



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**BRUNO COUTO DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE COMPENSADOS FABRICADOS COM  
ADESIVOS À BASE DE TANINOS DE *Pinus oocarpa* E FENOL-FORMALDEÍDO**

**Prof. Dr. Roberto Carlos Costa Lelis  
Orientador**

**SEROPÉDICA, RJ  
Dezembro – 2010**



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE FLORESTAS  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

**BRUNO COUTO DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE COMPENSADOS FABRICADOS COM  
ADESIVOS À BASE DE TANINOS DE *Pinus oocarpa* E FENOL-FORMALDEÍDO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Florestal, como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Florestal, Instituto de Florestas da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

**Prof. Dr. Roberto Carlos Costa Lelis**  
**Orientador**

**SEROPÉDICA, RJ**  
**Dezembro – 2010**

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE COMPENSADOS FABRICADOS COM  
ADESIVOS À BASE DE TANINOS DE *Pinus oocarpa* E FENOL-FORMALDEÍDO**

Comissão Examinadora:

Monografia aprovada em 3 de dezembro de 2010.



Prof. Dr. Roberto Carlos Costa Lelis

UFRRJ / IF / DPF

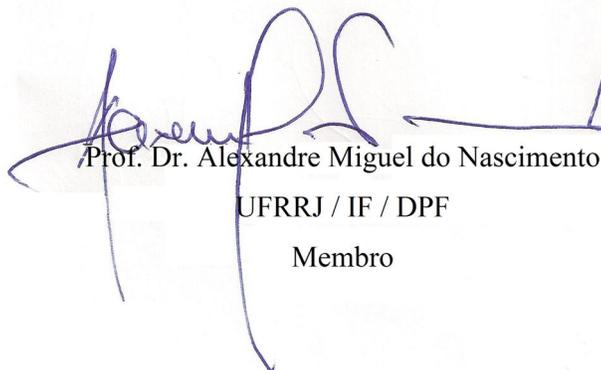
Orientador



Prof. Dr. Alexandre Monteiro de Carvalho

UFRRJ / IF / DPF

Membro



Prof. Dr. Alexandre Miguel do Nascimento

UFRRJ / IF / DPF

Membro

## **DEDICATÓRIA**

A Deus.

Aos meus pais Marli Couto da Silva e Carlos Roberto Lopes da Silva.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por todas as oportunidades, pela sabedoria e vigor que me foram cedidos para concluir mais uma etapa em minha vida;

Ao professor Roberto Carlos Costa Lelis, por possibilitar a realização deste trabalho, por sua orientação, amizade, colaboração e paciência.;

Aos professores do Departamento de Produtos Florestais, por todas as lições ensinadas;

Aos alunos de graduação e pós-graduação que puderam contribuir com a realização deste trabalho, seja com conhecimento ou com conselho amigo, Charles Oliveira da Silva, Cíntia Silva Nunes, Michel Cardoso Vieira e Nayara Dorigon Rodrigues. Muito obrigado.

Aos amigos da turma 2005/II Alan, Amélia, Guilherme, Luciano, Milene, Natasha, Rafael e Renata;

Aos amigos Augusto Garcia, Fabrício Gomes Gonçalves, Iran, José Carlos Ferreira Batista e Rivaly Kardec, por passar um pouco de sua sabedoria e experiência,

À minha amiga Gisely de Lima Oliveira, por sua amizade e companheirismo, que foram de fundamental importância para a concretização deste trabalho.

Aos meus pais Marli Couto da Silva e Carlos Roberto Lopes da Silva, por seu apoio durante esta etapa da minha vida;

À todos que de uma forma ou de outra puderam deixar algum ensinamento de importância no decorrer de minha vida

## RESUMO

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o potencial de utilização de taninos da casca de *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* como fonte de adesivos para colagem de painéis compensados. Os objetivos específicos foram: - Fabricar painéis compensados utilizando adesivos à base de tanino de *Pinus oocarpa* e adesivo FF modificado com 10 % e 20 % de extratos tânicos; - Avaliar a qualidade de painéis compensados fabricados com adesivo à base de tanino de *Pinus oocarpa* e adesivo FF modificado com tanino. Os painéis compensados foram confeccionados com três lâminas de madeira de *Pinus taeda*, com a formulação de 100 x 35 x 35 (adesivo x farinha x água), prensados por 10 min à 150 °C. Os painéis compensados foram avaliados quanto à resistência a flexão estática (MOR), resistência da linha de cola ao esforço de cisalhamento na tração e estabilidade dimensional: recuperação da espessura, inchamento mais recuperação em espessura e absorção de água. Os resultados mostraram que é possível substituir o adesivo FF em até 20 % sem alterar os valores de Absorção em Água dos painéis. O MOR paralelo à grã das lâminas externas dos painéis e os valores da resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento também não foram alterados com adição de até 20 % de extrato tânico ao adesivo. Os resultados mostraram também que é possível confeccionar painéis com adesivo à base de tanino da casca de *Pinus oocarpa*. Contudo, esses compensados apresentaram baixa resistência à umidade.

**Palavras chave:** colagem, pinus, polifenóis

## ABSTRACT

The general aim of this work was to evaluate the potential of tannin from bark of *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* as source of adhesive for plywood gluing. The specific objectives were: Manufacture of plywood panels using tannin-based adhesives from *Pinus oocarpa* and PF-modified adhesive with 10% and 20% of tannin extracts. Evaluate quality of plywood panels manufactured with tannin-based adhesive of *Pinus oocarpa* and PF adhesive modified with tannin. The panels were made with three plies of *Pinus taeda*, with formulation 100 x 35 x 35 (adhesive x wheat flour x water), pressing time for 10 min at 150 °C. The quality of plywood panels was evaluated by the static bending (MOR) and the bonding line shear test of the adhesive and dimensional stability: swelling, recovery of thickness and water absorption. Results showed it is possible to substitute up to 20% without alter the value of water absorption of the the panels. The MOR parallel to the grains of the external plies and values of bonding line shear test were not altered with addition of up to 20% tannin extract to the adhesive. Results also showed that it is possible manufacture panels with tannin-based adhesive from bark of *Pinus oocarpa*. However, these plywood panels presented low resistance to humidity.

**Keywords:** Gluing, pinus, polyphenols

## SUMÁRIO

<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>IX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 . OBJETIVOS .....</b>	<b>3</b>
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
<b>3.1 TANINOS.....</b>	<b>3</b>
3.2 TANINOS COMO FONTE DE ADESIVOS .....	6
3.3 PAINÉIS DE MADEIRA COMPENSADA .....	7
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>8</b>
4.1 OBTENÇÃO DAS LÂMINAS.....	8
4.2 CARACTERIZAÇÃO DOS ADESIVOS .....	8
4.3 CONFECÇÃO DOS PAINÉIS COMPENSADOS .....	8
4.4 PREPARAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA PARA OS ENSAIOS FÍSICOS E MECÂNICOS.....	9
4.5 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS.....	9
4.5.1 <i>Umidade dos painéis</i> .....	9
4.5.2 <i>Massa específica aparente dos painéis</i> .....	10
4.5.3 <i>Absorção em Água</i> .....	10
4.5.4 <i>Recuperação em Espessura (RE) e Inchamento mais Recuperação em Espessura (IR)</i> .....	11
4.6 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS .....	12
4.6.1 <i>Ensaio de Resistência à Flexão Estática</i> .....	12
4.6.2 <i>Ensaio de cisalhamento na linha de cola</i> .....	13
4.7 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	14
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>5.1 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS DOS PAINÉIS .....</b>	<b>14</b>
5.1.1 <i>Umidade dos painéis</i> .....	14
5.1.2 <i>Densidade Aparente dos Painéis</i> .....	15
5.1.3 <i>Absorção em Água</i> .....	15
5.1.4 <i>Recuperação em Espessura (RE) e Inchamento mais Recuperação em Espessura (IR)</i> .....	16
<b>5.2 AVALIAÇÃO DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS PAINÉIS .....</b>	<b>17</b>
5.2.1 <i>Ensaio de Flexão Estática</i> .....	17
5.2.2 <i>Ensaio de cisalhamento na linha de cola</i> .....	18
<b>6. CONCLUSÕES.....</b>	<b>19</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>20</b>

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b>	Produção e consumo de compensados de pinus no Brasil (Fonte: ABIMCI 2008)	1
<b>Figura 2.</b>	Exportação Brasileira de compensados (Fonte: ABIMCI 2008)	2
<b>Figura 3.</b>	Processo de formação dos ácidos gálico e elágico (Fonte: QUEIROZ, 2002)	5
<b>Figura 4.</b>	Fórmulas estruturais: a) um flavanóide genérico, b) flavan-3-ol e c) procianidina (tanino condensado) (Fonte: QUEIROZ, 2002)	5
<b>Figura 5</b>	Corpos-de-prova durante teste de Absorção de Água	11
<b>Figura 6</b>	Ensaio de Resistência à Flexão Estática em execução	13
<b>Figura 7</b>	Ensaio de cisalhamento na linha de cola em execução	14

## LISTA DE TABELAS

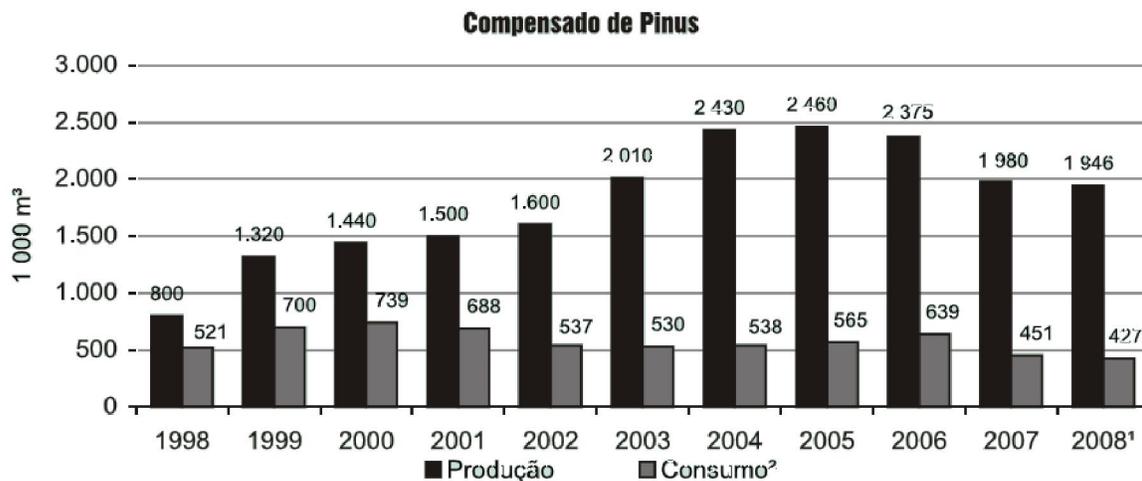
<b>Tabela 1.</b>	Plano experimental para os painéis confeccionados com adesivo à base de tanino da casca de <i>Pinus oocarpa</i> , com adesivo Fenol-Formaldeído (FF) e suas modificações com 10% e 20% de extrato tânico da casca de <i>P. oocarpa</i> a 45%.	21
<b>Tabela 2</b>	Descrição dos tratamentos para confecção dos painéis compensados	22
<b>Tabela 3</b>	Valores médios dos teores de umidade de painéis compensados fabricados com os diferentes adesivos.	28
<b>Tabela 4</b>	Valores médios da Densidade aparente dos painéis compensados fabricados com os diferentes adesivos.	29
<b>Tabela 5</b>	Valores médios de Absorção em Água (AA) dos painéis fabricados para os diferentes tratamentos.	29
<b>Tabela 6</b>	Valores médios de da Recuperação em Espessura (RE) e Inchamento mais recuperação (IR) dos painéis fabricados para os diferentes tratamentos.	30
<b>Tabela 7</b>	Valores médios de MOR (kgf/cm <sup>2</sup> ), paralelo e perpendicular à grã das lâminas externas dos diferentes painéis confeccionados.	31
<b>Tabela 8</b>	Valores médios para resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento dos painéis fabricados	32

## 1. INTRODUÇÃO

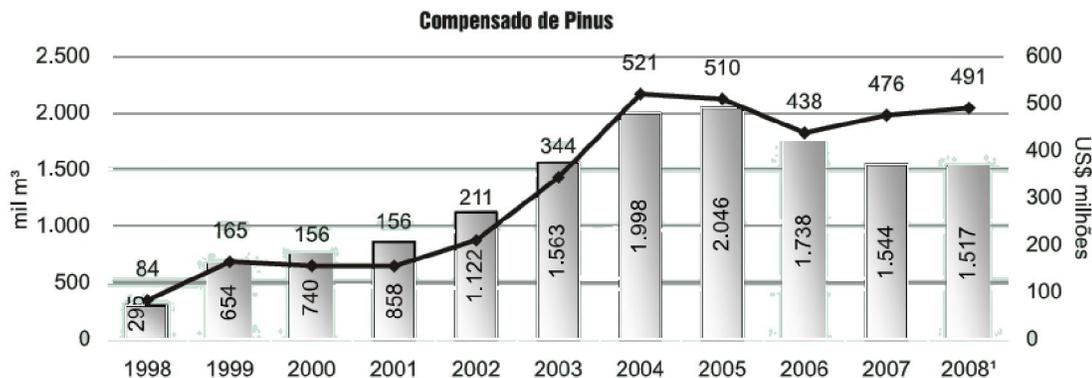
Os painéis de madeira compensada podem ser produzidos em grande variedade de tipos e qualidade, podendo ser utilizados em diversas áreas, como indústria moveleira, construção naval e embalagens.

O setor é constituído por grande número de empresas – estima-se a existência de mais de 200 fábricas de compensado em operação – que, em conjunto, detêm uma capacidade instalada de produção de mais de 4 milhões de metros cúbicos (m<sup>3</sup>) anuais (MATTOS et al., 2008).

O mercado nacional de compensado de pinus apresentou grande variação nos últimos anos, de forma que em 1997 o consumo representava 78% da produção do país e em 2006 somente 27% da produção foi consumido. Neste período, a produção aumentou em 217%, de 750 mil m<sup>3</sup> para cerca de 2,4 milhões de m<sup>3</sup>, enquanto o consumo variou de 587 mil m<sup>3</sup> para 639 mil m<sup>3</sup>, ou seja, apenas 9%. A produção do compensado de pinus apresentou uma leve queda de 3,5% de 2005 para 2006, embora o nível de consumo deste produto tenha aumentado no mercado interno, passando de 565 mil m<sup>3</sup> para 639 mil m<sup>3</sup>, o que representa um acréscimo de 13,1%. Diante deste retrato é possível constatar que os níveis de produção do compensado de pinus estão praticamente estagnados desde 2004, com um ligeiro aumento nos níveis de consumo (ABIMCI, 2008). Os dados da evolução histórica da produção e consumo do compensado (1997-2008) e exportações brasileiras de compensados podem ser também visualizados nas Figuras 1 e 2.



**Figura 1.** Produção e consumo de compensados de pinus no Brasil (Fonte: ABIMCI 2008).



**Figura 2.** Exportação Brasileira de Compensados (Fonte: ABIMCI 2008).

Os adesivos sintéticos uréia-formaldeído e fenol-formaldeído são os adesivos mais utilizados na colagem de madeira e seus subprodutos. Uma das vantagens do adesivo fenólico decorre da sua resistência à ação da umidade, sendo, portanto, recomendado para a colagem de produtos expostos ao ambiente. O adesivo uréico, por sua vez, tem um custo mais baixo, porém apresenta baixa resistência à umidade, sendo mais indicado para uso interior (SELLERS et al., 1995). Nos países em desenvolvimento, o custo da resina sintética é muito alto em relação ao custo total das chapas. Isso se deve ao fato de que quase todas as matérias-primas para fabricação de adesivos são feitas à base de produtos derivados do petróleo.

Dessa forma, tornam-se necessárias novas pesquisas de modo a buscar matérias-primas alternativas para a produção de adesivos. Nesse esforço, estão em primeiro plano as resinas obtidas de matérias-primas naturais como os taninos (SELLERS, 2001).

Os taninos são polifenóis obtidos de várias fontes renováveis, como por exemplo da casca de acácia negra (*Acacia mearnsii* De Wild), *Pinus radiata* e da madeira do quebracho (*Schinopsis* sp). Na casca de algumas espécies, a concentração pode chegar até a 40%, permitindo assim sua exploração comercial (PIZZI, 1983).

O desenvolvimento de adesivos à base de polifenóis naturais (taninos) começou na década de cinquenta com os trabalhos de DALTON (1950, 1953) e PLOMLEY et al. (1957). O interesse principal era substituir os fenóis sintéticos, obtidos do petróleo, por fenóis naturais com estruturas semelhantes aos sintéticos.

A crise do petróleo na década de setenta impulsionou novos estudos sobre o emprego do tanino na substituição de resinas sintéticas (PIZZI & MITTAL, 1994). Atualmente, os polifenóis (taninos) são empregados em vários países do mundo na colagem de produtos de madeira, como Alemanha, Inglaterra, Nova Zelândia e Austrália (ROFFAEL, 1994).

Com os adesivos de tanino-formaldeído podem ser fabricados painéis com altas propriedades tecnológicas (ROFFAEL & DIX, 1994). Através do uso do tanino, pode-se obter uma colagem resistente à umidade possibilitando o emprego do material colado em áreas exteriores.

No Brasil, nos últimos anos, é crescente o interesse pelo desenvolvimento de adesivos naturais à base de taninos, principalmente da casca e madeira de eucalipto, pensando-se em aproveitamento dos resíduos gerados pela indústria madeireira (MORI, 2000; TOSTES, 2003).

A quantidade de resíduos produzidos no mundo equivale a 40% de todo o suprimento mundial de toras (FAO, 1991). Uma grande parte destes resíduos não é aproveitada sendo

normalmente queimados ou descartados no ambiente provocando poluição do solo e ar (LIMA et al., 1988, citado por SHIMADA, 1998).

Além do problema ambiental, a perda do resíduo significa também diminuição dos ganhos financeiros para a indústria madeireira. A casca e a serragem ainda são os resíduos com maiores dificuldades de utilização, embora um certo número de empresas gere a própria energia através da queima destes resíduos em caldeiras. No futuro, a eliminação de resíduos pode se tornar mais problemática, uma vez que é esperado aumento na produção de madeira serrada pelas grandes empresas florestais. Uma contribuição para a diminuição de resíduos seria a utilização dos componentes químicos presentes na casca e na madeira de algumas espécies vegetais.

Dentre as espécies botânicas, o gênero *Pinus* possui grande potencial para exploração de taninos, por ser amplamente difundido em reflorestamentos pelo Brasil. A casca de pinus é um resíduo para a maioria das indústrias madeireiras, trazendo problemas de descarte de ordem ambiental e econômica. Várias toneladas de resíduo de casca são produzidas anualmente pelas indústrias que consomem madeira de reflorestamentos (BORGES et al., 1993).

Um possível uso alternativo para essas cascas seria a extração de taninos para produção de adesivos de madeira, sendo que o resíduo obtido depois da extração poderia ser queimado para geração de energia.

## 2 . OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar o potencial de utilização de taninos da casca de *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* como fonte de adesivos para colagem de painéis compensados.

Os objetivos específicos foram:

- Fabricar painéis compensados utilizando adesivos à base de tanino de *Pinus oocarpa* e adesivo FF modificado com tanino;
- Avaliar a qualidade de painéis compensados fabricados com adesivo à base de tanino de *Pinus oocarpa* e adesivo FF modificado com tanino.

## 3. REVISÃO DE LITERATURA

### 3.1 Taninos

Taninos são compostos polifenólicos de alto peso molecular, utilizados para diferentes finalidades, como por exemplo, para curtimento de couro e produção de adesivos (MORI, 2000), sendo este processo devido à associação dos grupos hidroxilas dos taninos com as ligações peptídicas dos aminoácidos presentes na proteína animal chamado colágeno (HASLAM, 1966). Além da ação tanante, os polifenóis vegetais apresentam outras propriedades, agindo como dispersante e desfloculante, empregados para facilitar perfurações

em poços de petróleo; também quelantes de micronutrientes e como fármacos (POSER & GOSMANN, 1990).

As plantas apresentam uma habilidade natural de defesa contra os seus inimigos naturais, e esta capacidade de defesa estaria ligada a presença dos taninos (HEMINGWAY, 1978). Os taninos hidrolisáveis seriam responsáveis pela defesa das plantas contra os herbívoros e os taninos condensáveis iriam assegurar a defesa contra microorganismos patogênicos (ZUCKER, 1983). Quanto à ação dos taninos hidrolisáveis sobre os herbívoros, METCHE (1980), relatou que estes compostos estariam implicados no processo digestivo destes animais, dificultando-o em decorrência da complexação dos taninos com certas proteínas ligadas a produção de enzimas digestivas.

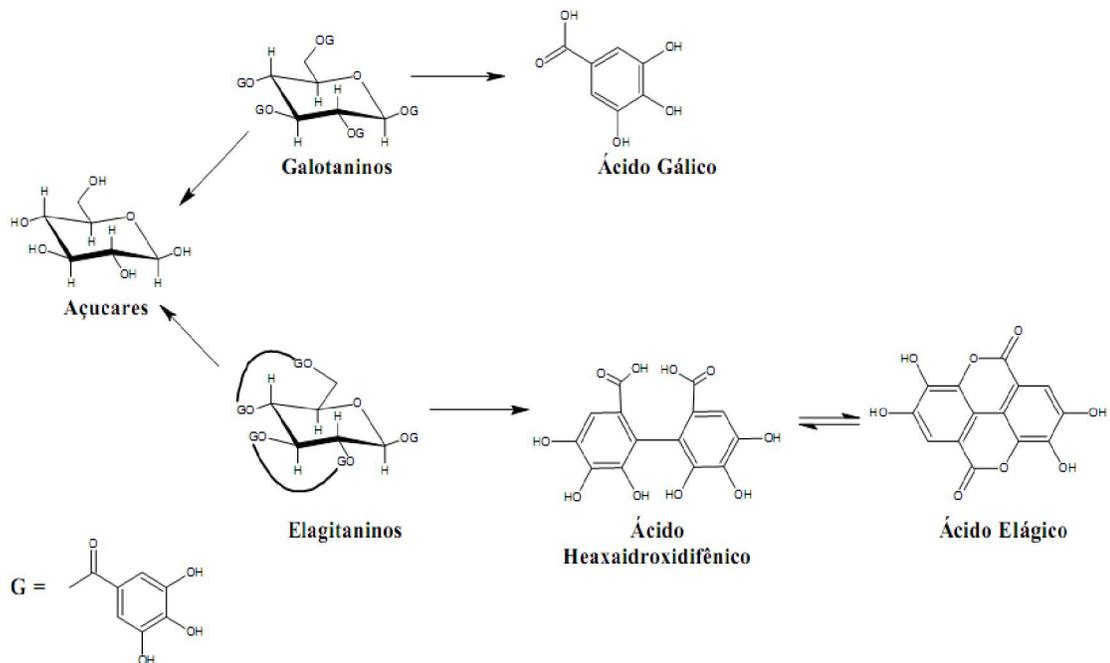
Outro aspecto dos taninos que os caracterizam como importantes substâncias de defesa química vegetal está relacionado ao forte poder antioxidante dessas moléculas. Todo fermento celular em qualquer organismo acelera a formação de unidades ativas de oxigênio, na forma de radicais superóxido ( $O_2^-$ ) bem como peróxidos de hidrogênio ( $H_2O_2$ ). Essas formas ativas, mesmo em plantas saudáveis, são responsáveis por suberização e lignificação das paredes celulares e ligação oxidativa cruzada de proteínas das paredes celulares.

Segundo PIZZI (1983), o termo “tanino” tem sido usado frequentemente para definir duas classes diferentes de compostos químicos de natureza fenólica, ou seja, os taninos hidrolisáveis (Figura 3) e os taninos condensáveis que consistem em unidades de flavonóides, denominados de flavan-3-ols (catequinas) e flavan 3-4 diols (leucoantocianidinas) (Figura 4). Para METCHE (1980), os taninos hidrolisáveis podem ser considerados como poliésteres da glucose, podendo ser classificados em duas categorias: (a) os galotaninos, que por hidrólise ácida liberam o ácido gálico e seus derivados; (b) os elagitaninos, que por hidrólise liberam o ácido elágico, ácido valônico, sendo o ácido elágico o mais importante.

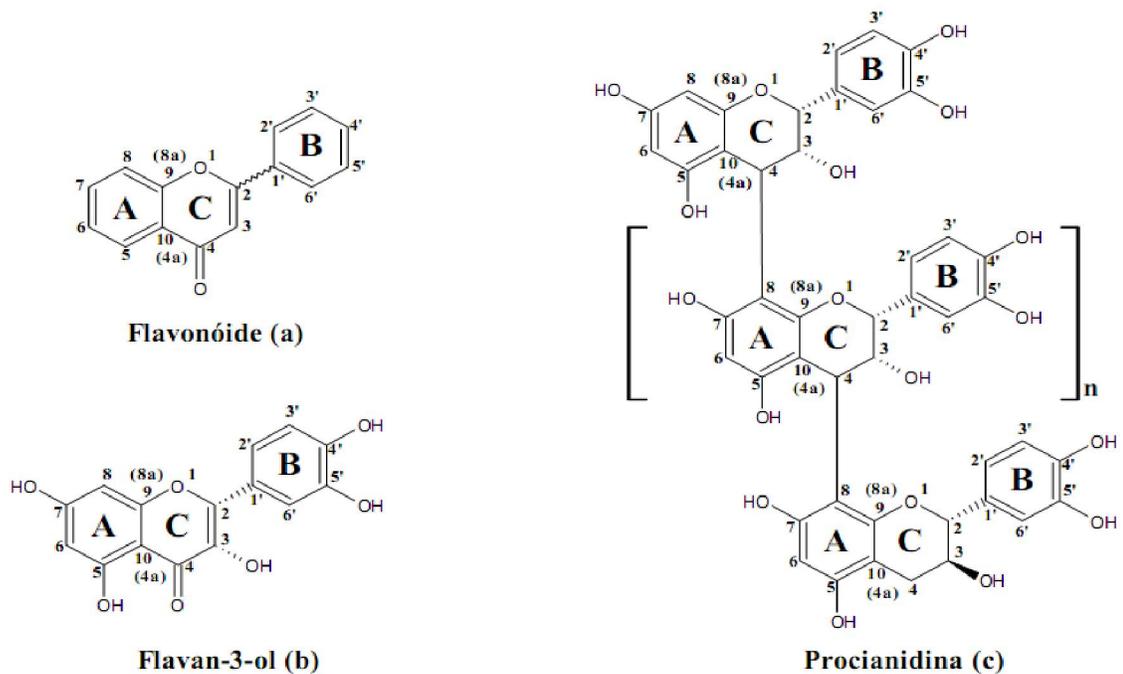
Os taninos condensáveis apresentam diferentes graus de condensação (dependem do tipo e da origem do tanino), não sofrem hidrólise e se precipitam com formaldeído e ácido clorídrico, segundo a reação de Stiasny (WISSING, 1955). Dentre os dois tipos, os mais importantes são os condensados, que geralmente se apresentam como polímeros, tendo um grau de condensação médio variando de 4 a 12 unidades flavonóides.

Taninos podem ser encontrados em quase todas as plantas superiores em diferentes quantidades; normalmente, são obtidos da madeira e da casca de certas folhosas. Nas coníferas, com exceção de suas cascas, encontra-se pequena quantidade de tanino. Na casca de *Picea abies* pode-se encontrar até 15% de tanino. Em algumas espécies oriundas de manguezais, o teor pode chegar a 35% e no caso de madeira de quebracho (*Schinopsis balancae* Engl.) pode-se encontrar de 30% a 35% de tanino (ROFFAEL & DIX, 1994).

As extrações em água quente da casca de alguns pinus como *P. radiata* e *P. brutia* forneceram teores de 25% a 30% de tanino (WEISSMANN & AYLA, 1980). Em *Pinus caribaea* var. *caribaea* foi encontrado o rendimento em tanino de 20,53%, através da extração da casca com água e adição de 3% de NaOH (ALMEIDA & LELIS, 2002).



**Figura 3.** Processo de formação dos ácidos gálico e elágico (Fonte: QUEIROZ, 2002).



**Figura 4.** Fórmulas estruturais: a) um flavonóide genérico, b) flavan-3-ol e c) procianidina (tanino condensado) (Fonte: QUEIROZ, 2002).

### 3.2 Taninos como fonte de adesivos

Os adesivos naturais incluem substâncias de origem vegetal (amido e soja) e animal (ossos, couro, caseína e albumina). Eram amplamente utilizados até a década de 30, quando começaram a surgir os primeiros adesivos sintéticos. Essa substituição ocorreu devido a pequena resistência dos adesivos naturais sob condições adversas e porque os adesivos sintéticos são de fácil utilização, são resistentes à umidade, à ação de microorganismos, altas temperaturas e produtos químicos, além de possuírem melhor relação custo benefício (TSOUMIS, 1991).

De todos os adesivos à base de produtos naturais, o tanino representa um dos melhores substitutos para os adesivos termofixos. Estudos sobre o emprego de taninos como adesivos na indústria de painéis intensificaram na década de oitenta, tendo iniciado na década de cinquenta, com os trabalhos de DALTON (1950, 1953) e PLOMLEY et al. (1957).

Por ter capacidade de se precipitar com formaldeído, taninos condensados têm potencial de substituir as resinas sintéticas atualmente utilizadas, gerando um polímero de estrutura rígida (GONÇALVES & LELIS, 2000).

A reação do tanino com o formaldeído é a base para o seu emprego como adesivo, já que surgem, dessa forma, policondensados de alto peso molecular (ROFFAEL & DIX, 1994).

A velocidade com que os polifenóis se ligam ao formaldeído é crucial para a sua utilização na indústria de painéis de madeira nas condições normais de colagem e prensagem (PRASETYA & ROFFAEL, 1991).

Os taninos hidrolisáveis não apresentam, importância na fabricação de adesivos, ao contrário dos taninos condensados. Esses últimos constituem mais de 90% da produção mundial de taninos comerciais ultrapassando a marca de 350.000 ton/ano (GUANGCHENG et al., 1991).

A característica que torna possível o uso do tanino como adesivo para painéis de madeira é a quantidade de componentes de caráter fenólico que apresentam. O método de Stiasny visa quantificação destes, baseando-se na precipitação dos taninos do tipo flavanol, fenômeno este ocorrido em meio ácido contendo formaldeído. Os extratos por si só não apresentam qualquer capacidade de ligação. Sua utilização como adesivo só é possível em presença de produto ligante, como formaldeído. O formaldeído prende-se aos átomos de carbono do anel A sob a formação de grupos metilol. Esses grupos metilol são capazes de reagir promovendo a ligação entre as moléculas de tanino através da formação de grupos metilênicos (DIX & MARUTZKY, 1987).

Para obtenção de composições adesivas, os taninos condensados são normalmente misturados com paraformaldeído, formaldeído ou hexametilenotetramina. Até o momento da colagem, os taninos são estocados sob a forma de pó ou suspensões aquosas concentradas, permanecendo não reativos até que seja feita a mistura com o agente ligante ou endurecedor. Além da reatividade, o grau de condensação dos taninos apresenta grande importância na fabricação de adesivos, já que influencia a viscosidade da solução com extratos e a ligação (entrelaçamento) das moléculas de tanino. (DIX & MARUTZKY, 1982). De modo geral, as unidades de flavonóides que compõem os taninos condensados apresentam grau de condensação médio de 4 a 12 unidades flavonóides. O grau de condensação varia para as diferentes espécies sendo também influenciado pela idade e local de crescimento das árvores (PIZZI & MITTAL, 1994).

A qualidade da colagem com taninos é influenciada pelos componentes químicos não fenólicos presentes nos extrativos, como açúcares, aminoácidos, pectinas, etc. (WEISSMANN,

1985; HILLIS, 1981). Esta qualidade também é influenciada pelos produtos químicos utilizados na extração (GONÇALVES, 2000). Os componentes não fenólicos, principalmente as gomas, podem influenciar a viscosidade da resina de tanino-formaldeído e as propriedades ligantes do adesivo (HILLIS, 1981).

De acordo com HEMINGWAY (1978), o processo de colagem piora com o aumento do teor de carboidratos no extrativo da casca. A caracterização de adesivos de bases sintéticas ou naturais se dá pela determinação da viscosidade e do tempo de formação de gel. Normalmente, a viscosidade de soluções de tanino é bem maior do que a viscosidade de resinas fenólicas de mesma concentração. O tempo de formação de gel é uma medida importante para se conhecer a vida útil da mistura de adesivos.

Abaixo, estão relacionadas algumas vantagens da utilização de adesivos à base de Tanino-Formaldeído:

- Alguns adesivos à base de Tanino-Formaldeído, como por exemplo, Tanino-quebracho-Formaldeído, podem endurecer mais rápido do que a resina alcalina Fenol-Formaldeído. Dessa forma a capacidade de produção na fabricação de painéis é aumentada;
- O adesivo Tanino-Formaldeído endurecem em meio levemente alcalino. Assim, os materiais de madeira colados com a resina não contêm quase nenhum álcali;
- Na fabricação de chapas de madeira aglomerada, as partículas não precisam estar totalmente secas. Elas podem apresentar um teor de umidade entre 7 a 8% e isso significa economia de energia na secagem;
- Os taninos são produtos naturais existentes em grande quantidade.

### **3.3 Painéis de Madeira Compensada**

O compensado é um painel formado através da colagem de lâminas de madeira, geralmente em número ímpar de camadas sobrepostas, com a direção das fibras das camadas sucessivas formando ângulos retos entre si (KOLLMANN et al., 1975; TSOUMIS, 1991).

As primeiras indústrias de lâminas de madeira surgiram na Alemanha, em meados do século XIX. O rápido desenvolvimento dos tornos laminadores contribuiu para a evolução da indústria de compensados. Com o advento da Primeira Guerra Mundial, e o surgimento de novos adesivos, houve uma acentuada evolução na produção de lâminas e compensados, devido à utilização destes produtos na área militar. Devido a Segunda Guerra Mundial, houve desenvolvimento e automação dos sistemas de produção contínua, proporcionando uma gama crescente de produtos de qualidade e de menor custo (ALBUQUERQUE, 1999).

O compensado encontra utilizações das mais variadas, como na construção civil para aplicações estruturais ou para pisos, forros, paredes, esquadrias, portas, telhados, andaimes, formas de concreto, entre outras; pode ser ainda, utilizado na construção de barcos e fabricação de móveis (partes estruturais e decorativas), instrumentos musicais, embalagens industriais, caixas e outros (BORTOLETTO JUNIOR & GARCIA, 2004).

O direcionamento ortogonal de uma lâmina em relação à outra adjacente restringe a movimentação tangencial das camadas e proporciona uniformidade das propriedades mecânicas nas duas direções do plano do painel (BORTOLETTO JUNIOR & GARCIA, 2004). Segundo Tsoumis (1991), essa uniformidade aumenta com o número de camadas do compensado, em razão da melhor distribuição das tensões que se desenvolvem em face de determinado carregamento.

Segundo ABIMCI (2007), os valores de módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) na flexão estática para o compensado são mais expressivos que os encontrados nos painéis OSB, MDF, chapa de fibra e aglomerados de iguais dimensões.

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi realizado nos Laboratórios de Tecnologia da Madeira, Propriedades Físicas e Mecânicas e de Painéis de Madeira do Departamento de Produtos Florestais, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro.

### 4.1 Obtenção das lâminas

Na confecção dos painéis compensados, foram utilizadas lâminas de *Pinus taeda*, com espessura média de 2 mm e umidade de 8%, selecionando-se aquelas sem rachaduras e nós. As lâminas foram doadas pelo Laboratório de Painéis de Madeira, da UFPR.

### 4.2 Caracterização dos adesivos

Os taninos utilizados como adesivos foram obtidos através de extrações de cascas de *Pinus oocarpa* var. *oocarpa*, coletadas em povoamentos da Fazenda Monte Alegre, da Empresa DURATEX, em Agudos, SP. A casca foi extraída em autoclave no Laboratório de Tecnologia da Madeira (DPF/IF/UFRRJ) por um período de 2 horas, numa relação licor: casca igual a 15:1, sendo empregada na extração água sob adição de 5% de sulfito de sódio (base peso seco de cascas). Maiores informações sobre o processo de extração podem ser obtidas em SILVA (2009). Com os extratos tânicos foram confeccionadas soluções tânicas a 45%, utilizadas na forma pura ou em misturas com adesivo Fenol-Formaldeído (FF). As soluções tânicas a 45 % apresentavam viscosidade de 587,4 cP, tempo de gel de 1,3 min e pH de 5,3.

O adesivo sintético utilizado foi o adesivo Fenol-Formaldeído (FF) HL 7090, fornecido pela Empresa HEXION Química Indústria e Comércio Ltda, de Curitiba - PR. O adesivo FF apresentava as seguintes características: Viscosidade de 809,5 cP; tempo de gel de 53,6 min e pH de 12,7.

### 4.3 Confecção dos painéis compensados

Os painéis compensados foram produzidos no Laboratório de Painéis de Madeira, do Departamento de Produtos Florestais, da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Foram produzidos 20 painéis, constituídos por três lâminas de *Pinus taeda*, com as dimensões nominais de 40 x 40 x 0,65 cm. O adesivo foi espalhado de maneira uniforme, com o auxílio de uma espátula, em apenas uma face da lâmina (linha simples). Após montagem das lâminas, estas foram sobrepostas alternadamente e deixadas em descanso por um determinado período antes da prensagem (tempo de espera). Os painéis foram prensados a quente, utilizando-se uma

prensa hidráulica, de pratos planos horizontais e aquecimento elétrico, com tempo de fechamento de 35 segundos e pressão de 10 kgf/cm<sup>2</sup>.

O plano experimental para os adesivos utilizados e demais variáveis do processo de confecção dos painéis está apresentado nas Tabelas 1 e 2.

**Tabela 1.** Plano experimental para os painéis confeccionados com adesivo à base de tanino da casca de *Pinus oocarpa*, com adesivo Fenol-Formaldeído (FF) e suas modificações com 10% e 20% de extrato tânico da casca de *P. oocarpa* a 45%

Tempo de espera:	15 minutos
Temperatura da prensa:	150 °C
Tempo de prensagem:	10 minutos
Número de tratamentos:	4
Quantidade de cola:	320 g/m <sup>2</sup>
Formulação (adesivo x farinha x água):	100 x 35 x 35
Catalisador: Solução de Formaldeído a 37 %	20 % sobre o teor de sólidos da resina

**Tabela 2.** Descrição dos tratamentos para confecção dos painéis compensados

TRATAMENTO	ADESIVO	N.P.
T1	Tanino-Formaldeído (TF)	5
T2	Fenol-Formaldeído (FF)	5
T3	FF + 10% Tanino (90:10)	5
T4	FF + 20 % Tanino (80:20)	5

\*N.P. – Número de Painéis

#### 4.4 Preparação dos corpos-de-prova para os ensaios físicos e mecânicos

Após a confecção dos painéis, os mesmos foram acondicionados em câmara climática, à temperatura de  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $65 \pm 5\%$ , até atingirem umidade de equilíbrio em torno de 12%. Após esse período, os painéis foram esquadrejados para retirada de corpos-de-prova para os diferentes ensaios físicos e mecânicos.

#### 4.5 Avaliação das propriedades físicas dos painéis

##### 4.5.1 Umidade dos painéis

Para cada tratamento, determinou-se o teor de umidade dos corpos-de-prova de acordo com a norma ABNT NBR 9484/86, que corresponde ao teor de umidade de equilíbrio dos

painéis acondicionados na câmara de climatização, à temperatura de  $20\pm 1^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $65\pm 5\%$ . O teor de umidade foi calculado com a seguinte fórmula:

$$TU = \frac{Mu - Ms}{Ms} \times 100$$

Sendo:

TU = Teor de umidade (%)

Mu = Massa úmida (g)

Ms = Massa da amostra seca em estufa à  $103\pm 2^\circ\text{C}$

#### 4.5.2 Massa específica aparente dos painéis

A massa específica aparente foi determinada de acordo com o método descrito na norma ABNT NBR 9485/86. Os painéis foram acondicionados em câmara de climatização, à temperatura de  $20\pm 1^\circ\text{C}$  e umidade relativa de  $65\pm 5\%$  para posterior determinação de sua massa.

O volume aparente foi obtido através de aferição direta, com paquímetro digital, sendo realizadas duas repetições para cada. A determinação da massa específica foi obtida de acordo com a seguinte fórmula:

$$MEA = \frac{m}{c \times l \times e}$$

Sendo:

MEA = Massa Específica Aparente ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )

m = massa do corpo de prova (g)

c = comprimento (cm)

l = largura do corpo de prova (cm)

e = espessura do corpo de prova (cm)

#### 4.5.3 Absorção em Água

Para a determinação da Absorção em Água (AA), procedeu-se conforme a norma ABNT NBR 9486/86. Os corpos-de-prova foram pesados e a seguir foram imersos em água por 2 horas, sendo a seguir pesados novamente. Após a pesagem, os corpos-de-prova foram novamente imergidos em água por 24 horas e procedeu-se nova pesagem (Figura 5). A absorção em água após 2 e 24 horas foi calculada de acordo com a seguinte fórmula:

$$A = \frac{Mf - Mi}{Mi} \times 100$$

Sendo:

AA = Absorção de Água (%);

Mf = Massa final do corpo-de-prova (g);

Mi = Massa inicial do corpo-de-prova (g).



**Figura 5.** Corpos-de-prova durante teste de Absorção de Água.

#### **4.5.4 Recuperação em Espessura (RE) e Inchamento mais Recuperação em Espessura (IR)**

Para determinação da Recuperação em Espessura e do Inchamento mais Recuperação em Espessura, após a absorção de água pelo compensado, utilizou-se a norma ABNT NRB 9535/86, com pequenas modificações.

De cada painel foram retirados quatro corpos-de-prova, com dimensões de 75 x 25 mm, acondicionados em câmara climática a  $20\pm 1^\circ\text{C}$  e  $65\pm 5\%$  de umidade relativa. Estes corpos-de-prova foram separados em duas séries de dois, sendo, uma série, a de controle.

Após a primeira medição de espessura, no centro de cada corpo-de-prova, os utilizados como controle foram secos em estufa a  $103\pm 2^\circ\text{C}$  por 24h, levados ao dessecador e medidos novamente.

A outra série de corpos-de-prova foi imersa em água destilada a  $20\pm 2^\circ\text{C}$  por 24h. Após este período, os corpos-de-prova foram medidos, secos em estufa a  $103\pm 2^\circ\text{C}$  por 24h, levados ao dessecador e medidos novamente. A RE e IR foram calculados com as seguintes fórmulas:

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

Sendo:

R = Recuperação em espessura (%)

$e_1$  = soma das espessuras dos corpos utilizados como controle, climatizados (mm);

$e_2$  = soma das espessuras dos corpos utilizados como controle, secos em estufa (mm);

$e_3 = e_1$  = soma das espessuras dos corpos antes da imersão em água (mm);

$e_5$  = soma das espessuras dos corpos após a imersão em água, secos em estufa (mm).

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

IR = Inchamento mais recuperação em espessura (%);

$e_4$  = soma das espessuras dos corpos após a imersão em água (mm).

#### 4.6 Avaliação das propriedades mecânicas dos painéis

##### 4.6.1 Ensaio de Resistência à Flexão Estática

A determinação da resistência máxima à flexão estática dos painéis compensados baseou-se na norma ABNT NBR 9533/86. Utilizaram-se três corpos-de-prova por painel, sendo um corpo-de-prova com comprimento na direção paralela à grã das lâminas externas, e dois com comprimento na direção perpendicular à grã das lâminas externas. Os corpos-de-prova foram retirados dos painéis com largura de 50 mm e comprimento igual a 25 vezes o valor da espessura, acrescentado de 50 mm.

Estes ensaios foram realizados em uma máquina de ensaios universal (Figura 6).

O Módulo de Ruptura (MOR) foi calculado através da leitura da carga máxima obtida na máquina de ensaio, pela seguinte fórmula:

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

Sendo:

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

$F_{m\acute{a}x}$  = Carga máxima (kgf);

L = Comprimento do vão (cm);

l = Largura real da amostra (cm);

e = Espessura real da amostra (cm).



**Figura 6.** Ensaio de Resistência à Flexão Estática em execução.

#### **4.6.2 Ensaio de cisalhamento na linha de cola**

Os ensaios de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR 9434

Para os ensaios, foram confeccionados dois corpos-de-prova de cada painel destinados ao teste seco (acondicionados em câmara climática). Estes ensaios foram realizados em máquina de ensaio universal (Figura 7).

O cálculo da resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento na tração foi feito de acordo com a equação abaixo:

$$Tr = \frac{Fmáx}{a \times b}$$

Sendo:

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

Fmáx = carga de ruptura (kgf);

a = distância entre os sulcos do corpo-de-prova (cm);

b = largura do corpo-de-prova (cm).



**Figura 7.** Ensaio de cisalhamento na linha de cola em execução.

#### **4.7 Análise estatística**

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado com cinco repetições. Após os ensaios dos corpos-de-prova, os dados médios referentes a cada ensaio avaliado foram submetidos à análise de variância. Havendo rejeição da hipótese de nulidade pelo teste F, aplicou-se o teste Tukey ao nível de 5% de significância para comparação entre as médias.

### **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **5.1 Avaliação das propriedades físicas dos painéis**

##### **5.1.1 Umidade dos painéis**

Os valores médios dos teores de umidade (%) dos painéis fabricados, após climatização em câmara climática à 20 °C e 65 % de Umidade Relativa, estão apresentados na Tabela 3.

**Tabela 3.** Valores médios dos teores de umidade de painéis compensados fabricados com os diferentes adesivos.

Tratamento	Teor de umidade câmara climática (%)*
Painéis com adesivo tanino puro de pinus	11,67
Painéis com adesivo FF	11,31
Painéis com adesivo FF:tanino (90:10)	11,22
Painéis com adesivo FF:tanino (80:20)	11,65

Observou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos, ficando o valor médio de umidade em 11,46 %. Esses valores ficaram próximos ao esperado para materiais em câmara climática que é de 12 %.

MORAIS (2008) encontrou também valores de teor de umidade (TU) de 12,54%, próximos ao encontrado no presente trabalho.

### 5.1.2 Densidade Aparente dos Painéis

A Tabela 4 mostra os valores médios encontrados para a densidade aparente dos painéis, após climatização à 20 °C e 65 % UR.

**Tabela 4.** Valores médios da Densidade aparente dos painéis compensados fabricados com os diferentes adesivos.

Tratamento	Densidade Aparente (g/cm <sup>3</sup> )*
Painéis com adesivo tanino puro de pinus	0,58 b
Painéis com adesivo FF	0,59 b
Painéis com adesivo FF:tanino (90:10)	0,69 a
Painéis com adesivo FF:tanino (80:20)	0,67 a

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Observa-se que houve diferença significativa entre os tratamentos. Desta forma, foi necessário proceder análise de covariância nas propriedades físicas e mecânicas dos painéis fabricados.

### 5.1.3 Absorção em Água

Os valores médios da Absorção em Água (AA) dos painéis fabricados estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Valores médios de Absorção em Água (AA) (%) dos painéis fabricados para os diferentes tratamentos

Tratamento	AA 2hs	AA 24 hs
Painéis com adesivo tanino puro de pinus	94,9 a	106,2 a
Painéis com adesivo FF	63,0 b	78,7 b
Painéis com adesivo FF:tanino (90:10)	59,7 b	68,8 b
Painéis com adesivo FF:tanino (80:20)	63,2 b	70,9 b

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Tanto após 2 horas quanto 24 horas, os painéis compensados fabricados com adesivo puro de tanino apresentaram os maiores valores de Absorção de Água (AA), sendo significativo com os demais painéis. Ao se substituir parte do adesivo Fenol-Formaldeído (FF) por tanino da casca de pinus em até 20%, não houve diferença significativa nos valores de AA. Isso demonstra que o tanino pode ser utilizado em combinação com o adesivo FF.

Trabalhando com compensados à base de adesivo UF e tanino, Ferreira (2004) utilizou tratamentos similares ao deste estudo, adicionando tanino ao adesivo nas proporções 10% e 20%, obtendo, para UF puro, UF mais 10% de tanino, UF mais 20% de tanino e tanino puro, valores de AA (2h) de 59,29%, 67,22%, 58,81% e 75,43% respectivamente. Já os valores de AA (24h) obtidos foram 106%, 117,99%, 107,23% e 135,02%, respectivamente, maiores do que os obtidos neste estudo.

#### 5.1.4 Recuperação em Espessura (RE) e Inchamento mais Recuperação em Espessura (IR)

Os valores médios da Recuperação em Espessura (RE) e Inchamento mais recuperação (IR) dos painéis fabricados estão na Tabela 6.

**Tabela 6.** Valores médios de da Recuperação em Espessura (RE) e Inchamento mais recuperação (IR) dos painéis fabricados para os diferentes tratamentos

Tratamento	RE (%)	IR (%)
Painéis com adesivo tanino puro de pinus	7,4 a	14,7 a
Painéis com adesivo FF	3,5 b	6,5 c
Painéis com adesivo FF:tanino (90:10)	1,5 b	10,5 b
Painéis com adesivo FF:tanino (80:20)	3,4 b	10,3 b

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Como também ocorreu na AA, os painéis compensados fabricados com adesivo puro de tanino apresentaram os maiores valores de RE e IR, sendo estes valores superiores estatisticamente aos demais tratamentos.

Para IR, os painéis fabricados com adesivos FF apresentaram os menores valores, confirmando as características deste adesivo de apresentar alta resistência à umidade. Ao se adicionar tanino ao adesivo FF, os valores de IR aumentaram consideravelmente, sendo significativos. Entretanto, a proporção de substituição não interferiu nos resultados.

Já para RE, não houve diferença significativa nos valores dos painéis fabricados com adesivo FF e suas modificações com tanino com pinus.

Os valores de IR dos painéis fabricados com adesivo FF ficaram próximos aos encontrados por IWAKIRI et al. (2001) em painéis compensados fabricados com lâminas de *Pinus oocarpa* que foi de 6,71 %. Já para RE, os valores encontrados pelos autores foram menores, ficando em 1,58%.

FERREIRA (2004), utilizando adesivo FF puro, FF mais 10% de tanino e tanino puro, obteve valores de RE de 8,06%, 22,27% e 16,72%, enquanto os valores de IR foram 12,04%, 24,17% e 17,76%, maiores do que os obtidos neste estudo.

## 5.2 Avaliação das propriedades mecânicas dos painéis

### 5.2.1 Ensaio de Flexão Estática

Os valores médios do Módulo de Ruptura (MOR) no sentido paralelo e perpendicular à grã das lâminas externas dos painéis confeccionados estão apresentados na Tabela 7.

**Tabela 7.** Valores médios de MOR (kgf/cm<sup>2</sup>), paralelo e perpendicular à grã das lâminas externas dos diferentes painéis confeccionados.

Tratamento	Flexão Estática	
	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> ) / Paralelo	MOR (kgf/cm <sup>2</sup> ) / Perpendicular
Painéis com adesivo tanino puro de pinus	614,05 a	117,70 c
Painéis com adesivo FF	750,73 a	177,36 b
Painéis com adesivo FF:tanino (90:10)	716,15 a	246,49 a
Painéis com adesivo FF:tanino (80:20)	619,73 a	217,89 ab

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Não houve diferença significativa nos valores de MOR paralelo para os diferentes tratamentos, sendo que os valores obtidos foram superiores aos encontrados para o MOR perpendicular. Para MOR perpendicular, os painéis fabricados com adesivo puro de tanino apresentaram os menores valores, sendo significativos aos demais. Interessante nos resultados é que a adição de tanino ao adesivo FF favoreceu para a obtenção de maiores valores de MOR perpendicular, sendo que em até 10% a diferença foi significativa.

Os valores encontrados para MOR paralelo foram bem superiores aos encontrados por IWAKIRI et al. (2001) em compensados de *Pinus taeda*, que foram de 584,1 kgf/cm<sup>2</sup>.

FERREIRA (2004), utilizando adesivo FF puro, FF mais 10% de tanino e tanino puro, obteve valor de MOR paralelo de 350,29 kgf/cm<sup>2</sup>, 332,14 kgf/cm<sup>2</sup> e 241,62 kgf/cm<sup>2</sup>. Para o MOR perpendicular à grã, obteve 95,84 kgf/cm<sup>2</sup>, 87,84 kgf/cm<sup>2</sup> e 60,04 kgf/cm<sup>2</sup>,

respectivamente, menores do que os dados obtidos neste estudo.

MORAIS (2008), utilizando adesivo poliuretano bi-componente obteve compensados que apresentaram MOR paralelo de 472,26 kgf/cm<sup>2</sup>, e perpendicular de 149,23 kgf/cm<sup>2</sup>, menores do que os obtido neste estudo.

### 5.2.2 Ensaio de cisalhamento na linha de cola

Os valores médios encontrados para resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento dos painéis fabricados estão apresentados na Tabela 8.

**Tabela 8.** Valores médios para resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento dos painéis fabricados.

Tratamento	Resistência da linha de cola* (kgf/cm <sup>2</sup> )
Painéis com adesivo tanino puro de pinus	16,47 a
Painéis com adesivo FF	17,61 a
Painéis com adesivo FF:tanino (90:10)	18,32 a
Painéis com adesivo FF:tanino (80:20)	20,53 a

\* Médias seguidas pela mesma letra não diferem significativamente entre si pelo teste Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Os resultados mostraram que não houve diferença significativa nos valores de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento

FERREIRA (2004), utilizando adesivo FF puro, FF mais 10% de tanino e tanino puro, obteve valor de resistência da cola ao esforço de cisalhamento de 31,18 kgf/cm<sup>2</sup>, 20,95 kgf/cm<sup>2</sup> e 17,71 kgf/cm<sup>2</sup>, maiores do que os obtidos neste estudo. Entretanto, a madeira utilizada na manufatura dos compensados foi sumaúma (*Ceiba pentandra* (L.) Gaertn.

IWAKIRI (2002) produziu painéis à base de adesivo FF utilizando proporções diferenciadas de adesivo, água e extensor e catalizador. Usando três tratamentos diferentes (100:25:20:7, 100:75:80:7 e 100:125:140:7), o autor obteve valores de 14,28 kgf/cm<sup>2</sup>, 15,73 kgf/cm<sup>2</sup> e 10,61 kgf/cm<sup>2</sup>, menores do que os obtidos neste estudo.

MOUBARIK et al. (2009) produziram painéis usando tanino da madeira de quebracho e maisena como extensor, e comparando com tratamentos empregando adesivo FF, obteve valores médios de 44,21 kgf/cm<sup>2</sup>, maior do que o obtido no presente trabalho.

## 6. CONCLUSÕES

- É possível substituir o adesivo FF em até 20% sem alterar os valores de Absorção em Água dos painéis compensados;
- Para o Módulo de Ruptura paralelo à grã das lâminas externas dos painéis, a adição de 10% e 20% de extrato tânico à resina FF não alterou a resistência dos compensados;
- Com relação ao Módulo de Ruptura perpendicular à grã das lâminas externas dos painéis, a adição de tanino ao adesivo FF foi importante para obtenção de maior rigidez;
- De modo geral, os painéis fabricados com tanino puro apresentaram os menores valores de propriedades físicas, evidenciando a sua baixa resistência à umidade. Assim, no emprego deste adesivo, torna-se necessário utilizar parafina;
- A adição de 10% e 20% de tanino ao adesivo FF não alterou a resistência no ensaio de resistência da linha de cola aos esforços de cisalhamento;
- Os painéis produzidos com tanino puro apresentaram potencial para uso em ambientes internos, devido a sua baixa resistência à umidade;
- É possível utilizar o adesivo FF com 10 a 20% de tanino da casca de pinus para fabricação de painéis compensados com boas propriedades mecânicas.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo Setorial, Ano Base: 2006**. Curitiba, 2007. 44p.

ABIMCI - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo Setorial, Ano Base: 2007**. Curitiba, 2008. 56p.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Painéis de madeira compensada: determinação dos módulos de elasticidade em resistência à flexão**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9433)

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Painéis de madeira compensada: determinação da resistência da colagem ao esforço de cisalhamento**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9534)

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

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Painéis de madeira compensada: determinação da recuperação em espessura e inchamento mais recuperação em espessura**. Rio de Janeiro, 1986. (Norma Brasileira NBR-9535)

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

ALBUQUERQUE, C. E. C. Da madeira dos sarcófagos à moderna indústria. **Revista da Madeira**, Curitiba-PR, v. 45, p. 26 - 28, 01 nov. 1999.

ALMEIDA, V. C. **Efeito da Adição de Carga e Extensor nas Propriedades do Adesivo Uréia-Formaldeído e dos Compensados de *Pinus elliottii* e *Schizolobium amazonicum***, 2008. 88f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa – MG, 2008.

ALMEIDA, V. C.; LELIS, R.C.C. **Utilização de polifenóis da casca de *Pinus* como fonte de adesivos para colagem de madeira**. Relatório final CNPq / PIBIQ. 2002.

BORGES, A.S.; CINICLIO, G.; BRITO, J.O.. Considerações energéticas e econômicas sobre resíduos de madeira processada em serrarias. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** p. 603-605.

BORTOLETTO JUNIOR, G.; GARCIA, J. N. Bending strength and stiffness properties of OSB and plywood panels. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 4, p. 563-570, 2004.

DALTON, L. K. Tannin-formaldehyde resins as adhesives for wood. **Australian J. Appl. Sci.** v.1, p.54 – 70, 1950.

DALTON, L.K. Resins from sulphited tannins as adhesives for wood. **Australian J. Appl Sci.** V.4, p.136 - 145, 1953.

DIX, B. MARUTZKY, R. Untersuchungen zur Gewinnung von Polyphenole aus Nadelholzrinden. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v.41, p.45-50, 1982.

DIX, B.; MARUTZKY, R. Tanninformaldehydharze aus den Rindenextrakten von Fichte (*Picea abies*) und Kiefer (*Pinus sylvestris*). **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 45, p.457-463, 1987.

FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) Yearbook, 1991.

FERREIRA, E. S. **Utilização dos Polifenóis da Casca de Pinus para Produção de Adesivos para Compensados** 2004. 101f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais), Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2004.

GONÇALVES, C. A.; LELIS, R. C. C. Avaliação do teor de tanino condensáveis de cinco de leguminosas arbóreas. IN: VI CONGRESSO E EXPOSIÇÃO INTERNACIONAL SOBRE FLORESTAS, **Anais...**, Forest 2000, p. 393-394, 2000.

GNAMM, H. **Die Gerbstoffe und Gerbmittel**. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH. 2. Aufl. Stuttgart, 1933.

GUANGCHENG, Z.; YUNLU, L; YAZAKI, Y. Extractive yields, Stiasny values and polyflavonoid contents in barks from six acacia species in Australia. **Australian Forestry**, v. 54, p. 154 -156. 1991.

HASLAM, E. **Chemistry of vegetable tannins**. London: Academic, 1966.177p.

HEMINGWAY, R. W. Adhesives from southern pine bark – a review of past and current approaches to resin formulation problems. **Forest Product Research Society**, Madison/Wisconsin, USA, p. 443-457, 1978.

HERGERT, H. L. Condensed Tannins in adhesives: Introduction and historical perspectives. IN: HEMINGWAY, R. W., CONNER, A. H., BRANHAM, S.J. **Adhesives from renewable resources**. American Chemical Society, Washington, D.C., p. 155-171, 1989.

HILLIS, W. E. **Natural Polyphenols (Tannins) as a Basis for Adhesives**. Second Weyerhaeuser science Symp.: Phenolic Resins. Chemistry and Application, 171-187. 1981.

- IWAKIRI, S.; OLANDOSKI, D.P.; LEONHARDT, G.; BRAND, M.A. Produção de chapas de madeira compensada de cinco espécies de pinus tropicais. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 11, n. 2, p. 71-77, 2001.
- IWAKIRI, S.; SILVA, J.C.; SILVA, J.R.M; ALVES, C.R; PUEHRINGER, C.A, Produção de compensados de *pinus taeda* e *pinus oocarpa* schiede com diferentes formulações de adesivo uréia formaldeído. **Revista Árvore**, Viçosa-MG, v.26, n.3, p.371-375, 2002.
- MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. dos. Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas. Rio de Janeiro. BNDES n. 27, p. 121-156. 2008.
- MORI, F. A. **Caracterização parcial dos taninos da casca e dos adesivos produzidos de três espécies de Eucaliptos**. 2000. 73f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal), Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG.
- MORAIS, R.D.V. **Produção e Caracterização Físico-mecânica do Painel de Compensado de Pinus sp. Produzido com Resina Poliuretana Bi-componente**. 2008. 74f, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Campus Experimental de Itapeva, Itapeva - SP
- HEMINGWAY, R.W. Adhesives from southern pine bark – a review of past and current approaches to resin formulation problems. **Forest Product Research Society**, Madison/Wisconsin, USA, p. 443-457, 1978.
- METCHE, M. **Tanins, nature et propriétés**, Groupe Polyphénols. Nancy. V.10, p. 11-32, 1980.
- MOUBARIK, A; PIZZI, A; ALLAL, A; CHARRIER, F; CHARRIER,B. Cornstarch and tannin in phenol-formaldehyde resins for plywood production, **Industrial Crops and Products**, v.30, p. 188-193, 2009.
- KOLLMANN F, SCHNEIDER A.; Über das Sorptionsverhalten wärmebehandelter Hölzer. **Holz Roh- Werkstoff** 21: 77-85. 1963.
- PIZZI, A. **Wood adhesives: chemistry and technology**. New York: Marcell Dekker, 1983, 364p.
- PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. 680 p.
- POSER, G. L.; GOSMANN, G. Acácia-Negra. **Ciência Hoje**. V.11, n.63, p. 68 – 70, 1990.
- PLOMLEY, K. F.; GOTTSTEIN, J. W.; HILLS, W. R. Tannin-formaldehyde adhesives. **CSIRO Aust. For. Prod. Newsl.** V.234, p.6 – 8, 1957.
- PRASETYA, B.; ROFFAEL, E. Neuartige charakterisierung von natürlichen Polyphenolen hinsichtlich ihrer Vernetzbarkeit. **Holz als Roh-Werkstoffe**, V. 49, n. 481-484, 1991.
- QUEIROZ, C. R. A. A., MORAIS, S. A. L., NASCIMENTO, E. A. Caracterização dos taninos da aroeira-preta (*Myracrodruon urundeuva*), **Revista Árvore** Viçosa-MG, v.26, n.4,

p.485-492, 2002

ROFFAEL, E.; DIX, B. Tannine als Bindemittel für Holzwerkstoffe. **Holz-Zentralblatt**, V. 120, n. 6, p. 90-93, 1994.

ROUX, D.G.; FERREIRA, D.; HUNDT, H.K.L.; MALAN, E. Structure, stereochemistry and reactivity of natural condensed tannins as basis for their extended industrial application. In: **Appl. Polymer Symp.** V.28, p. 335-353, 1975.

SELLERS, T. Wood adhesive innovations and applications in North America. **Forest Products Journal**. V. 51, n 6, p. 12-22, 2001.

SELLERS, T.; McSWEEN, J. R.; NEARN, W. T. La adhehencia en la Madera y los adhesivos. **Rev. VETAS**, p.74 – 77, 1995.

SHIMADA, A. N. **Avaliação dos taninos da casca de Eucalyptus como preservativo de madeira**. 1998. 53f. Dissertação (Mestrado), Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 1998.

SILVA, F. C. **Extração de taninos da casca de *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* e avaliação de suas propriedades de colagem**. 2009. 30f. Monografia, Departamento de Produtos Florestais, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica – RJ, 2009.

TOSTES, A. S. **Tanino da casca de *Eucalyptus pellita* F. Muel como fonte de adesivos para colagem de chapas de madeira aglomeradas**. 2003. 85f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

TSOUMIS, G. **Science and Technology of Wood** Structure, Properties, Utilization. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494p.

WEISSMANN, G.; AYLA, C. Die Verwendung von natürlichen Polyphenolen zur Herstellung von Holzleimen. **Holz als Roh und Werkstoff**. V.38, p.245 - 249, 1980.

WEISSMANN, G. Untersuchung der Rindenextrakt von Lärchen. **Holzforschung und Holzverwertung**, v. 37, n.4, p. 67-71, 1985.

WISSING, A. The utilization of bark II: Investigation of the Stiasny-reaction for the precipitation of polyphenols in Pine bark extractives. **Svensk Papperstidning**, v. 58, n. 20, p.745-750, 1955.

ZUCKER, W.V. 1983, Tannins: does structure determine function? An ecological perspective, **The American Naturalist**, Lancaster, v. 121 n. 3, p. 335-365, 1983.