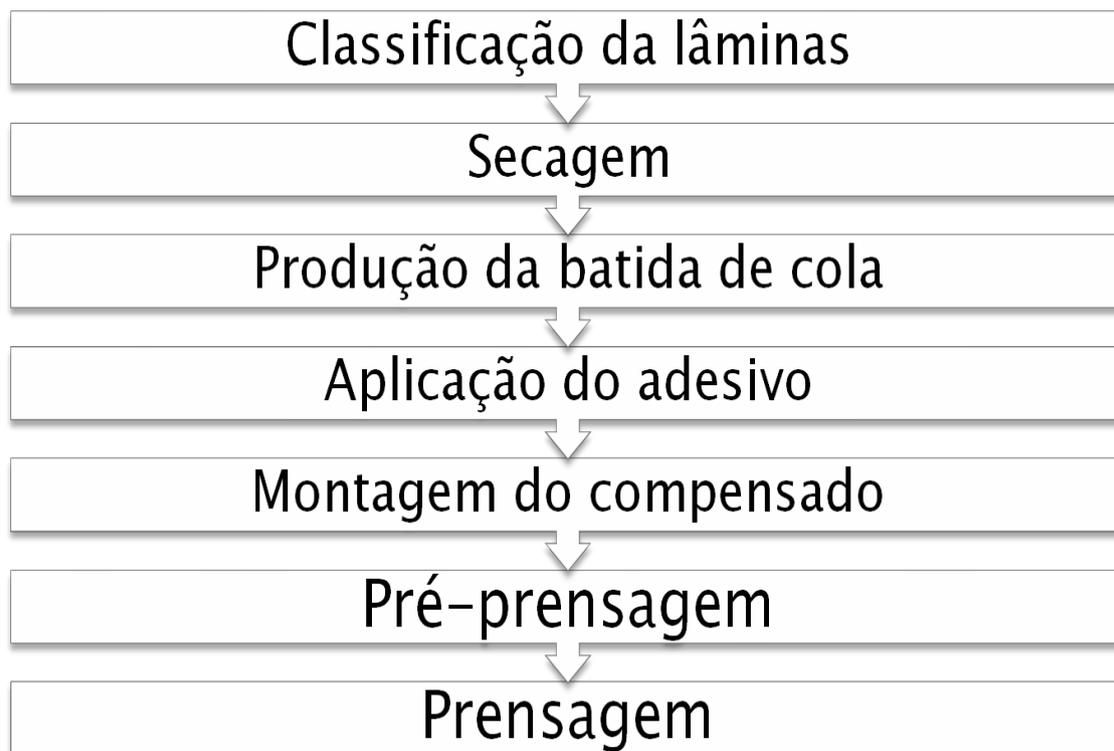
Uma quantidade de 10 gramas de resina foi colocada em um tubo de ensaio. Para a determinação do tempo de formação de gel da resina uréia-formaldeído e suas modificações, foi utilizado como catalisador uma solução de sulfato de amônia a 24%, na razão de 2% sobre o peso total de sólidos da resina. No caso da resina tânica a 45% de sólidos, foi utilizado como catalisador uma solução de formaldeído a 37%, na proporção de 8% sobre o peso de sólidos da resina. A mistura foi homogeneizada com bastão de vidro em banho de óleo à temperatura de 120°C até o ponto de endurecimento. O tempo necessário para que a mistura atingisse a fase gel expressou o tempo de formação de gel.

#### **4.2.4 pH**

O pH das resinas foi determinado através de pH-metro digital, da marca QUIMIS Aparelhos Científicos Ltda, à temperatura de 25°C. O valor do pH foi registrado após quatro minutos de contato do eletrodo com a solução.

### **4.3 Manufatura dos painéis**

Os painéis compensados foram produzidos com as dimensões de 50 x 50 x 1,0 cm, sendo constituídos por 5 lâminas de *Pinus taeda*. Todas as etapas da manufatura dos painéis foram realizadas no Laboratório de Painéis de Madeira da Universidade Federal do Paraná, sendo conduzidas de acordo com o seguinte fluxograma:



Para o desenvolvimento deste estudo foram delineados 4 tratamentos, com 3 repetições cada, totalizando 12 painéis produzidos, de acordo com a Tabela 1.

**Tabela 1** - Plano experimental para produção dos compensados.

Tratamentos	Resinas
T1	Uréia-formaldeído 100%
T2	90% uréia-formaldeído + 10% tanino
T3	80% uréia-formaldeído + 20% tanino
T4	Tanino-formaldeído

Inicialmente o adesivo foi espalhado de maneira uniforme, com o auxílio de uma espátula, em linha simples. Após aplicação do adesivo, as

lâminas foram sobrepostas alternadamente e deixadas em descanso por um determinado período antes da prensagem (tempo de espera).

Os painéis foram consolidados utilizando-se uma prensa hidráulica, de pratos horizontais com aquecimento elétrico, com tempo de fechamento de 35 segundos. Os parâmetros do processo utilizados para o adesivo uréia-formaldeído, suas modificações e tanino-formaldeído, podem ser observados na tabela 2 e na tabela 3.

**Tabela 2** - Parâmetros do processo de prensagem dos tratamentos com resina uréia-formaldeído e suas modificações com resina à base de tanino

<b>Tempo de prensagem</b>	8 min
<b>Temperatura da prensa</b>	120°C
<b>Pressão da prensa</b>	10kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Tempo de montagem</b>	10 min
<b>Pré-prensagem</b>	5 min
<b>Número de tratamentos</b>	3
<b>Gramatura (linha dupla)</b>	360 g/m <sup>2</sup>

**Tabela 3** - Parâmetros do processo de prensagem do tratamento com resina tanino-formaldeído

<b>Tempo de prensagem</b>	6 min
<b>Temperatura da prensa</b>	140°C
<b>Pressão da prensa</b>	10 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Tempo de montagem</b>	10 min
<b>Pré-prensagem</b>	5 min
<b>Número de tratamentos</b>	1
<b>Gramatura (linha dupla)</b>	360 g/m <sup>2</sup>

A batida de cola utilizada para a confecção dos painéis teve sua formulação concebida de acordo com as Tabelas 4 e 5, para uréia-formaldeído com suas modificações e tanino-formaldeído, respectivamente.

**Tabela 4** - Formulação da batida de cola utilizada para confecção dos adesivos a base de uréia-formaldeído e suas modificações

	<b>Formulação</b> <b>Partes por peso</b>	<b>Proporção</b> <b>%</b>	<b>Quantidade</b> <b>(g)</b>
<b>Resina</b>	100	56,8	340,91
<b>Farinha de trigo</b>	35	19,9	119,32
<b>Água</b>	35	19,9	119,32
<b>Catalisador</b>	6	3,4	20,45
<b>Total</b>	176	100,0	600

**Tabela 5** - Formulação da batida de cola utilizada para confecção do adesivo a base de tanino-formaldeído

	<b>Formulação</b> <b>Partes por peso</b>	<b>Proporção</b> <b>%</b>	<b>Quantidade</b> <b>(g)</b>
<b>Resina</b>	100	58,8	352,94
<b>Farinha de trigo</b>	35	20,6	123,53
<b>Água</b>	35	20,6	123,53
<b>Total</b>	170	100	600

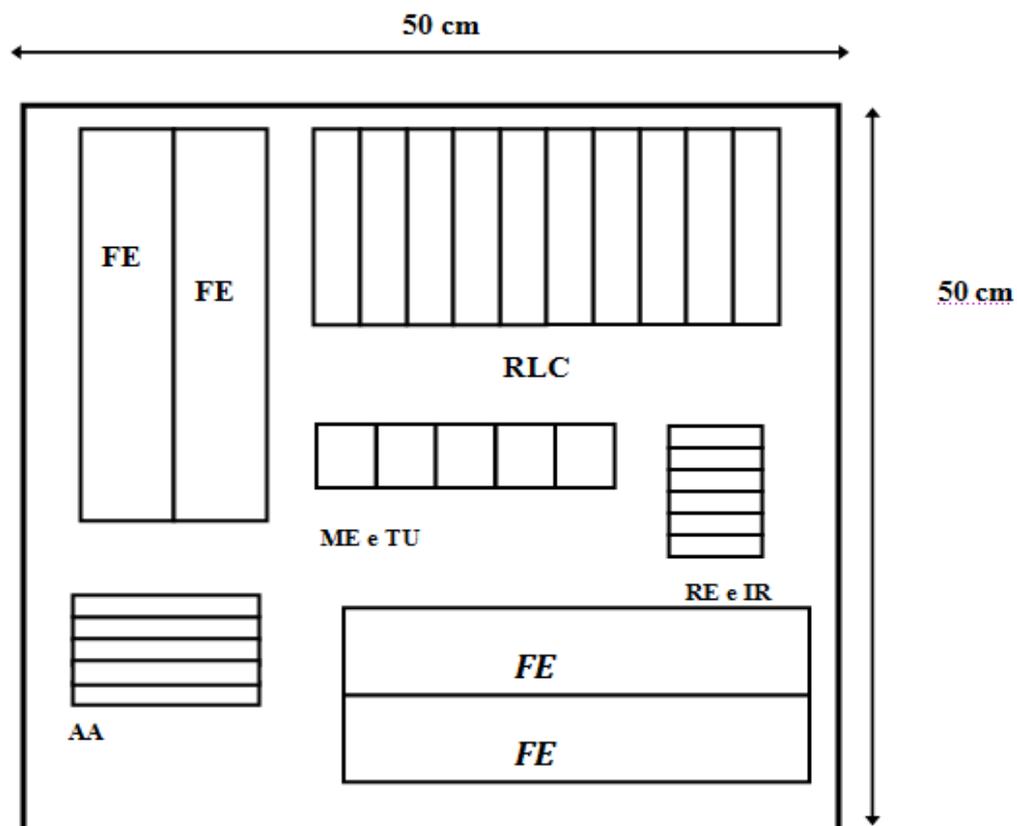
Na formulação apresentada na tabela 5 foi utilizado como catalisador o formaldeído a 37% de sólidos. Foi adicionada uma quantidade de 20% em cima do teor de sólidos, totalizando 95,4 gramas de catalisador para este tratamento.

#### **4.4 Ensaios físicos e mecânicos**

Após o acondicionamento dos painéis a aproximadamente 12% de umidade, foram efetuados os cortes para a retirada dos corpos-de-prova conforme as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT,

2006) e European Standard (EN, 1993), obedecendo ao layout de corte esquematizado na Figura 1.

Os ensaios físicos e mecânicos dos painéis compensados avaliados foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira, na Universidade Federal do Paraná.



**Figura 1** - Esquema de distribuição dos corpos-de-prova para avaliação das propriedades dos painéis compensados.

#### 4.4.2 Massa específica

Para determinação da massa específica foi utilizada a Norma ABNT NBR 9485 (1986). Para este teste foram dimensionados corpos-de-prova com 50 x 50 mm, sendo uma quantidade de 5 por painel e totalizando 60 corpos-de-prova para este ensaio.

#### 4.4.3 Teor de umidade

O teor de umidade dos painéis foi calculado seguindo as determinações da Norma EN 322/2002. Para este teste foram dimensionados corpos-de-prova com 50 x 50 mm, com uma quantidade de 5 por painel e totalizando 60 corpos-de-prova para este ensaio.

#### 4.4.4 Absorção de água

Este ensaio obedeceu a Norma ABNT NBR 9486 (1986), com corpos-de-prova de 75 x 25 mm. Os corpos-de-prova foram pesados após 2 e 24 horas de imersão em água. O cálculo da absorção de água foi realizado através da equação 2:

$$AA = \frac{Mf - Mi}{Mi} \times 100 \quad (2)$$

Sendo,

AA = Absorção de água (%)

Mf = massa final do corpo de prova (g)

Mi = massa inicial do corpo de prova (g)

#### 4.4.5 Recuperação em espessura (RE) e Inchamento mais recuperação em espessura (IR)

Para realização deste ensaio foi adotada a Norma ABNT NBR 9535 (1986), sendo que os corpos-de-prova foram dimensionados em 60 x 10 mm. Com o auxílio de micrômetro, foi medida a espessura no centro de todos os corpos-de-prova. Em seguida foram separados em duas séries de três. Os corpos de controle foram colocados em estufa à  $103^\circ \pm 2^\circ\text{C}$  por 24 horas, sendo novamente medidos após esse período. A outra série foi imersa em água destilada à temperatura ambiente por 24 horas. Após esses períodos os

mesmos foram enxugados com papel absorvente e medidos e em seguida foram colocados em estufa à  $103^{\circ} \pm 2^{\circ}\text{C}$  por 24 horas. Ao final deste período foram novamente medidos. A RE e IR foram calculados de acordo com as equações 3 e 4, respectivamente:

$$R = \left[ \frac{(e_1 \times e_5)}{(e_2 \times e_3)} \right] - 1 \times 100 \quad (3)$$

Sendo,

R = Recuperação em espessura (%);

e1 = soma das espessuras dos corpos utilizados como controle, climatizados (mm);

e2 = soma das espessuras dos corpos utilizados como controle, secos em estufa (mm);

e3 = soma das espessuras dos corpos antes da imersão em água (mm);

e5 = soma das espessuras dos corpos após a imersão em água, secos em estufa (mm).

$$IR = \left[ \frac{(e_1 \times e_4)}{(e_2 \times e_3)} \right] - 1 \times 100 \quad (4)$$

Sendo,

IR = Inchamento mais recuperação em espessura (%);

e4 = soma das espessuras dos corpos após a imersão em água (mm).

#### 4.4.6 Resistência à flexão estática (MOR e MOE)

Os ensaios de resistência à flexão estática obedeceram a Norma EN 310. Os corpos-de-prova foram cortados de acordo com as seguintes dimensões:

E= 10 mm; L= 50 mm; C = 20 x E + 50 mm

Vão = 20 x E = 200 mm

O Módulo de Ruptura (MOR) e o Módulo de Elasticidade (MOE) foram determinados pela leitura do valor obtido nas respectivas máquinas de ensaio e calculados por meio das equações 5 e 6, respectivamente:

$$MOR = \frac{3 \times F_{m\acute{a}x} \times L}{2 \times l \times e^2} \quad (5)$$

Sendo,

MOR = Módulo de ruptura (kgf/cm<sup>2</sup>);

F<sub>máx</sub> = carga de ruptura (kgf);

L = amplitude do vão (cm);

l = largura da amostra (cm);

e = espessura da amostra (cm).

$$MOE = \frac{F_i \times L^3}{4 \times l \times e^3 \times d_i} \quad (6)$$

Sendo,

MOE = Módulo de elasticidade (kgf/cm<sup>2</sup>);

F<sub>i</sub> = carga no limite de proporcionalidade (kgf);

L = amplitude do vão (cm);

l = largura da amostra (cm);

e = espessura da amostra (cm);

d<sub>i</sub> = deslocamento no limite de proporcionalidade (cm).

#### **4.4.7 Resistência da linha cola aos esforços de cisalhamento e percentagem de falha na madeira**

Os ensaios de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento foram realizados conforme a Norma EN 314-1. E a percentagem de falha na madeira foi baseada na Norma EN 314-2. Os corpos-de-prova tiveram dimensões de 25 x 83 mm e distância entre sulcos de 25 mm, sendo que foram realizados ensaios seco e úmido (imersão dos corpos-de-prova em

24 horas). O cálculo da resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento foi determinado de acordo com a equação 7:

$$Tr = \frac{Fmáx}{a \times b} \quad (7)$$

Sendo,

Tr = Tensão de ruptura (kgf/cm<sup>2</sup>);

Fmáx = carga de ruptura (kgf);

a = distância entre sulcos (cm);

b = largura do corpo de prova (cm).

#### **4.5 Análise estatística**

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com três repetições. Após os ensaios dos corpos-de-prova, os valores médios referentes a cada variável resposta avaliada foram submetidos a análise de variância. Havendo rejeição da hipótese de nulidade pelo teste F, foi possível aplicar-se o teste Tukey ao nível 5% de significância para comparação entre as médias.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 Propriedades das resinas

Na tabela 6 estão apresentados os valores médios encontrados para as propriedades das resinas uréia-formaldeído, tanino e suas modificações.

**Tabela 6** - Valores médio encontrados para as propriedades das resinas

Tratamento	TS(%)	V(cP)	TFG(min)	pH	TE(seg)	D(g/cm <sup>3</sup> )
<b>UF</b>	66	732	2,12	8,07	30	1,26
<b>Tanino</b>	52	581	3,35	4,45	30	1,17
<b>UF 90%</b>	61	338	2,37	5,61	40	1,17
<b>UF 80%</b>	60	725	3,07	5,15	66	1,2
<b>UF 70%</b>	56	2168	3,1	5,08	217	1,25
<b>UF 60%</b>	-	-	-	-	-	-

Nota: TS = Teor de sólidos; V = Viscosidade; TFG = Tempo de formação de gel; TE=Tempo de escoamento; D = Densidade.

O tratamento uréia-formaldeído 60% + tanino 40% foi descartado devido ao aumento de viscosidade apresentado pelo adesivo, impossibilitando sua aplicação.

A viscosidade é um fator de grande importância para a qualidade da resina, pois lhe confere seu comportamento de dispersão, sendo este fundamental para um adequado espalhamento nas lâminas. Devido aos altos valores encontrados para viscosidade no tratamento uréia-formaldeído 70% + tanino 30%, não se procedeu à confecção dos painéis com esta resina. Nos demais tratamentos a viscosidade apresentou valores médios dentro da margem prevista pela literatura, que segundo IWAKIRI *et al.* (2005), para as resinas uréia-formaldeído, é na faixa de 400 a 1000 cP.

Foi verificada uma redução nos valores médios do teor de sólidos das resinas conforme maior porcentagem de adição de tanino junto à resina uréica.

A Tabela 6 apresenta valores de densidade das resinas à base de uréia e tanino puras e modificadas, sendo encontrados valores similares entre os diferentes tratamentos.

Na resina uréia-formaldeído, a qual apresenta pH mais alcalino (7,8 a 8,2), foi encontrado um pH médio de 8,07. Já a resina tanino-formaldeído, sendo de caráter ácido (pH entre 4,0 e 5,0), apresentou um valor médio de 4,45. Nos demais tratamentos observou-se, portanto, um decréscimo no pH de acordo a adição de maiores proporções de tanino, conforme esperado.

## 5.2 Propriedades dos painéis

### 5.2.1 Propriedades físicas

#### 5.2.1.1 Massa específica e teor de umidade

Os valores médios da massa específica e teor de umidade estão apresentados na Tabela 7, a seguir.

**Tabela 7** - Valores médios da Massa Específica (ME) e Teor de Umidade (TU) dos painéis produzidos com as resinas uréia-formaldeído, tanino e suas modificações

Tratamento	ME(g/cm <sup>3</sup> )	C.V. (%)	TU(%)
1	0,68 <sup>ab</sup>	7,00	10,09
2	0,70 <sup>b</sup>	3,89	10,87
3	0,69 <sup>ab</sup>	6,79	10,44
4	0,66 <sup>a</sup>	8,69	11,23

Nota: C.V. = coeficiente de variação; médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Apesar de todos os tratamentos terem sido confeccionados com lâminas da mesma espécie, foi observada uma diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% entre eles.

Os painéis com maior massa específica foram os do tratamento 2, enquanto que a massa específica mais baixa foi encontrada nos painéis do tratamento 5.

Segundo Kollman et al. (1975) apud Almeida (2009), a massa específica do compensado depende da espécie da madeira, umidade das lâminas, temperatura e pressão de prensagem, utilizadas na manufatura.

Para compensados de pinus com 5 lâminas e espessura 9 mm, o PNQM recomenda uma massa específica na faixa de 0,52 a 0,61 g/cm<sup>3</sup>, sendo que as médias encontradas apresentaram valores superiores a esta faixa em todos os tratamentos. Entretanto, IWAKIRI et al. (2006) encontraram massa específica média de 0,66 g/cm<sup>3</sup>, para compensados de *Pinus taeda*.

Os resultados obtidos para teor de umidade estão de acordo com o valor máximo exigido pelo PNQM, que é de 18%.

### 5.2.1.2 Absorção de água

Na Tabela 8 estão representados os resultados médios obtidos para absorção de água em 2 horas e 24 horas de imersão.

**Tabela 8** - Valores médios para Absorção de Água (AA) encontrados após 2 e 24 horas de imersão

Tratamento	AA 2 horas (%)	C.V. (%)	AA 24 horas (%)	C.V. (%)
1	29,80 <sup>a</sup>	21,36	39,17 <sup>a</sup>	15,25
2	31,60 <sup>a</sup>	13,65	40,47 <sup>a</sup>	9,68
3	30,93 <sup>a</sup>	17,34	40,79 <sup>a</sup>	12,24
4	34,90 <sup>a</sup>	15,87	44,66 <sup>b</sup>	7,79

Nota: C.V. = coeficiente de variação; médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Com base na Tabela 8, observa-se que não houve diferença estatística de absorção de água ao nível de 5% entre todos os tratamentos após 2 horas.

Entretanto, para absorção de água em 24 hora verificou-se diferença estatística apenas para o tratamento 5 (tanino-formaldeído). Esta diferença pode ter ocorrido devido à formulação da batida de cola distinta para este tratamento, uma vez que fatores como a quantidade de extensor, além da própria constituição do adesivo podem interferir na absorção de água do compensado.

### 5.2.1.3 Recuperação em espessura e Inchamento mais recuperação em espessura

Os valores médios de recuperação em espessura e inchamento mais recuperação em espessura estão representados na Tabela 9.

**Tabela 9** - Valores médios obtidos para Recuperação em Espessura (RE) e Inchamento mais Recuperação em Espessura (IR)

Tratamento	RE (%)	C.V. (%)	IR (%)	C.V. (%)
1	4,13 <sup>a</sup>	51,97	11,02 <sup>a</sup>	31,66
2	3,62 <sup>a</sup>	28,38	10,43 <sup>a</sup>	13,29
3	5,97 <sup>a</sup>	20,22	12,05 <sup>a</sup>	12,48
4	4,24 <sup>a</sup>	27,93	9,75 <sup>a</sup>	17,80

Nota: C.V. = coeficiente de variação; médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Os valores médios para recuperação em espessura variaram de 3,62% a 4,24%, enquanto que para inchamento mais recuperação em espessura, variaram de 9,75% a 12,05%. Em ambos os testes não foi verificada diferença significativa entre os tratamentos.

O tratamento 3 (UF 80% + Tanino 20%) foi aquele que apresentou maiores valores tanto para recuperação em espessura, quanto para

inchamento mais recuperação em espessura. Contudo, os resultados demonstram que nem sempre o do valor inchamento em espessura está relacionado com o valor da recuperação em espessura.

Iwakiri et al. (2001), utilizando 5 lâminas de *Pinus taeda* e resina uréia-formaldeído, encontraram valores médios de 7,03% para inchamento em espessura, e 2,80% para recuperação em espessura. Neste estudo foram encontrados valores superiores em ambos os testes com resina uréica.

## 5.2.2 Propriedades mecânicas

### 5.2.2.1 Flexão estática (MOR e MOE)

Os resultados encontrados para o módulo de ruptura nos sentidos paralelo e perpendicular à grã estão apresentados na Tabela 10.

**Tabela 10** - Valores médios encontrados para Módulo de Ruptura (MOR) nos sentidos paralelo e perpendicular à lâmina de capa

Tratamento	MOR Paralelo (MPa)	C.V. (%)	MOR Perpendicular (MPa)	C.V. (%)
1	60,75 <sup>a</sup>	37,60	33,27 <sup>a</sup>	21,59
2	68,40 <sup>a</sup>	16,30	27,78 <sup>a</sup>	33,27
3	64,95 <sup>a</sup>	24,86	25,77 <sup>a</sup>	17,79
4	59,37 <sup>a</sup>	21,54	33,00 <sup>a</sup>	17,32

Nota: C.V. = coeficiente de variação; médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Com base na tabela 10, observa-se que não há diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% entre as formulações de adesivo.

Os valores de MOR paralelo variam de 59,37 MPa a 68,40 MPa, enquanto os valores para MOR perpendicular variam de 25,77 MPa a 33,27 MPa.

Os valores máximos e mínimos do módulo de ruptura foram verificados em tratamentos distintos, nos sentidos paralelo e perpendicular, sendo que valores maiores foram encontrados para o módulo de ruptura no sentido paralelo.

Os valores médios indicados pelo PNQM para MOR nos sentidos paralelo e perpendicular são de 48,84 MPa e 21,9 MPa, respectivamente.

Tanto no sentido paralelo quanto no perpendicular, os valores encontrados para todos os tratamentos foram satisfatórios em relação àquilo que foi encontrado na literatura.

Os resultados obtidos para o módulo de elasticidade nos sentidos paralelo e perpendicular à grã estão representados na Tabela 11.

**Tabela 11** - Valores médios encontrados para Módulo de Elasticidade (MOE) nos sentidos paralelo e perpendicular à lâmina de capa.

<b>Tratamento</b>	<b>MOE Paralelo (MPa)</b>	<b>C.V. (%)</b>	<b>MOE Perpendicular (MPa)</b>	<b>C.V. (%)</b>
<b>1</b>	6646,27 <sup>a</sup>	31,90	2376,00 <sup>a</sup>	14,02
<b>2</b>	7275,67 <sup>a</sup>	17,68	2276,93 <sup>a</sup>	30,74
<b>3</b>	8288,88 <sup>a</sup>	15,04	2012,71 <sup>a</sup>	21,46
<b>4</b>	6015,46 <sup>a</sup>	36,53	2416,29 <sup>a</sup>	16,88

Nota: C.V. = coeficiente de variação; médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

De acordo com a Tabela 11, os valores encontrados para o módulo de elasticidade nos sentidos paralelo e perpendicular, entre todos os tratamentos, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância.

Os valores de MOE paralelo variam de 6015,46 MPa a 8288,88 MPa, enquanto os valores para MOE perpendicular variam de 2012,71 MPa a 2416,29 MPa.

O módulo de elasticidade no sentido paralelo à grã apresentou resultados aceitáveis segundo o Catálogo Técnico do PNQM, que é de no mínimo 5191,54 MPa. No sentido perpendicular constataram-se valores também satisfatórios, em relação ao mínimo recomendado pelo PNQM, que é de 1476,1 MPa.

### 5.2.2.2 Resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento

A Tabela 12 apresenta os valores médios de resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento e percentagem de falha na madeira para o teste seco, dos painéis compensados produzidos com resina uréia-formaldeído, tanino e suas modificações.

**Tabela 12** - Valores médios encontrados para o Teste Seco da Resistência da Linha de Cola aos Esforços de Cisalhamento (RLC).

Tratamento	Seco		
	RLC (MPa)	CV (%)	% de falha
1	1,37 <sup>a</sup>	38,72	3,46
2	1,38 <sup>a</sup>	37,54	2,14
3	1,54 <sup>a</sup>	41,94	5,71
4	0,72 <sup>b</sup>	70,21	0,83

Nota: C.V. = coeficiente de variação; médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

No teste seco da resistência da linha de cola, apenas o tratamento 5 (tanino-formaldeído) apresentou diferença estatisticamente significativa em relação aos demais tratamentos.

O tratamento com resina tânica também foi aquele que apresentou menor valor médio da resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento,

bem como porcentagens de falha na madeira muito baixas. Os demais tratamentos apresentaram resultados um pouco inferiores aos encontrados na literatura, sendo que o melhor resultado foi obtido para o tratamento 3, com 1,54 MPa.

Para todos os tratamentos foram observadas porcentagens de falha na madeira muito inferiores ao esperado, de acordo com ABIMCI (2002), demonstrando que ocorreu uma aderência insuficiente entre o adesivo e a madeira.

A Tabela 13 apresenta os valores médios de resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento e percentagem de falha na madeira para o teste úmido, de painéis compensados produzidos com resina uréia-formaldeído, tanino e suas modificações.

**Tabela 13** - Valores médios encontrados para o Teste Úmido da Resistência da Linha de Cola aos esforços de cisalhamento (RLC)

Tratamento	Úmido		
	RLC (MPa)	CV (%)	% de falha
1	1,12 <sup>b</sup>	33,11	17,33
2	0,74 <sup>a</sup>	51,55	4,17
3	1,06 <sup>b</sup>	38,68	8,00
4	0,66 <sup>a</sup>	55,08	2,00

Nota: C.V. = coeficiente de variação; médias seguidas pela mesma letra, na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 5 % de significância pelo teste Tukey.

Conforme a Tabela 13, foi verificada uma diferença estatisticamente significativa ao nível de 5% entre os tratamentos. Os tratamentos 2 e 5 não diferem estatisticamente entre si, mas apresentam diferença em relação aos tratamentos 1 e 3, os quais também não diferem estatisticamente entre si.

Nos tratamentos 2 e 5 foram constatados os menores valores médios para o teste úmido da resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento,

sendo estes inferiores aos padrões mínimos aceitáveis. Entretanto, os valores médios encontrados para os tratamentos 1 e 3 podem ser considerados satisfatórios, um vez que são semelhantes ao mínimo exigido pelo PNQM, que é 1,08 MPa.

Para porcentagem de falha na madeira, foi observado um comportamento bastante inferior aos encontrados na literatura. Tal fato pode ter ocorrido devido à baixa resistência da resina uréia-formaldeído à umidade aliado a uma adesão insuficiente.

## 6. CONCLUSÕES

- Na análise das propriedades das resinas, a adição de tanino à resina uréia-formaldeído se mostrou viável até a proporção de 30% de tanino para 70% de uréia-formaldeído;
- Para confecção dos painéis, a adição de tanino demonstrou-se satisfatória apenas até a proporção de 20%, já que a batida de cola com 30% de tanino acarretou grande aumento de viscosidade, que impossibilitou um espalhamento uniforme na superfície do painel;
- As propriedades físicas dos painéis não foram influenciadas pela adição das diferentes proporções de tanino;
- A resistência a flexão dos painéis apresentou resultados satisfatórios tanto para as resinas puras, quanto para as suas modificações;
- A resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento apresentou resultados satisfatórios no teste seco, com exceção do tratamento com resina tanino-formaldeído;
- No teste úmido de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento observou-se grande perda de resistência em todos os tratamentos, entretanto o tratamento com 20% de tanino apresentou-se igual ao adesivo convencional;
- De modo geral pode-se afirmar que é viável a modificação da resina convencional uréia-formaldeído com tanino de acácia negra, obtendo-se propriedades satisfatórias dos painéis e minimizando desta forma o uso de resinas sintéticas;

## REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira compensada: determinação do inchamento**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR 9535)

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira compensada: determinação da massa específica aparente**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR 9485)

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Chapas de madeira compensada: determinação da absorção de água**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR 9486)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). PAINEIS DE MADEIRAS FABRICADOS NO BRASIL E SUAS PARTICULARIDADES. Disponível em: <http://www.abimci.com.br>. Acesso em: 15 ago 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). ADESIVOS. Disponível em: <http://www.abimci.com.br>. Acesso em: 15 ago 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Catálogo técnico de compensados de pinus**. Curitiba, 2002. 16 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE (ABIMCI). **Artigo técnico nº7**. Curitiba, 2003. 6p.

BORTOLETTO JÚNIOR, G. Produção de compensados com 11 espécies do gênero *Eucalyptus*, avaliação das suas propriedades físico-mecânicas e indicações para utilização. **Scientia Forestalis**, n.63, jun., p. 65-78, 2003.

BRONOSKI, M. **Análise da eficiência logística na gestão de suprimentos da indústria de compensados na região de Curitiba**. 2009. 190f. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais)-Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

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

CARNEIRO A.; BENEDITO B.; FREDERICO P.G.; CARVALHO A.M.; VIDAURRE G. **Propriedades de chapas de aglomerado fabricadas com adesivo tânico de angico-vermelho (*Anadenanthera peregrina*) e uréia-formadeído.** Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa

CARNEIRO, A. O. **Efeito da sulfitação dos taninos de *E. grandis* e *E. pellita* para produção de chapas de flocos.** 2002. Tese (Pós-Graduação em Ciência Florestal)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais.

CARNEIRO, A. C. O. et al. Reatividade dos taninos da casca de *Eucalyptus grandis* para produção de adesivos. **Revista Cerne**, Lavras, MG, v.7, n.1, p. 1-9, 2001.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – EUROPEAN STANDARD EN 314-1. **Plywood – bonding quality: part 1 - test methods.** CEN members, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION – EUROPEAN STANDARD EN 314-2. **Plywood – bonding quality: part 2 - requirements.** CEN members, 1993.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 310:1993:** Wood based panels – Determination of modulus of elasticity and modulus of rupture in static bending. Brussels. 1993.

FERREIRA, E. S. **Utilização dos polifenóis da casca de pinus para produção de adesivos para compensados.** 2004. 79 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

GONCALVES G. G.; LELIS R. C.; OLIVEIRA J. T. Influencia da composição da resina tanino-ureia-formaldeído nas propriedades físicas e macanicas de chapas aglomeradas. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.4, p.715-722, 2008.

HILLING, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de pinus, eucalipto e Acácia-negra. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 12, n. 1, p. 59-70, 2002.

IWAKIRI, S. et al. **Painéis de Madeira Reconstituída.** Curitiba: FUPEF, 2005. 247p.

IWAKIRI, S.U, CUNHA, A, ALBURQUERQUE, C.E. GORNIAC, E. MENDES, M. **Utilização de extensores alternativos na produção de compensados multilaminados.** Santa Maria: UFSC 2000 Ciência Florestal, ano/vol. 10, numero 001; Universidade Federal de Santa Maria, 2000.

IWAKIRI, S.; NIELSEN, I.R.; ALBERTI, R.A.R. Avaliação da influência de diferentes composições de lâminas em compensados estruturais de *Pinus elliottii* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v.6, n.2, p.19-24, 2000.

IWAKIRI, S., JOSÉ DE CASTRO SILVA, J. C., SILVA, J. R. M., ALVES, C. R. , PUEHRINGER, C. A. Produção de compensados de *Pinus taeda* L. e *Pinus oocarpa* Schiede com diferentes formulações de adesivo uréia-formaldeído **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.3, p.371-375, 2002

LELIS, R. C. C.; TOSTES, A. S.; BRITO, E. O. Aproveitamento do tanino de Acácia Negra (*Acacia mearnsii* De Wild) em resina sintética à base de Fenol-Formaldeído. In: VI CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS - FOREST 2000, Porto Seguro – BA, **Anais ...** p. 389-390, 2000.

MATTOS, R. et al. PAINÉIS DE MADEIRA NO BRASIL: PANORAMA E PERSPECTIVAS. BNDES Setorial, *Rio de Janeiro*, n. 27, p. 121-156, mar. 2008

MOREIRA, W.S. **Extensores alternativos para produção de compensados com resina uréia-formaldeído**. Curitiba: UFPR, 1985. 81p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, 1985.

PRATA, J. G. **Desempenho de um sistema de qualidade em uma fábrica de painéis compensados**. 106 f. (Dissertação – Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

REMADE, REVISTA DA MADEIRA. PAINEIS DE MADEIRA RECONTITUIDA. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/artigos\\_tecnicos.php?busca=paineis de madeira reconstituída](http://www.remade.com.br/br/artigos_tecnicos.php?busca=paineis%20de%20madeira%20reconstituída)>. Acesso em: 02/12/2009.

REMADE, REVISTA DA MADEIRA. MULTILAMINADOS DE EUCALYPTUS. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/artigos\\_tecnicos.php?busca=multilaminados deEucalyptus](http://www.remade.com.br/br/artigos_tecnicos.php?busca=multilaminados%20de%20Eucalyptus)> Acesso em: 02/12/2009.

RIBEIRO, S. T. **Produção de painéis compensados de *Pinus taeda* com resina uréia-formaldeído utilizando diferentes extensores**. Saropédica, RJ: UFRRJ, 2008. Monografia. Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2008.

SOUZA, J. S. **Utilização de adesivos à base de taninos de Acácia Negra e *Eucalyptus pellita* para fabricação de painéis OSB**. 2006. Tese (Mestre em Ciências Ambientais e Florestais)- Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro.

TEODORO, A. S. **Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB.** 2008. Tese (Mestre em Ciências Ambientais e Florestais)- Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, Rio de Janeiro.

## APÊNDICE

**Tabela 14** - Análise de variância para variável massa específica nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Entre grupos	0,0162728	3	0,00542427	2,57	0,0634
Dentro dos grupos	0,11826	56	0,00211179		
<b>Total</b>	<b>0,134533</b>	<b>59</b>			

**Tabela 15** - Análise de variância para variável absorção de água em 2 horas nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Entre grupos	216,112	3	72,0373	2,43	0,0747
Dentro dos grupos	1659,98	56	29,6426		
<b>Total</b>	<b>1876,01</b>	<b>59</b>			

**Tabela 16** - Análise de variância para variável absorção de água em 24 horas nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Entre grupos	202,106	3	67,3688	2,96	0,0408
Dentro dos grupos	1184,53	52	22,7794		
<b>Total</b>	<b>1386,63</b>	<b>55</b>			

**Tabela 17** - Análise de variância para variável recuperação em espessura nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Entre grupos	9,39835	3	3,13278	1,47	0,2936
Dentro dos grupos	17,0236	8	2,12795		
<b>Total</b>	<b>26,422</b>	<b>11</b>			

**Tabela 18** - Análise de variância para variável inchamento mais recuperação em espessura nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Entre grupos	8,54051	3	2,84684	0,59	0,6399
Dentro dos grupos	38,7454	8	4,84318		
<b>Total</b>	<b>47,2859</b>	<b>11</b>			

**Tabela 19** - Análise de variância para variável módulo de ruptura paralelo nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Entre grupos	303,918	3	101,306	0,38	0,7694
Dentro dos grupos	5350,63	20	267,532		
<b>Total</b>	<b>5654,55</b>	<b>23</b>			

**Tabela 20** - Análise de variância para variável módulo de ruptura perpendicular nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Entre grupos	255,092	3	85,0307	1,78	0,1826
Dentro dos grupos	953,286	20	47,6643		
<b>Total</b>	<b>1208,38</b>	<b>23</b>			

**Tabela 21** - Análise de variância para variável módulo de elasticidade paralelo nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Entre grupos	1,69131E7	3	5,63769E6	1,80	0,1798
Dentro dos grupos	6,26643E7	20	3,13322E6		
<b>Total</b>	<b>7,95774E7</b>	<b>23</b>			

**Tabela 22** - Análise de variância para variável módulo de elasticidade perpendicular nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
Entre grupos	593292,0	3	197764,0	0,83	0,4932
Dentro dos grupos	4,76813E6	20	238406,0		
<b>Total</b>	<b>5,36142E6</b>	<b>23</b>			

**Tabela 23** - Análise de variância para variável resistência da linha de cola teste seco nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
<b>Entre grupos</b>	4,93953	3	1,64651	5,31	0,0029
<b>Dentro dos grupos</b>	15,4972	50	0,309944		
<b>Total</b>	20,4367	53			

**Tabela 24** - Análise de variância para variável resistência da linha de cola teste úmido nos tratamentos avaliados.

Fonte de variação	Soma dos quadrados	GL	Quadrado médio	F	P
<b>Entre grupos</b>	1,94175	3	0,64725	4,53	0,0071
<b>Dentro dos grupos</b>	6,85472	48	0,142807		
<b>Total</b>	8,79647	51			