



AMÉLIA GUIMARÃES CARVALHO

**UTILIZAÇÃO DE ADESIVOS TÂNICOS DE
Stryphnodendron adstringens (Mart.) Coville EM
PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA**

**LAVRAS – MG
2013**

AMÉLIA GUILMARÃES CARVALHO

**UTILIZAÇÃO DE ADESIVOS TÂNICOS DE *Stryphnodendron adstringens*
(MART.) Coville EM PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de Mestre.

Orientador

Dr. Fábio Akira Mori

**LAVRAS - MG
2013**

**Ficha Catalográfica Elaborada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca da UFLA**

Carvalho, Amélia Guimarães.

Utilização de adesivos tânicos de *Stryphnodendron adstringens*
(Mart.) Coville em painéis de madeira reconstituída / Amélia
Guimarães Carvalho. – Lavras: UFLA, 2013.

100 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2013.

Orientador: Fábio Akira Mori.

Bibliografia.

1. Barbatimão. 2. Compensado. 3. Aglomerado. 4. OSB. 5.
Adesivos naturais. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.836

AMÉLIA GUILMARÃES CARVALHO

**UTILIZAÇÃO DE ADESIVOS TÂNICOS DE *Stryphnodendron adstringens*
(MART.) Coville EM PAINÉIS DE MADEIRA RECONSTITUÍDA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, área de concentração em Processamento e Utilização da Madeira, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA 21 de fevereiro de 2013

| | |
|---------------------------|------|
| Dr. Fábio Akira Mori | UFLA |
| Dr. Lourival Marin Mendes | UFLA |
| Dr. André Luiz Zangiacomo | UFLA |

Dr. Fábio Akira Mori
Orientador

**LAVRAS - MG
2013**

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Divino Espírito Santo, pela sabedoria, proteção, por iluminar meu caminho para que alcance meus objetivos.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, pela oportunidade concedida para realização do mestrado.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos meus pais, José Joaquim de Carvalho e Maria Júlia Guimarães Carvalho, e meus irmãos Arquimedis Augusto de Carvalho e Olimpio Augusto de Carvalho, pelo apoio certo em todos os momentos.

Ao meu namorado, Antônio José Vinha Zanuncio, que é meu porto seguro, quem sempre me tranquiliza e me ajuda quando mais preciso.

À Marcela Gomes, que além da ajuda com a dissertação, é minha amiga, irmã, confidente, conselheira, de tudo um pouco.

Aos amigos que ajudaram desde a coleta do material até a realização dos testes finais: Elias Farias, Marina Pires, Stefânia Oliveira, Teodorico Silveira, Vinnicius Pizzol, Wilson Almeida e a todos da UEPAM (Unidade Experimental de Painéis de Madeira), a ajuda de vocês foi de extrema importância.

Ao Rafael Mendes, pela inquestionável ajuda com a dissertação.

Ao meu orientador Fábio Akira Mori, pelo estímulo em todas as etapas do curso.

Agradeço aos amigos e companheiros das disciplinas, Bárbara Maria Guimarães, Elias Farias, Lucas Amaral, Marcela Gomes, Olívia Lopes, Javan Motta, João Rodrigo Nobre, Luiz Eduardo Melo, Ricardo Gabriel Mesquita, Stefânia Oliveira, Tatiana Paula Arruda, Teodorico Silveira, Vinnicius Pizzol,

com os quais juntos “quebramos a cabeça” com os inúmeros trabalhos, provas, relatórios e seminários!

RESUMO

Stryphnodendron adstringens (Mart.) Coville é uma espécie do Cerrado, conhecida popularmente como barbatimão, cuja principal utilização de valor econômico é a extração de taninos, encontrados nas suas cascas e folhas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade técnica de utilização de adesivo à base de taninos provenientes das cascas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville, para a produção de painéis compensados, aglomerados e *OSB* (*Oriented Strand Board*). Foram produzidos adesivos à base de taninos extraídos das cascas de barbatimão, estes foram misturados aos adesivos comerciais, ureia-formaldeído e fenol-formaldeído, nas proporções de 25; 50; e 75%. Os adesivos puros, assim como as misturas tiveram as propriedades dos adesivos determinadas. Posteriormente, foram produzidos painéis compensados com os adesivos: fenol-formaldeído, tanino-formaldeído e as misturas destes. Os painéis compensados foram produzidos com 5 lâminas cruzadas de pinus, a uma gramatura de 360 g.m⁻² (linha dupla) utilizando uma pressão específica de 12 kgf.cm⁻², tempo de prensagem de 10 minutos e temperatura de 150°C. Também foram produzidos painéis aglomerados e painéis *OSB*, com os adesivos ureia-formaldeído, tanino-formaldeído e as misturas destes. Os painéis foram produzidos com suas respectivas partículas, geradas a partir da madeira de pinus, com um teor de adesivo de 8% a uma pressão de 40 kgf.cm⁻², um tempo e temperatura de prensagem de 8 minutos e 160°C, respectivamente. Observou-se um grande potencial de utilização dos taninos de barbatimão para produção de painéis compensados, inclusive sem que necessite da associação com o adesivo fenol-formaldeído. Os painéis aglomerados com até 50% de utilização de adesivo tânico de barbatimão se mostraram aptos para utilização, atendendo a todos os pré-requisitos estipulados pela norma de comercialização. Os painéis *OSB* foram produzidos com o adesivo ureia-formaldeído uma vez que a mistura dos adesivos, tanino-formaldeído e fenol-formaldeído reagiram, aumentando assim a viscosidade da mistura e impossibilitando a aplicação da mesma. Os painéis *OSB* produzidos apenas com o adesivo ureia-formaldeído e apenas com o adesivo à base de taninos de barbatimão atenderam a todos os pré-requisitos estipulados pela norma de comercialização. Fato que demonstra grande potencial de utilização dos taninos de barbatimão para produção de painéis *OSB*.

Palavras-chave: Adesivos naturais. Barbatimão. Compensado. Aglomerado. *OSB*.

ABSTRACT

Stryphnodendron adstringens (Mart.) Coville is a species of the Cerrado popularly known as *barbatimão*, whose primary use of economic value is the tannins extraction, found in its barks and leaves. The objective of this study was to evaluate the technical feasibility of using adhesive based in tannins from the barks of *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville, for the production of plywood, particleboard and OSB (*Oriented Strand Board*). Adhesives based in tannins extracted from the bark of *barbatimão* were produced and these were mixed to commercial adhesives, urea-formaldehyde and phenol-formaldehyde in the proportions of 25, 50 and 75%. The adhesives pure as well as mixtures had the adhesives properties determined. Subsequently plywood panels were manufactured with the adhesives: phenol-formaldehyde, tannin-formaldehyde, and mixtures of them. The plywood were produced with cross blades of pine with weighs 360 g.m^{-2} (double line) using a specific pressure of 12 kgf.cm^{-2} , time and pressing of 10 minutes and temperature of 150°C . Also were produced particleboards and OSB panels, with the adhesives urea-formaldehyde, tannin-formaldehyde, and mixtures of them. The panels were produced with their respective particles generated from pine wood with a content adhesive of 8% at a pressure 40 kgf.cm^{-2} , a time and pressing temperature for 8 minutes and 160°C , respectively. There was a great potential for use of the tannin from *barbatimão* for plywood produce, even without requiring the association with phenol-formaldehyde adhesive. The particleboards with up to 50% of use from tannic *barbatimão* adhesive, proved fit for use, meeting all the prerequisites stipulated by the marketing standard. The OSB panels were produced with urea-formaldehyde adhesive once the adhesive mixture, tannin-formaldehyde and phenol-formaldehyde reacted, thereby increasing the mixture viscosity and disabling the application of the same. The OSB panels produced only with urea-formaldehyde adhesive and with only the adhesive based from tannin of *barbatimão* met all prerequisites stipulated by the marketing standard. Fact that shows great potential for use from tannin of *barbatimão* for OSB panels production.

Keywords: Natural adhesives. *Barbatimão*. Plywood. Particleboard. OSB.

LISTA DE GRÁFICOS

| | | |
|------------|--|----|
| Gráfico 1 | Absorção de água após 24 horas de imersão dos painéis compensados, onde (*) - significativo ao nível de 5% de significância | 48 |
| Gráfico 2 | Valores médios de inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água dos painéis compensados | 49 |
| Gráfico 3 | Valores médios de resistência ao cisalhamento na condição seco dos painéis compensados | 51 |
| Gráfico 4 | Resistência ao cisalhamento após 24 horas de imersão em água dos painéis compensados, onde (*) - significativo ao nível de 5%..... | 52 |
| Gráfico 5 | Módulo de ruptura paralelo e perpendicular à flexão estática..... | 53 |
| Gráfico 6 | Módulo de elasticidade perpendicular dos painéis compensados onde (*) - significativo ao nível de 5%..... | 55 |
| Gráfico 7 | Módulo de elasticidade paralelo dos painéis compensados | 56 |
| Gráfico 8 | Absorção de água após 2 e 24 horas de imersão em água dos painéis aglomerados | 59 |
| Gráfico 9 | Inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água dos painéis aglomerados, onde (*) - significativo ao nível de 5%..... | 60 |
| Gráfico 10 | Taxa de não retorno em espessura dos painéis aglomerados, onde (*) - significativo ao nível de 5% | 62 |
| Gráfico 11 | Ligação interna dos painéis aglomerados, onde (*) - significativo ao nível de 5% | 63 |

| | | |
|------------|---|----|
| Gráfico 12 | Módulo de ruptura dos painéis aglomerados, onde (*) - significativo ao nível de 5% | 64 |
| Gráfico 13 | Módulo de elasticidade dos painéis aglomerados, onde (*) - significativo ao nível de 5% | 65 |
| Gráfico 14 | Absorção de água após 2 horas de imersão em água dos painéis <i>OSB</i> , onde (*) - significativo ao nível de 5%..... | 68 |
| Gráfico 15 | Absorção de água após 24 horas de imersão em água dos painéis <i>OSB</i> , onde (*) - significativo ao nível de 5%..... | 69 |
| Gráfico 16 | Inchamento em espessura após 2 horas de imersão em água dos painéis <i>OSB</i> , onde (*) - significativo ao nível de 5% | 70 |
| Gráfico 17 | Inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água dos painéis <i>OSB</i> , onde (*) - significativo ao nível de 5% | 71 |
| Gráfico 18 | Taxa de não retorno em espessura dos painéis <i>OSB</i> , onde (*) - significativo ao nível de 5% | 71 |
| Gráfico 19 | Ligação interna dos painéis <i>OSB</i> , onde (*) - significativo ao nível de 5%..... | 73 |
| Gráfico 20 | Valores médios do MOE paralelo e perpendicular dos painéis <i>OSB</i> , onde (*) - significativo ao nível de 5% | 76 |
| Gráfico 21 | Valores médios do MOR perpendicular dos painéis <i>OSB</i> , onde (*) - significativo ao nível de 5% | 77 |
| Gráfico 22 | Valores médios do MOR paralelo dos painéis <i>OSB</i> | 77 |

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|----------|--|----|
| Figura 1 | Estrutura do flavonoide | 21 |
| Figura 2 | Reação entre taninos e formaldeído | 24 |

LISTA DE QUADROS

| | | |
|----------|--|----|
| Quadro 1 | Propriedades e normas utilizadas na avaliação dos compensados | 41 |
| Quadro 2 | Propriedades e normas utilizadas na avaliação dos aglomerados e <i>OSB</i> | 42 |

LISTA DE TABELAS

| | | |
|----------|--|----|
| Tabela 1 | Distribuição dos tratamentos para produção dos painéis | 37 |
| Tabela 2 | Propriedades dos adesivos..... | 44 |
| Tabela 3 | Densidade aparente dos painéis compensados | 47 |
| Tabela 4 | Densidade aparente e razão de compactação dos aglomerados..... | 58 |
| Tabela 5 | Densidade aparente e razão de compactação dos painéis <i>OSB</i> | 67 |

SUMÁRIO

| | | |
|--------------|---|----|
| 1 | INTRODUÇÃO | 15 |
| 2 | REFERENCIAL TEÓRICO | 17 |
| 2.1 | Barbatimão (<i>Stryphnodendron adstringens</i> (Mart.) Coville.) | 17 |
| 2.2 | Taninos | 19 |
| 2.2.1 | Taninos como matéria-prima na preparação de adesivos | 22 |
| 2.3 | Painéis compensados | 26 |
| 2.4 | Painéis aglomerados | 29 |
| 2.5 | Painéis <i>OSB</i> | 32 |
| 3 | MATERIAL E MÉTODOS | 35 |
| 3.1 | Coleta das cascas | 35 |
| 3.2 | Extração dos polifenóis | 35 |
| 3.3 | Produção de adesivo termofixo à base de taninos de barbatimão | 36 |
| 3.4 | Distribuição dos tratamentos | 36 |
| 3.5 | Determinação das propriedades dos adesivos | 37 |
| 3.6 | Obtenção da madeira para fabricação dos painéis | 38 |
| 3.7 | Produção dos painéis de madeira | 38 |
| 3.7.1 | Painel compensado | 38 |
| 3.7.2 | Painel aglomerado convencional | 39 |
| 3.7.3 | Painel <i>OSB</i> | 40 |
| 3.8 | Ensaio físicos mecânicos | 41 |
| 3.8.1 | Compensado | 41 |
| 3.8.2 | Aglomerado e <i>OSB</i> | 41 |
| 3.9 | Análise estatística | 42 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES | 44 |
| 4.1 | Propriedades dos adesivos | 44 |

| | | |
|--------------|--|----|
| 4.2 | Compensado | 46 |
| 4.2.1 | Propriedades físicas | 46 |
| 4.2.2 | Propriedades mecânicas | 50 |
| 4.3 | Aglomerado | 57 |
| 4.3.1 | Propriedades físicas | 57 |
| 4.3.2 | Propriedades mecânicas | 62 |
| 4.4 | OSB | 66 |
| 4.4.1 | Propriedades físicas | 66 |
| 4.4.2 | Propriedades mecânicas | 72 |
| 5 | CONCLUSÃO | 78 |
| 5.1 | Utilização de taninos na produção de compensado | 78 |
| 5.2 | Utilização de taninos na produção de aglomerado | 78 |
| 5.3 | Utilização de taninos na produção de OSB | 79 |
| 5.4 | Conclusão geral | 80 |
| | REFERÊNCIAS | 81 |
| | ANEXOS | 90 |

1 INTRODUÇÃO

A colagem da madeira contribui de forma direta na conservação de recursos florestais, tendo em vista a possibilidade de seu aproveitamento integral da madeira, através da utilização de pequenos elementos de madeira de forma e dimensões variadas e posterior reconstituição em diversos tipos de produtos reconstituídos de madeira (IWAKIRI, 2005).

A procura por produtos de madeira reconstituída é crescente, segundo a *Food and Agriculture Organization* - FAO (2013) a produção mundial de painéis de madeira reconstituída no ano de 2011 foi de 287.719.522 m³, um aumento de 36,6% em relação à produção mundial em 2001, que foi de 182.529.147 m³, junto com o aumento da produção dos painéis, existe o aumento do consumo de adesivos. Esses adesivos são produzidos sinteticamente a partir de recursos não renováveis como o petróleo e gás natural. Com recursos petrolíferos minguantes e os instáveis preços dos combustíveis fósseis, existe uma grande incerteza sobre o custo futuro e disponibilidade de adesivos sintéticos.

O elevado preço dos adesivos sintéticos no mercado atual faz com que a sua utilização tenha uma influência significativa no custo final dos painéis de madeira produzidos. Além da preocupação com o nível de emissão de formaldeído emitido pelo adesivo sintético ureia formaldeído, o qual é o mais utilizado. Devido a isso, pesquisas que busquem substituir totalmente ou parcialmente os adesivos sintéticos, a fim de produzir painéis, de boa qualidade a um custo menor e com menor emissão de formaldeído são de relevada importância.

Recentemente pesquisas envolvendo a busca de adesivos naturais se concentram na utilização do alcatrão oriundo da carbonização da lignina e com

destaque para a utilização dos taninos. No Brasil a utilização dos taninos de acácia negra já é uma realidade em escala industrial.

Os taninos são compostos fenólicos, classificados como metabólitos secundários importantes no mecanismo de defesa do vegetal, contra a radiação solar, herbivoria e organismos patogênicos. A concentração desses compostos fenólicos na planta é influenciada tanto pela genética da espécie quanto pelas condições ambientais em que esta se encontra.

Os taninos são amplamente utilizados no curtimento de peles, mas, além disso, também são utilizados no tratamento de água potável (floculante), como agente antioxidante em águas e caldeiras, no desenvolvimento de sabor adstringente na fabricação de bebidas, na produção de produtos farmacêuticos (PIZZI, 1994), na indústria sucroalcooleira para clarificação de açúcar, e como já citado, na confecção de adesivos para artefatos de madeira.

Dentre as espécies do Cerrado que apresentam potencial tanífero, *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville, a qual é conhecida, popularmente, como barbatimão, tem obtido destaque, apresentando com principal utilização de valor econômico a extração de taninos, encontrados em suas cascas e folhas. As folhas apresentam em torno de 27% a 32% (base massa seca de material de tanino) nos meses de maio e setembro (ALMEIDA et al., 2008), enquanto que o rendimento médio em taninos condensados da casca de barbatimão é de 40% em relação a massa seca do material (MORI et al., 2006).

São incipientes os trabalhos relacionados com os estudos do adesivo tânico de barbatimão, sendo assim o presente trabalho tem por objetivo avaliar a viabilidade técnica de utilização de adesivo à base de taninos provenientes das cascas de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville, na produção de painéis compensados, aglomerados e OSB.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Barbatimão (*Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville.)

Stryphnodendron adstringens (Mart.) Coville é uma espécie nativa do cerrado, pertence à família *Fabaceae*, e subfamília *Mimosoideae* sendo também conhecido como barbatimão-verdadeiro, barba de timão, chorãozinho-roxo e casca da virgindade. Tem hábito arbóreo, com plantas de 4 a 5 m de altura (LORENZI, 1998). Possui tronco revestido por casca que se solta facilmente, ramos curtos e grossos, tortuosos, com casca marrom-tormentosa-ferrugínea e rugosa, com cicatrizes deixadas pelas folhas nas extremidades, revestidos de pouca folhagem (RODRIGUES; CARVALHO, 2001).

As folhas do barbatimão são alternas, compostas por folíolos aos pares (12 a 16 folíolos) e de forma arredondada à oval. Seus frutos são vagens lenhosas, cilíndricas de cor marrom quando maduros, com 8 a 10 cm de comprimento e sua casca é grossa e rígida. No período de floração brotam pequenas flores creme-esverdeadas dispostas em inflorescências com formato de espiga (FELFILI; BORGES FILHO, 2004). Sendo suas sementes achatadas e envoltas por uma faixa escura.

A espécie é típica de vegetação de cerrado e apresenta ampla distribuição geográfica no Brasil central, ocorrendo em vários estados desde o Pará, atravessando o planalto central, até o Norte do Paraná. É encontrada com mais frequência em fitofisionomias de cerrado típico, campo sujo e cerradão (FELFILI; BORGES FILHO, 2004).

O barbatimão tem grande potencial econômico, em decorrência da grande quantidade de taninos produzidos em suas folhas e cascas. Por serem metabólitos secundários, os taninos são influenciados por fatores ambientais, como mostrado por Jacobson et al. (2005); onde os autores avaliaram a

influência de fatores edáficos sobre a produção de fenóis totais e taninos em duas espécies de barbatimão (*S. adstringens* e *S. polyphyllum*). Os dados foram coletados em quatro localidades da região de cerrado, em Goiás, nas estações seca (julho de 2001) e chuvosa (fevereiro de 2002) os autores observaram que solos com baixa fertilidade química estão associados com maiores níveis de fenóis totais e taninos, para as duas espécies. Maiores produções desses metabólitos foram observadas no período chuvoso. A produção de fenóis totais e taninos, na estação seca, estiveram positivamente correlacionados à textura arenosa dos solos; enquanto, na estação chuvosa mostrou-se mais associada com a saturação por alumínio no solo.

Outro trabalho que demonstrou a variação da produção de taninos por influência do ambiente é o de Santos et al. (2006), onde os autores analisaram mensalmente e durante um ano a composição de taninos em cascas de espécies de barbatimão, *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Cov. e *S. polyphyllum* (Mart.). Os resultados foram correlacionados com as condições climáticas do período de coleta (precipitação, umidade e temperatura média). A análise de componentes principais dos dados mostrou uma tendência de maior produção de taninos na estação quente e chuvosa, assim como no trabalho de Jacobson et al. (2005).

Ribeiro (2011) verificou os teores de taninos das folhas de *Stryphnodendron adstringens* entre os diferentes extratos da copa. O autor observou que *S. adstringens* produzem fenóis totais e taninos em maiores concentrações nas posições topo (23,05% e 18,23%) e base (21,42% e 16,61%) da copa, fato possivelmente explicado devido aos mecanismos de fotoproteção que os indivíduos de *S. adstringens* utilizam para se protegerem do excesso de radiação, no sentido de minimizar tal exposição à qual as folhas presentes nestes extratos estão submetidas.

A exploração comercial do barbatimão é extrativista e destina-se à extração de taninos da casca para serem utilizados no curtimento do couro de animais, assim como na medicina popular. Segundo Felfili e Borges Filho (2004) a intensificação da coleta vem interferindo negativamente na sua estrutura populacional, devido à falta de seleção dos indivíduos a serem explorados, assim como a falta de fiscalização e inexistência de plano de manejo. Os mesmos autores demonstram a viabilidade de extrair as cascas do barbatimão de forma bastante racional nas árvores vivas, permitindo que, após alguns anos essas cascas se formem novamente (regeneração natural). Pode-se, assim, obter um ciclo contínuo na obtenção das cascas de barbatimão, bem como na domesticação da espécie por meio de plantios e sistemas de manejo.

2.2 Taninos

Segundo Pizzi (1983, 2003), o termo “tanino” é usado para definir duas classes diferentes de compostos químicos de natureza fenólica: os taninos hidrolisáveis e os taninos condensáveis.

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; e (b) os elagitaninos, que por hidrólise liberam o ácido elágico, ácido valônico, sendo o ácido elágico o mais importante (METCHE, 1980).

Segundo Zucker (1983) os taninos hidrolisáveis seriam responsáveis pela defesa das plantas contra os herbívoros e os taninos condensáveis iriam assegurar a defesa contra micro-organismos patogênicos. Quanto à ação dos taninos hidrolisáveis sobre os herbívoros, Metche (1980) relatou que esses compostos estariam implicados no processo digestivo desses animais,

dificultando-o em decorrência da complexação dos taninos com certas proteínas ligadas à produção de enzimas digestivas.

Zucker (1983) afirma que os frutos verdes apresentam alta concentração de taninos hidrolisáveis, que decresce à medida que eles amadurecem. Isso nos mostra um dos mecanismos de defesa das plantas, uma vez que o fruto ainda verde não possui sementes maduras, prontas para germinação, e estes serão menos atacados. No momento que o fruto amadurece a concentração de taninos hidrolisáveis diminui, permitindo assim o ataque de predadores com suas sementes já prontas para iniciar uma nova geração.

De acordo com Pizzi (2003) os taninos hidrolisáveis possuem certas propriedades indesejáveis, como baixa reatividade com formaldeído, baixo caráter nucleofílico e limitada produção mundial, o que os impede que sejam efetivamente utilizados para produção de adesivos fenólicos. Por outro lado, segundo o mesmo autor, os taninos condensados que representam mais de 90% da produção mundial de taninos comerciais, são tanto do ponto de vista químico quanto econômico, mais interessantes para a preparação de adesivos. Os taninos condensados e seus precursores, os flavonoides, são conhecidos por possuírem uma larga distribuição na natureza e particularmente pela expressiva concentração encontrada tanto na madeira quanto na casca de várias espécies (PIZZI, 2003).

A Figura 1 demonstra a estrutura flavonoide que constitui o principal monômero dos taninos condensados (PIZZI, 1994).

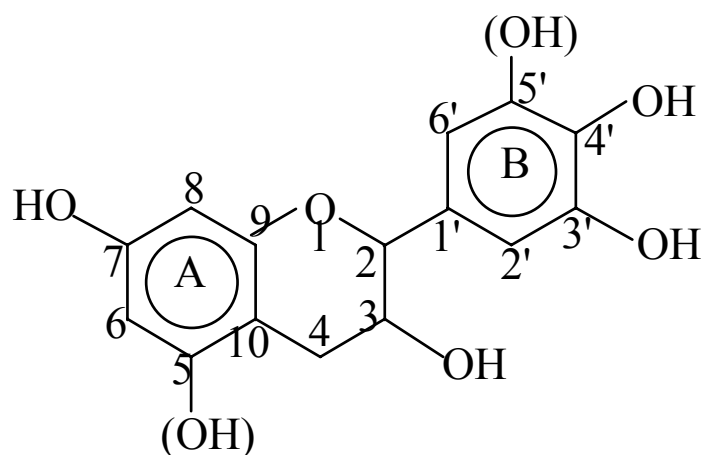


Figura 1 Estrutura do flavonoide

A estrutura básica dos taninos condensados, de modo geral, corresponde a copolímeros de condensação, cujas estruturas podem ser do tipo resorcinólico ou floroglucinólico no anel A e pirogalol ou catecol no anel B. O tipo resorcinólico é aquele que possui apenas uma hidroxila ligada ao carbono 7 no anel A, enquanto o tipo floroglucinólico possui hidroxilas nos carbonos 5 e 7. O anel B, tipo catecol possui duas hidroxilas ligadas, respectivamente, aos carbonos 3' e 4', enquanto o anel B pirogalol possui hidroxilas ligadas aos carbonos 3', 4' e 5'. Em alguns taninos pode ocorrer o anel B fenólico, que possui apenas uma hidroxila ligada ao carbono 3' (PIZZI, 1983).

Taninos condensados consistem por unidades flavonoides em diferentes graus de condensação, estão invariavelmente associados com seus precursores, com outros flavonoides análogos, carboidratos, gomas e traços de aminoácidos. De acordo com Pizzi (1983) monoflavonoides e ácidos contendo nitrogênio estão presentes em concentração muito baixa para influenciar as características químicas e físicas do extrato como um todo. Entretanto, carboidratos simples (hexoses, pentoses, e dissacarídeos) e gomas hidrocoloidais estão frequentemente presentes em quantidades suficientes para diminuir e aumentar a

viscosidade, respectivamente, e uma variação excessiva nas suas percentagens alteraria as propriedades físicas do extrato natural (PIZZI, 1983).

De acordo com Pizzi (1994) as unidades flavonoides podem estar unidas entre si pelos carbonos C₄ - C₆ ou C₄ - C₈ para formar os taninos compostos, principalmente, de fisetinidina (anel A resorcinólico e anel B catecol) e robinetidinina (anel A resorcinólico e anel B piragolol). Segundo o mesmo autor, a ligação interflavonoide (C₄-C₈) predomina em taninos nos quais a catequina (anel A floroglucínolico e anel B catecol) e galocatequina (anel A floroglucínolico e anel B pirogalol) predominam como unidades repetitivas.

Quando formados por unidades monoméricas fisetinidina e robinetidinina, os taninos condensados são chamados, respectivamente, profisetinidina e prorobinetidinina e quando formados por catequina e galocatequina, os polímeros são denominados procianidina e prodelfinidina, respectivamente. As posições C₆ e/ou C₈ livres do anel A das unidades flavonoides constituem os sítios reativos com formaldeído, em função de seu forte caráter nucleofílico (PIZZI, 1994).

2.2.1 Taninos como matéria-prima na preparação de adesivos

No setor de painéis reconstituídos de madeira a ureia-formaldeído é o adesivo mais comumente utilizado, devido ao seu bom desempenho e seu baixo custo em relação aos outros adesivos comerciais, enquanto o adesivo fenol-formaldeído é o segundo mais utilizado (PARK; KIM, 2008). Sendo que o adesivo ureia-formaldeído é restrito para ambientes internos e o fenol-formaldeído pode ser utilizado com sucesso em ambientes externos ou internos com alta umidade.

Atualmente, os painéis derivados de madeira são amplamente utilizados em ambientes fechados, sendo assim o formaldeído e os compostos orgânicos

voláteis emitidos por esses painéis se tornou uma das principais causas de degradação da qualidade do ar interior (*IQA*), o que pode afetar negativamente o conforto humano, a saúde e a produtividade (NORBÄCK, 2009; BRIGHTMAN et al., 2008). Desde que o formaldeído foi classificado como cancerígeno (IARC, 2004) se tornou novamente o foco de pesquisas (SALTHAMMER; MENTESE; MARUTZKY, 2010), muitos estudos têm sido realizados sobre as emissões de formaldeído e compostos orgânicos voláteis (*VOCs*) de painéis derivados de madeira (HE; ZHANG; WEI, 2012).

Vários esforços têm sido feitos para reduzir ou substituir o conteúdo de formaldeído em formulações adesivas (MOZAFFAR; SAYED MARGHOOB; VED PRAKASH, 2004; NIHAT; NILGÜL, 2002; PIZZI, 1977; THOMPSON, 1991; YOOSUP; DOHERTYB; HALLEYA, 2008) ou para desenvolver adesivos a partir de materiais naturais (ALDO BALLERINI; PIZZI, 2005; LI et al., 2004; MORI, 2000; MOUBARIK et al., 2009; PICHELIN et al., 2006; PING et al., 2011; PIZZI, 2006; TROSA; PIZZI, 2001).

Dentre os recursos renováveis pode-se destacar a utilização de taninos condensados, os quais podem ser utilizados como substitutos de resinas sintéticas devido à sua característica de precipitar com formaldeído, formando assim um polímero de estrutura rígida. Esses adesivos são denominados taninos-formaldeídos (TF).

Os taninos condensados possuem alta reatividade com o formaldeído e segundo Pizzi (2003) essa alta reatividade decorre do anel A, resorcinólico ou floroglucinólico, podendo atingir, em condições similares, velocidade de reação de 10 a 50 vezes maior que a da reação do fenol com o formaldeído. De acordo com o mesmo autor essa característica dos taninos impossibilita a síntese de resóis, pois os resóis de taninos contendo grupos metilol ($-\text{CH}_2\text{OH}$) reativos condensam com outros núcleos fenólicos de taninos em muito pouco tempo. Os resóis tânicos não são estáveis, possuindo então uma vida útil muito curta. Sendo

assim, a tecnologia de produção de adesivos fenólicos não é uma alternativa viável para a produção de adesivos à base de taninos. Entretanto, se o endurecedor não for adicionado, os taninos permanecem inativos e têm vida útil indefinida, seja como líquido ou pó (PIZZI, 1994).

O formaldeído pode reagir 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). A Figura 2 representa a reação entre taninos com formaldeído.

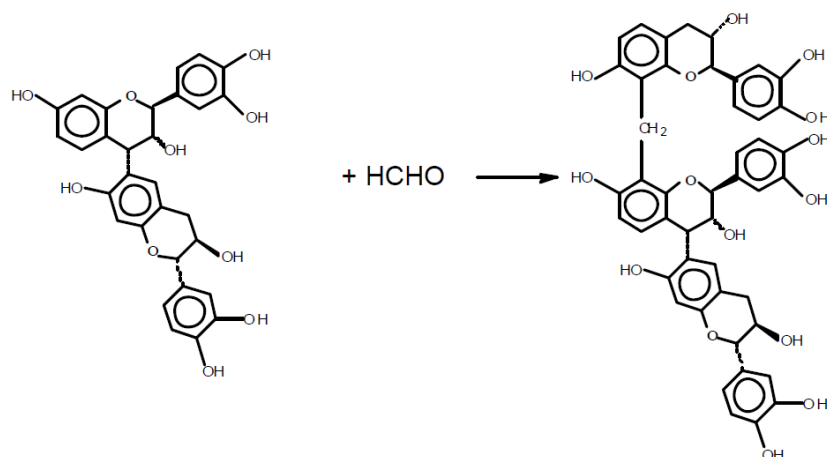


Figura 2 Reação entre taninos e formaldeído
Fonte: TANAC (2012)

Por serem formados de estruturas poliméricas, os taninos condensados, quando utilizados em misturas adesivas, necessitam de baixas quantidades de formaldeído para cura e podem formar linhas de cola altamente resistentes à ação de intempéries (PIZZI, 1994, 2003).

Segundo Pizzi (2003), os anéis A do tanino de mimosa e quebracho apresentam reatividade com o formaldeído comparável com a do resorcinol, por exemplo, assumindo que a reatividade do fenol seja 1 e a do resorcinol seja 10, o

anel A tem reatividade de 8 a 9. Entretanto devido ao tamanho e a forma, as moléculas de tanino se tornam imóveis com baixo nível de condensação com o formaldeído, de modo que os sítios reativos disponíveis estão mais distantes para formação de pontes metilênicas, isso pode gerar uma polimerização incompleta e uma linha de cola fraca (PIZZI, 2003).

O grande interesse na investigação e subsequente aplicação industrial dos taninos aconteceram na África do Sul na década de 70, onde devido à grande abundância dos taninos da casca de acácia (*Acacia mearnsii*), tradicionalmente plantada para a produção de taninos para o curtimento de peles (JORGE et al., 2002). Este se mostrou um dos exemplos de destaque de exploração bem sucedida de extratos vegetais.

Porém cada espécie apresenta componentes químicos diferentes, segundo Jorge et al. (2002) existe dificuldade em lidar com taninos de casca de pinus, em comparação com taninos de *acacia*, devido, por exemplo, ao fato de os poliflavonoides de pinus apresentarem um alto peso molecular, assim como uma viscosidade elevada de seus extratos, menor solubilidade e uma maior reatividade com formaldeído, isso devido aos taninos de sua casca possuírem o anel A das unidades monoméricas tipo floroglucinol.

Segundo Carneiro (2006), os adesivos à base de taninos de eucalipto e angico-vermelho apresentam alta viscosidade e vida útil de trabalho curta, acarretando problemas de aplicação industrial. De acordo com o mesmo autor existem alternativas para melhorar as propriedades dos adesivos à base de taninos, mas nem sempre elas são aplicadas com sucesso, devido, principalmente, à diferença do conteúdo fenólico entre as espécies. Dentre as alternativas destacam-se a sulfitação dos taninos e a hidrólise ácida e/ou alcalina. Mostrando assim o porquê da necessidade de se conhecer individualmente as características dos taninos de cada espécie que se pretende utilizar.

No Brasil dentre as espécies que possuem potencial tanífero, pode-se destacar a acácia-negra (*Acacia mearnsii*), o barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*), o angico-vermelho (*Anadenanthera* spp.), a goiabeira (*Psidium guayava* Raddi), o pinus (*Pinus* spp.), eucaliptos (*Eucaliptus* spp.), o quebracho (*Schinopsis* spp.), entre outras. Em relação ao barbatimão, são ainda poucos os trabalhos relacionados com o estudo de seus taninos e principalmente em relação à utilização de seus taninos como adesivos, sendo o foco deste trabalho.

2.3 Painéis compensados

A madeira sólida, por ser um material heterogêneo e pela sua natureza anisotrópica apresenta algumas limitações quanto à utilização, principalmente devido às diferentes alterações dimensionais e da resistência nos seus diferentes sentidos. Os painéis de madeira reconstituída têm comportamento distinto ao da madeira sólida em relação à estabilidade dimensional, além dos fatores inerentes à própria madeira existem fatores relacionados ao processo de produção.

O painel compensado é produzido a partir de lâminas de madeira, onde essas são coladas em número ímpar de camadas, com a direção da grã perpendicular entre as lâminas adjacentes. Quando tais lâminas são coladas, obedecendo ao princípio da laminação cruzada, a restrição imposta pela linha de cola ao comportamento individual das lâminas resulta em produtos com melhor estabilidade dimensional e melhor distribuição de resistência nos sentidos longitudinal e transversal (IWAKIRI, 2005).

No Brasil, a produção industrial de compensado iniciou-se na região sul durante a década de 40, no qual a principal espécie empregada na confecção dos painéis era a araucária (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE - ABIMCI, 2001). A partir da década de 70, com a escassez do pinheiro do paraná para uso industrial, as

empresas produtoras de compensados instalaram novas unidades nas regiões centro-oeste e norte do país, sendo empregadas madeiras tropicais como fonte de matéria-prima na produção dos painéis (IWAKIRI; PRATA, 2008).

A partir da década de 90, em consequência da pressão ambiental cada vez maior sobre a exploração de florestas tropicais, e com o crescimento das florestas plantadas as indústrias de base florestal passaram a empregar em seus processos produtivos espécies de rápido crescimento, especialmente as madeiras do gênero pinus provenientes da região sul do país (IWAKIRI et al., 2006).

O compensado tem sofrido uma forte e desleal competição com os painéis de madeira reconstituída no mercado interno, uma vez que os painéis de madeira reconstituída gozam de isenção de impostos no mercado doméstico e compete no mesmo segmento de mercado, ou seja, a indústria da construção e a indústria de móveis, principais segmentos do compensado (ABIMCI, 2009).

Pesquisas que busquem adesivos naturais são de grande importância uma vez que além de serem produzidos a partir de fontes renováveis, diminuem a emissão de formaldeído.

Hoong et al. (2009) avaliaram painéis compensados fabricados com madeira de *Canarium spp* e com resina à base de taninos de *Acacia mangium* em associação com o adesivo fenólico em proporções de 90 e 80% de adesivo tânico, a uma gramatura de 300 g.m⁻² (linha dupla). Os resultados dos testes de cisalhamento mostraram que os compensados colados com taninos de *Acacia mangium* atenderam as exigências de grau interior e exterior das normas europeias EN 314-1: 1993 e EN 314-2:1993 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993a, 1993b). Indicando o potencial desse adesivo para ser usado na fabricação de compensado com até 80% de substituição do adesivo FF.

Moubarik et al. (2009) produziram painéis compensados substituindo parte de adesivo fenol-formaldeído (FF) por amido de milho e por taninos de

casca de quebracho (*Schinopsis balansae*). Os autores constataram que existe uma relação entre a adição crescente de amido de milho e dos taninos de quebracho com a redução nas propriedades de ligação. No entanto, foi demonstrado que os taninos de quebracho e o amido de milho podem ser usados para substituir em até 20% as resinas FF utilizadas em painéis compensados sem afetar adversamente as propriedades de ligação. Os painéis compensados produzidos com a mistura dos adesivos, amido de milho – taninos de quebracho – FF (15:5:80) exibiram melhores propriedades mecânicas do que os painéis fabricados apenas com o adesivo FF comercial.

Hoong et al. (2011) utilizaram adesivo tânico de *Acacia mangium*, e esse adesivo em associação com o adesivo fenol formaldeído (FF), para colagem de compensados (*Annonaceae spp.*) a uma gramatura de 250 g.m⁻² em linha dupla. Foi observado que os valores de cisalhamento dos painéis fabricados apenas com o adesivo tânico foram adequados para a utilização apenas em ambiente interno. Porém, o painel compensado colado com tanino/FF/paraformaldeído (90:10:3%) exibiram excelentes resultados para o teste a seco, de imersão e para o teste de pós-fervura. Tendo potencial para substituir parcialmente o adesivo FF (em até 90%) na indústria de fabricação de compensados.

Goulart et al. (2012) produziram painéis compensados com adesivos à base de taninos obtidos das folhas e das cascas da espécie *Stryphnodendron adstringens*, assim como taninos da casca de acácia negra (*Acacia mearnsii*), adesivo fenol-formaldeído comercial e com misturas dos diferentes tipos de taninos e avaliaram apenas a resistência ao cisalhamento dos painéis. Os painéis foram produzidos com cinco lâminas de *Araucaria angustifolia*, a uma gramatura de 320 g.m⁻² (linha dupla). Os autores mostraram que o adesivo de casca de barbatimão apresentou a mesma resistência ao cisalhamento que o adesivo comercial de taninos da casca de acácia negra, mostrando-se, contudo,

com menor resistência do que os painéis produzidos com o adesivo fenol-formaldeído comercial. O adesivo à base de taninos da folha de barbatimão apresentou possibilidade de aplicação apenas em associação com outros tipos de taninos.

2.4 Painéis aglomerados

Os painéis de madeira aglomerada surgiram na Alemanha no início da década de 40, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, face à dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade para produção de painéis compensados, devido ao isolamento da Alemanha durante a 2ª guerra mundial. A produção foi paralisada logo em seguir, devido à redução na disponibilidade de matéria-prima para fabricação de resina, tendo em vista a prioridade do uso do petróleo para finalidade militar. Após a guerra, em 1946, o processo de desenvolvimento de painéis aglomerados foi retomado nos Estados Unidos, com aperfeiçoamentos de equipamentos e processos produtivos. A partir da década de 60, houve grande expansão em termos de instalações industriais e avanços tecnológicos (IWAKIRI, 2005).

Os painéis de madeira aglomerada começaram a ser produzidos no Brasil em 1966, pela Placas do Paraná S. A., instalada na cidade de Curitiba-PR. Na condição de um produto novo no mercado brasileiro, o aglomerado passou por períodos de questionamentos, principalmente, quanto às limitações técnicas, como alta absorção de água e inchamento em espessura, usinabilidade de bordas e problemas quanto à fixação de parafusos. No decorrer do tempo, foram incorporadas novas tecnologias, como uso de parafina, controle do gradiente de densidade e sistemas de parafusamento mais eficientes, visando minimizar tais problemas (IWAKIRI et al., 2005).

Atualmente, o aglomerado é uma das principais matérias-primas para o setor moveleiro brasileiro, segundo a FAO (2013) sua produção brasileira em 2011 foi de 3.069.000 m³, quando comparado com a produção em 2001 que foi de 1.832.996 m³, o painel aglomerado teve nesse período um aumento em sua produção de 40,3%.

De acordo com Iwakiri (2005) o painel de madeira aglomerada é produzido com partículas de madeira, com a incorporação de um adesivo sintético e reconstituídos numa matriz randômica e consolidados através da aplicação de calor e pressão na prensa quente.

Moslemi (1974) destaca que a qualidade dos painéis aglomerados está relacionada com a interação de diversos fatores, dentre eles, a matéria-prima (espécie, massa específica, geometria das partículas, acidez e teor de extrativos), a razão de compactação (relação entre a massa específica da madeira e a do painel produzido), o adesivo (tipo, quantidade e qualidade), o teor de umidade do colchão, o sistema de prensagem (pressão, temperatura, tempo de fechamento da prensa e tempo de prensagem).

O principal adesivo utilizado hoje para a produção de painéis aglomerados é o adesivo sintético ureia-formaldeído. As pesquisas para desenvolvimento dos adesivos provenientes de fontes renováveis são extremamente importantes por buscarem alternativas para a indústria de painéis, visto que o custo da aquisição de adesivos sintéticos representa um componente de peso no custo total do produto, segundo a Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira - ABIPA (2011), esse preço chega a representar 26% do custo final dos painéis produzidos.

Gonçalves et al. (2003) produziram painéis aglomerados com densidade aparente de 0,60g/cm² com adesivo ureia-formaldeído modificado em 10 e 20% com adesivo tânico de *Mimosa caesalpiniaefolia* Bentham, os autores utilizaram 10% de adesivo com base na massa seca das partículas e os resultados

encontrados tanto para módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), ligação interna (LI) quanto para inchamento em espessura (IE) mostraram-se de acordo com a norma comercial americana CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968).

Kim e Kim (2004) avaliaram a emissão de formaldeído de aglomerados colados com adesivos tânicos de *Acacia mearnsii* e de *Pinus radiata* com três diferentes agentes endurecedores, paraformaldeído, hexametilenotetramina e TN (tri(hidroxi)nitrometano), sendo que a emissão foi mensurada pelo método perforator (DIN EN 120-1991). Foi observado que exceto no caso dos taninos de pinus com os endurecedores paraformaldeído e TN, os níveis de emissão de formaldeído dos painéis aglomerados com adesivos à base de taninos foram baixos e atenderam o grau E1, onde os aglomerados devem emitir menos que 6,5 mg/100 g de partículas secas, pelo método do perforator. Também foram observados os menores níveis de emissão de formaldeído encontrados nos painéis que utilizaram hexametilenotetramina como agente endurecedor.

Carneiro et al. (2009) avaliaram os painéis aglomerados produzidos com partículas de *Pinus elliottii*, contendo 8% de adesivos e com uma densidade nominal de 0,70 g/cm². No tratamento controle foi utilizado 100% de adesivo ureia-formaldeído (UF) e nos outros tratamentos houve a substituição do adesivo UF em 12,5; 25; 37,5 e 100% pelo adesivo tânico de *Anadenanthera peregrina* (Angico-vermelho). Pode-se observar que a resistência mecânica dos aglomerados produzidos com adesivos contendo taninos de angico-vermelho, ultrapassou os valores mínimos requeridos para a classe M1 da norma ANSI/A1 280 (AMERICAN NATIONAL STANDARD, 1993). A absorção de água e o inchamento em espessura, após 2 e 24 h de imersão, de todos os painéis excederam o valor máximo estabelecido pela norma DIN 68m761 (1)1961. Conclui-se que os adesivos de taninos de angico-vermelho podem substituir parcial ou totalmente o adesivo comercial de ureia-formaldeído, e as suas

misturas são indicadas para uso interior, em que a resistência à umidade não é requerida.

Moubarik et al. (2010) produziram painéis aglomerados substituindo totalmente os adesivos sintéticos por naturais à base de taninos de *Acacia mearnsii* e amido de milho. A densidade dos painéis foi de 0,657 g.cm⁻² sendo que os painéis com o adesivo natural apresentaram propriedades mecânicas comparáveis aos painéis feitos com as resinas UF comerciais e atingiram as exigências de painéis para uso interior (P2), de acordo com as normas europeias EN 312 (2004). Além disso, os níveis de emissão de formaldeído obtidos a partir dos painéis que utilizaram o amido de milho-tanino-adesivo UF foram consideravelmente inferiores aos obtidos a partir dos painéis controle confeccionados apenas com adesivo UF.

Tabarsa, Jahanshahi e Ashori (2011) produziram painéis aglomerados com resíduos de palha de trigo e quatro diferentes tipos de adesivos sendo eles: FF, T_{anino10%} FF, T_{anino20%} FF e T_{anino30%} FF, sendo o tanino utilizado proveniente da espécie *Quercus castaneifolia*. Os autores constataram que a presença de tanino em resina FF resultou na diminuição em propriedades físico-mecânicas dos painéis, com a exceção de T_{anino10%} FF, o qual foi igual ou melhor do que aqueles feitos com resina de FF pura. Entretanto as propriedades mecânicas de todos os painéis atingiram o mínimo requerido para fins gerais enunciados nas normas europeias EN 312-2, 1996; EN 312-3, 1996; EN 312-4, 1993; EN 312-6, 2006; EN 317, 1993 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1996a, 1996a, 1993, 2006, 1993d).

2.5 Painéis OSB

O painel denominado *OSB (Oriented Strand Board)* surgiu no Sudeste do Canadá, região notória pela abundância de *aspen (populus spp)* e pinus,

todavia, a indústria expandiu-se pelos Estados Unidos, e o painel *OSB* ganhou notoriedade mundial (WANG; WINISTORFER, 2000).

De acordo com Bastos (2009) a partir de meados da década de 70, houve uma grande expansão na produção e utilização de painéis de *OSB*, alcançando fronteiras além dos Estados Unidos e do Canadá. O Brasil, depois de três décadas de atraso, ingressou no grupo de países produtores de painéis de *OSB*, foi em dezembro de 2001 que uma empresa internacional, através de sua subsidiária chilena do setor florestal, inaugurou em Ponta Grossa-PR a primeira fábrica de *OSB* do País, que em 2002, entrou em operação (BASTOS, 2009).

O *OSB* é formado a partir de partículas do tipo “*strand*”, que possuem o formato retangular. Esse painel é formado por três camadas cruzadas, o que confere melhor distribuição da resistência nas direções longitudinal e transversal, além de melhorar a estabilidade dimensional.

Os painéis *OSB* são utilizados em aplicações estruturais tais como paredes, forros, pisos, componentes de vigas, embalagens, etc. A utilização desses painéis tem crescido significativamente e ocupado espaços antes exclusivos aos compensados. A possibilidade da sua produção a partir de toras de qualidade inferior e de espécies de baixo valor comercial, bem como o fato de sua performance ser atualmente reconhecida por grupos normativos, construtores e consumidores, são alguns dos fatores que explicam o crescimento do uso dos painéis *OSB* (IWAKIRI, 2005).

O adesivo mais utilizado na produção de *OSB* é o fenol-formaldeído (FF), sendo que o adesivo à base de isocianato (MDI) é também muito utilizado, porém apenas no miolo do painel, uma vez que esse adesivo adere em metais, o que causaria problema no momento da prensagem dos painéis. Um fator que é de grande importância na qualidade final dos diferentes painéis de madeira é o adesivo utilizado, o elevado preço dos adesivos sintéticos no mercado atual faz com que pesquisas que busquem alternativas para reduzir o preço desse painel

sejam de suma importância, sendo assim necessário o conhecimento de fontes renováveis potenciais para a substituição desses adesivos. São recentes e ainda poucos os trabalhos que visam à procura de fontes alternativas de adesivo para os painéis tipo *OSB*.

Arnould et al. (2010) produziram painéis *OSB* com a mistura do cerne de *Cupressus sempervirens* e *Pinus sylvestris*, e dois adesivos naturais foram testados, um à base de taninos de pinus e outro à base de lignina. A durabilidade natural dos painéis contra fungo e térmitas foram testadas. Os melhores resultados foram obtidos com os painéis colados com o adesivo à base de lignina.

Amusant et al. (2009) avaliaram a resistência contra o térmita *Reticulitermes santonensis* de acordo com a norma EN 118 (2005), de painéis *OSB* produzidos com madeira de *Pinus sylvestris* e *Cupressus sempervirens* e com resinas naturais à base de taninos de pinus (hexamina como endurecedor) e de lignina (lignina com paraformaldeído e pMDI). Todos os painéis tiveram sua densidade entre a faixa de $0,660 \pm 0,1 \text{ g.m}^{-3}$ e foram produzidos com o teor de adesivo de 13% nas capas e 10% no miolo do painel. Os autores concluíram que os painéis à base de taninos tiveram uma maior perda de massa quando comparados com os painéis produzidos com adesivo à base de lignina. A perda de massa e a sobrevivência para os painéis com adesivo tânico foram de 7,6 e 59,1% para a madeira de pinus e 1 e 0% para cipreste, enquanto que para o adesivo à base de lignina, perda de massa e a sobrevivência foram na ordem de 4 e 30,6% para pinus e 0,8 e 0% para cipreste.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Coleta das cascas

As cascas de barbatimão foram coletadas em uma área de fragmento de Cerrado, localizada no município de Lavras, Sul do Estado de Minas Gerais, a 919 m de altitude, e nas coordenadas 21°15'56,97 S de latitude e 44°58'34,65 O de longitude.

As cascas foram coletadas sem a derrubada das árvores, a partir de 1 metro do solo. Com o auxílio de uma machadinha foi removido aproximadamente 25% das cascas externas em relação ao volume total de casca para cada árvore. Após a coleta, as cascas foram misturadas e fragmentadas, o material picado foi seco ao ar livre, sendo periodicamente revolvido para acelerar o processo de secagem e visando expor as áreas mais úmidas, as quais são mais propensas ao desenvolvimento de fungos. Após a secagem, as cascas foram moídas em moinho martelo com uma peneira de abertura de 2 mm².

3.2 Extração dos polifenóis

A extração dos polifenóis foi realizada de acordo com Mori et al. (2003), onde os autores recomendam que a extração dos taninos da casca da espécie *Stryphnodendron adstringens* seja realizada com a utilização de 3% de sulfito de sódio em relação à massa seca, a uma temperatura de 70°C e duração de extração de três horas, empregando-se uma relação licor/casca de 15:1 v:m. Uma vez encerrada a extração, o material foi filtrado empregando-se uma peneira de malha. Posteriormente foi novamente filtrado empregando-se bomba de vácuo e cadinhos de vidro sinterizado de porosidade igual a dois.

Os extratos foram distribuídos em bandejas de vidro e levados à estufa a uma temperatura de 40°C até secagem total. Em seguida, foram moídos utilizando um graal de porcelana com pistilo.

3.3 Produção de adesivo termofixo à base de taninos de barbatimão

Os adesivos termofixos à base de taninos foram sintetizados misturando-se os taninos em pó com água, em um agitador, com uma rotação de 4000 rpm em uma concentração aproximadamente de 50% de sólidos totais. Após 24 horas de hidratação foi adicionado 8% do paraformaldeído em pó (agente ligante) em relação à massa seca de taninos em pó.

3.4 Distribuição dos tratamentos

Foram produzidos painéis compensados, aglomerados e *OSB*, sendo que cada tipo de painel foi submetido a 5 tratamentos, conforme descrito na Tabela 1. Para o aglomerado e o *OSB* foram realizadas associações do adesivo tânico de barbatimão com a resina ureia-formaldeído e para o compensado foi realizada a associação com o adesivo fenol-formaldeído. Para cada tratamento foram produzidos 3 painéis (repetições).

Tabela 1 Distribuição dos tratamentos para produção dos painéis

| Tipo de painel | Tratamentos | Adesivo tânico de barbatimão (%) | Fenol-formaldeído (%) |
|--------------------------|--------------------|---|------------------------------|
| Compensado | 1 | 0 | 100 |
| | 2 | 25 | 75 |
| | 3 | 50 | 50 |
| | 4 | 75 | 25 |
| | 5 | 100 | 0 |
| | Tratamentos | Adesivo tânico de barbatimão (%) | Ureia-formaldeído (%) |
| Aglomerado <i>OSB</i> | 1 | 0 | 100 |
| | 2 | 25 | 75 |
| | 3 | 50 | 50 |
| | 4 | 75 | 25 |
| | 5 | 100 | 0 |

3.5 Determinação das propriedades dos adesivos

Os adesivos fenol-formaldeído (FF), ureia-formaldeído (UF), adesivo tânico de barbatimão, assim como a substituição dos adesivos FF e UF em 25, 50 e 75% pelo adesivo tânico, tiveram suas propriedades de viscosidade, tempo de gel, teor de sólidos e pH determinadas.

A viscosidade foi determinada utilizando-se um viscosímetro do tipo Copo Ford (Universal) e seguindo os parâmetros estipulados pela norma ASTM D-1200 (ASTM, 1994).

O tempo de gel foi obtido utilizando-se amostras de 5 g de adesivo de cada tratamento, colocadas em tubos de ensaio de 15 cm de altura e 2 cm de diâmetro. O conjunto tubo-bastão foi mergulhado em um banho de glicerina à temperatura de 130°C. Com o auxílio do bastão, o líquido foi constantemente agitado com movimento vertical, em função do aumento na resistência do adesivo ao atingir a “fase de gel”. O tempo de gelatinização para cada tratamento foi aquele entre imersão do tubo na glicerina e o momento em que a amostra endureceu, sendo correspondente à polimerização ou *gel time* do adesivo.

A determinação do teor de sólidos foi realizada pesando 1g do adesivo, secando na estufa à temperatura de $103 \pm 3^\circ\text{C}$, por 3 horas. Antes da pesagem do material seco este permaneceu em um dessecador por 15 minutos. O percentual do teor de sólidos foi calculado pela divisão entre a massa final pela massa inicial vezes cem.

O pH dos extratos aquosos foram determinados pelo pH-metro, após 4 minutos de contato com o adesivo.

3.6 Obtenção da madeira para fabricação dos painéis

Foram coletadas árvores de *Pinus oocarpa* com trinta anos de idade, apresentando altura comercial média de 21 metros e DAP (diâmetro a 1,3 metros do solo) médio de 40,5 cm, provenientes de um plantio experimental localizado no campus da Universidade Federal de Lavras – UFLA, Estado de Minas Gerais.

Discos de 5 cm de espessura foram retirados na base, e a 25, 50, 75 e 100% da altura comercial (diâmetro mínimo de 5 cm), para a determinação da densidade básica da madeira, a qual foi realizada de acordo com a norma NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003).

3.7 Produção dos painéis de madeira

Foram produzidos painéis compensados, aglomerados e OSB.

3.7.1 PAINEL COMPENSADO

As toras de *Pinus oocarpa* foram aquecidas em um tanque com água à temperatura de 66°C por 24 horas. As lâminas foram geradas em torno

laminador, com espessura nominal de 2 mm e guilhotinadas nas dimensões de 480 x 480 mm.

Em seguida foram tabicadas para secagem natural em local coberto. Posteriormente, foram secas em estufa, com circulação forçada de ar, até atingirem o teor de umidade de 8%.

Os painéis foram produzidos com cinco lâminas cruzadas e adesivo na gramatura de 360 g.m⁻² (linha dupla) e o tempo de montagem de 10 minutos. Foi utilizado um ciclo de prensagem com temperatura de 150°C, pressão específica de 12 kgf.cm⁻² e um tempo de prensagem de 10 minutos.

3.7.2 Pannel aglomerado convencional

Foram geradas lâminas seguindo a descrição do item 3.7.1.1, as quais foram moídas em moinho de martelo, obtendo-se assim as partículas. Essas partículas foram processadas em peneira vibratória e em seguida foram secas ao ar livre até atingirem teor de umidade próximo de 12 a 15%. Posteriormente, as mesmas foram secas em uma estufa de ventilação forçada a uma temperatura de 103 ± 2°C até atingirem umidade em torno de 3%.

Para cada tratamento foram produzidos painéis com densidade nominal de 0,65 g.cm⁻³. Foi aplicado às partículas o adesivo no teor de 8% (base massa seca das partículas), por meio de aspersão, em uma encoladeira do tipo tambor giratório.

Uma vez impregnadas, as partículas foram levadas para uma caixa formadora de colchão, com dimensões de 48 cm x 48 cm. Posteriormente, o colchão formado foi submetido a uma pré-prensagem, realizada em uma prensa manual, utilizando a pressão de 4 kgf/cm², sendo então levado para a prensa quente com separadores de 15 mm de espessura, onde passaram por um ciclo de prensagem de 8 minutos, temperatura de 160°C e pressão de 40 kgf/cm².

3.7.3 Painel *OSB*

As árvores derrubadas foram seccionadas em toras e então desdobradas em serra de fita em tábuas de 30 mm de espessura, em seguida as tábuas obtidas foram processadas em uma desengrossadeira para ajustar as suas espessuras em 25 mm. Posteriormente, essas foram então seccionadas, com a utilização de uma serra circular, em blocos com 90 mm de largura na direção das fibras. Em seguida, os blocos foram submersos em água até completa saturação. Uma vez saturados, foram processados em um picador de disco com as facas ajustadas para gerarem partículas com espessuras em torno de 0,60 mm, obtendo assim partículas *strand* com as dimensões de 25 x 90 x 0,60 mm (largura x comprimento x espessura, respectivamente).

As partículas foram então secas em estufa com circulação de ar forçada, até a umidade de 3% (base massa seca das partículas).

Para cada tratamento foram produzidos painéis com densidade nominal de 0,65 g.cm⁻³. Foi aplicado às partículas o adesivo no teor de 8% (base massa seca das partículas), por meio de aspersão, em uma encoladeira do tipo tambor giratório.

Após a aspersão as partículas foram levadas para uma caixa formadora de colchão, com dimensões de 48 cm x 48 cm, para a realização da orientação das partículas para formação das três camadas dos painéis. Em seguida o colchão de partículas formado foi levado a uma prensa manual, para realização da pré-prensagem, utilizando a pressão de 4 kgf.cm⁻². Posteriormente o colchão foi levado para a prensa quente com separadores de 15 mm de espessura, onde passaram por um ciclo de prensagem de 8 minutos, temperatura de 160°C e pressão de 40 kgf.cm⁻².

3.8 Ensaios físicos mecânicos

Os ensaios físicos mecânicos dos painéis foram realizados de acordo com as exigências de cada tipo de painel, como especificado a seguir.

3.8.1 Compensado

Os corpos de prova foram retirados com a utilização de uma serra esquadrejadeira, inicialmente foram retirados 2 cm de cada extremidade dos painéis, com o intuito de evitar o efeito das bordas. Após a retirada dos corpos de prova estes foram climatizados na temperatura de $22 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 5\%$ e em seguida realizados os testes físicos e mecânicos (Quadro 1).

Quadro 1 Propriedades e normas utilizadas na avaliação dos compensados

| Propriedades | Normas |
|---|---------------|
| Massa específica aparente | NBR 9485/1986 |
| Absorção de água | NBR 9484/1986 |
| Inchamento em espessura | NBR 9535/1986 |
| Módulo de ruptura à flexão estática (paralelo e perpendicular) | EN 310/1993c |
| Módulo de elasticidade à flexão estática (paralelo e perpendicular) | EN 310/1993c |
| Cisalhamento na linha de cola | EN 314-1/1993 |

3.8.2 Aglomerado e OSB

Foram retirados utilizando uma serra esquadrejadeira, 2 cm de cada extremidade dos painéis e posteriormente retirados na mesma serra. Uma vez prontos, os corpos de prova foram mantidos em câmara climática à temperatura de $20 \pm 2^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $65 \pm 3\%$, até estabilização e em seguida realizados os testes físicos e mecânicos (Quadro 2).

Quadro 2 Propriedades e normas utilizadas na avaliação dos aglomerados e *OSB*

| Propriedades | Normas |
|--|------------------|
| Inchamento em espessura | ASTM D 1037/2006 |
| Absorção de água | ASTM D 1037/2006 |
| Taxa de não retorno em espessura | ASTM D 1037/2006 |
| Densidade aparente | ASTM D 1037/2006 |
| Ligação interna | ASTM D 1037/2006 |
| Módulo de ruptura à flexão estática | DIN 52362/82 |
| Módulo de elasticidade à flexão estática | DIN 52362/82 |

3.9 Análise estatística

Para a análise dos resultados foi considerado um delineamento inteiramente casualizado (DIC). Tais análises se dividiram em quatro partes principais: a) avaliação das características dos adesivos à base de taninos em associação com os adesivos ureia-formaldeído e fenol-formaldeído; b) efeito sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis compensados; c) efeito sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados; d) efeito sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis *OSB*.

Para a diferenciação entre os tratamentos foi realizada análise de variância, a 5% de significância. O modelo estatístico adotado está apresentado na Equação 1. Como o fator estudado é quantitativo (porcentagem de substituição do adesivo sintético por adesivo à base de tanino) procedeu-se análise de regressão, em nível de significância de 5%.

$$Y_{ij} = \mu + t_i + e_{ij} \quad (1)$$

Em que: Y_{ij} representa a observação do i -ésimo tratamento ($i = 1, 2, 3, 4$ e 5) na j -ésima unidade experimental ($j = 1, 2$ e 3); μ representa uma constante geral associada a essa variável aleatória; t_i representa o efeito do i -ésimo

tratamento ($i = 1, 2, 3, 4$ e 5) (porcentagem de adesivo a base de tanino); e e_{ij} representa o erro experimental associado à observação Y_{ij} , suposto ter distribuição normal com média zero e variância comum σ^2 .

Para a diferenciação entre as densidades médias de cada tipo de painel foi utilizado o teste de média de *Tukey*, a 5% de significância.

De forma preliminar às análises de variância foi realizado o teste de homogeneidade de variâncias (teste de *Bartlett*, a 5% de significância) e de normalidade (teste *Shapiro-Wilk*, a 5% de significância).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Propriedades dos adesivos

Os dados de viscosidade, tempo de gel, teor de sólidos e pH dos adesivos ureia-formaldeído (UF), fenol-formaldeído (FF), tanino-formaldeído (TF) e as misturas, estão apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 Propriedades dos adesivos

| Tratamentos | Viscosidade (cP) | Tempo de gel (s) | Teor de sólidos (%) | pH |
|-----------------|---------------------|---------------------|------------------------|------|
| 100% TF* | 494 | 53 | 50,7 | 4,9 |
| 100% FF | 150 | 279 | 46,8 | 13,0 |
| 25% TF / 75% FF | 188 | 50 | 49,0 | 12,2 |
| 50% TF / 50% FF | - | 44 | 47,9 | 10,5 |
| 75% TF / 25% FF | - | 40 | 46,8 | 9,0 |
| 100% UF | 218 | 120 | 53,8 | 8,9 |
| 25% TF / 75% UF | 270 | 90 | 52,2 | 6,0 |
| 50% TF / 50% UF | 319 | 55 | 50,6 | 5,2 |
| 75% TF / 25% UF | 380 | 61 | 52,7 | 5,1 |

*TF: tanino-formaldeído, FF: fenol-formaldeído, UF:ureia-formaldeído.

A viscosidade do adesivo à base de taninos de barbatimão puro apresentou-se elevada em comparação aos adesivos fenol-formaldeído (FF) e ureia-formaldeído (UF). O adesivo UF apresentou valor de viscosidade intermediário entre os adesivos de TF e FF. A adição do adesivo tânico ao adesivo UF causou o aumento da viscosidade, contudo em padrões aceitáveis para aplicação por aspersão na produção de painéis particulados.

A substituição de 25% do adesivo FF pelo adesivo tânico causou um aumento da viscosidade, assim como também ocorreu um aumento com as substituições em 50 e 75%, porém nessas substituições o aumento foi tanto que impossibilitou a medição da viscosidade pelo Copo Ford.

Uma das grandes dificuldades de produção dos adesivos tânicos é atender à viscosidade para diferentes usos, principalmente onde ele precisa ser aplicado por aspersão através de bicos pulverizadores, requerendo, assim, baixa viscosidade. Devido à reação que ocorreu da mistura do adesivo tânico de barbatimão e o adesivo FF, fato que aumentou significativamente a viscosidade, o adesivo utilizado para a confecção dos painéis particulados foi o adesivo UF.

O baixo tempo de gel do adesivo tânico evidencia a alta reatividade dos taninos em relação ao paraformaldeído, o que promove a cura mais rápida do adesivo e diminui a vida útil dos adesivos. Quando se avaliou a associação do adesivo TF com o adesivo FF observou-se menores valores médios para o tempo de gel, fato esse que pode ser devido ao alto pH do adesivo FF, onde o adesivo tânico em meio ao pH elevado se polimeriza mais rápido, devido, além da participação do grupamento A da unidade flavonoide dos taninos, também à unidade B que passa a participar da reação, acelerando a polimerização do adesivo. No entanto, quando avaliado a associação com o adesivo UF, adesivo este que possui o pH inferior ao do FF, os valores aumentaram em relação ao adesivo tânico.

O teor de sólidos indica, de maneira geral, a percentagem de sítios reativos com o agente ligante, normalmente, um maior teor de sólidos do adesivo é melhor, tornando resistente a sua linha de cola. No entanto, respeitando certos limites, visto que teores de sólido muito alto também prejudica a aplicação do adesivo via aspersão devido ao aumento da viscosidade dos mesmos, assim como também dificulta no espalhamento e penetração dos adesivos nas lâminas de madeira para produção de compensados.

Neste trabalho os taninos foram hidratados visando um adesivo com teor de sólidos de 50%, percentagem a qual foi alcançada com sucesso para o adesivo tânico. De forma geral, tanto as misturas como os adesivos puros UF e FF

apresentaram valores próximos de 50%, faixa adequada para produção dos painéis particulados e laminados.

É possível verificar o caráter ácido do adesivo tânico e básico dos adesivos fenol-formaldeído e ureia-formaldeído com base no pH dos mesmos. Conforme houve o aumento da substituição dos adesivos FF e UF pelo adesivo tânico de barbatimão o pH das misturas apresentaram uma redução de seus valores.

Teodoro e Lelis (2005) trabalhando com a casca de *Eucalyptus pellita* encontraram valores médios de 3,9 para o pH, 45,9% para o teor de sólidos, 62 segundos para o tempo de gel e de 826,5 cP para a viscosidade. Enquanto que Goulart et al. (2012) avaliando as propriedades de adesivo tânico da casca e da folha de barbatimão, encontraram valores médios para o adesivo da casca de barbatimão de 4,9 para o pH, 54,2% para o teor de sólidos, 1488 cP para a viscosidade e 42 segundos para o tempo de gel.

De forma geral, os valores médios obtidos neste estudo com os taninos de barbatimão estão de acordo com os encontrados na literatura, inclusive com menores valores médios de viscosidade do adesivo de barbatimão obtidos em estudo de Goulart et al. (2012).

4.2 Compensado

Os dados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis compensados estão a seguir.

4.2.1 Propriedades físicas

A densidade básica da madeira do *Pinus oocarpa*, espécie utilizada para confecção dos três tipos de painéis foi de 0,42 g.cm⁻³. Na Tabela 3 estão os

valores médios de densidade aparente dos painéis compensados. Não foi encontrada diferença estatística da densidade entre os diferentes tratamentos.

Tabela 3 Densidade aparente dos painéis compensados

| Tratamentos | Densidade aparente (g.cm⁻³) |
|-----------------------|---|
| T1. 0% TF* / 100% FF* | 0,516 a |
| T2. 25% TF / 75% FF | 0,530 a |
| T3. 50% TF / 50% FF | 0,523 a |
| T4. 75% TF / 25% FF | 0,524 a |
| T5. 100% TF / 0% FF | 0,524 a |

*TF: tanino-formaldeído, FF: fenol-formaldeído. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey* a 5% de significância.

Os valores da densidade aparente dos painéis compensados de todos os tratamentos estão entre os valores mínimo (0,476 g.cm⁻³) e médio (0,552 g.cm⁻³) de densidade estipulado pela ABIMCI (2007), para painéis compensados comerciais de *Pinus* sp. produzidos com 5 lâminas.

Todos os valores de densidade também ficaram entre os valores mínimo de 0,516 g.cm⁻³ e médio de 0,565 g.cm⁻³, para painéis produzidos com madeira de pinus, com 5 lâminas, para painéis de espessura de 9 mm, especificado na norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 31:000.05 001/2 (ABNT, 2001).

A relação entre a porcentagem de adesivo tânico utilizado e a absorção de água dos painéis compensados após 24 horas de imersão (AA 24h) se mostrou significativa para a regressão quadrática (Gráfico 1). A mistura dos adesivos promoveu um aumento dos valores de AA 24h, uma vez que os tratamentos com 100% de fenol formaldeído (FF) e 100% de adesivo tânico de barbatimão absorveram menos água do que os tratamentos onde ocorreram as misturas do adesivo tânico com o fenol formaldeído (FF).

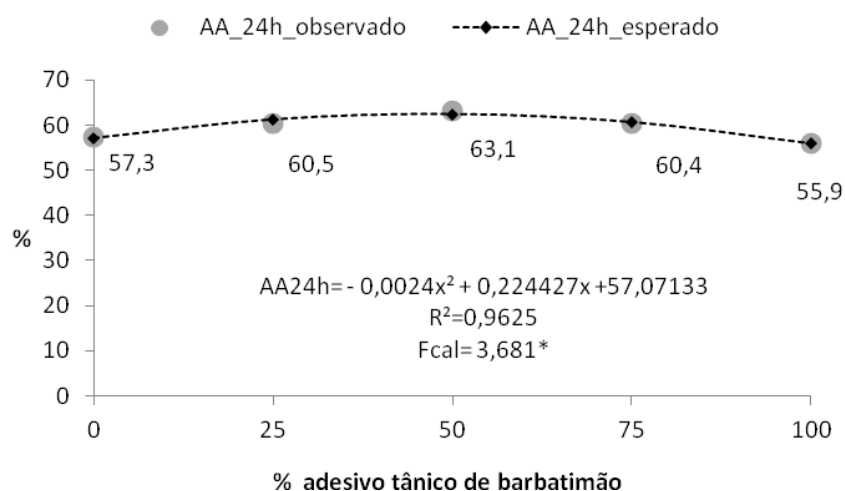


Gráfico 1 Absorção de água após 24 horas de imersão dos painéis compensados, onde (*) - significativo ao nível de 5% de significância

Silva et al. (2012) produziram painéis compensados com lâminas de *Pinus taeda* utilizando o adesivo FF, assim como o adesivo tânico de *Pinus oocarpa* var. *oocarpa*, sendo os painéis produzidos na gramatura de 320 g.m⁻². Os autores encontraram valores médios de AA 24h na ordem de 107,6 e 63,8% para painéis com 100% de adesivo FF e 100% adesivo tânico de pinus, respectivamente. Sendo assim, os valores médios obtidos neste trabalho para o adesivo FF e o adesivo tânico de barbatimão puro, se mostraram inferiores aos encontrados por Silva et al. (2012) para os adesivos FF e o adesivo tânico de pinus.

O Gráfico 2 ilustra os valores médios do inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água. A porcentagem de associação de adesivo tânico ao adesivo fenol-formaldeído não apresentou uma relação significativa (F calculado: 2,524; Tabela 3A - Anexo) com essa propriedade física.

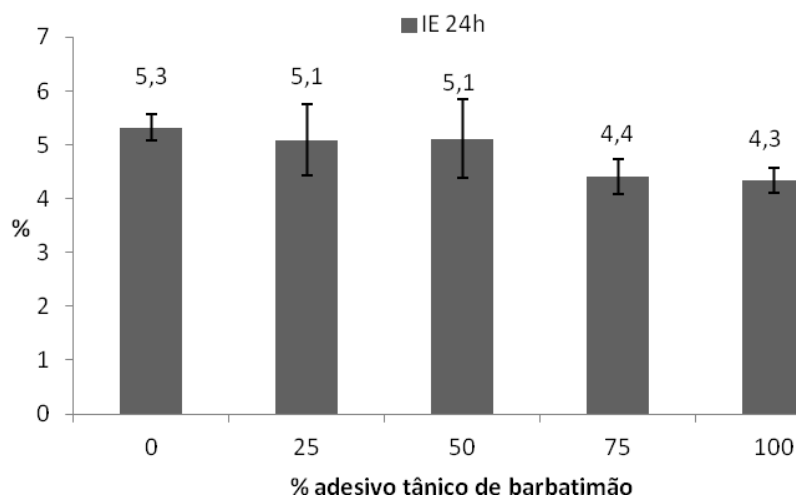


Gráfico 2 Valores médios de inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água dos painéis compensados

Os valores médios tanto da propriedade física de absorção de água quanto do inchamento em espessura, para o tratamento com 100% de adesivo tânico de barbatimão foram inferiores aos valores médios dos painéis com o adesivo fenol-formaldeído, adesivo enquadrado entre os adesivos comerciais resistentes à água.

Almeida, Bortoletto Júnior e Jankowsky (2004), produziram painéis compensados com cinco lâminas com 2 mm de espessura cada, os autores utilizaram a madeira do clone do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, utilizando o adesivo ureia-formaldeído na gramatura de 360 g.cm⁻² e encontraram valores de IE24h de 7,0% para o tempo de 8 minutos de prensagem e de 7,3% para o tempo de 12 minutos.

Silva et al. (2012) produziram painéis compensados fabricados com três lâminas de *Pinus taeda* de 2 mm de espessura, com o adesivo tânico de *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* a uma gramatura do adesivo de 320g.cm⁻² e encontraram valor de IE de 8,7%.

De forma geral, os dados obtidos com os adesivos FF e TF e a misturas desses apresentaram valores médios de IE 24h inferiores aos encontrados na literatura.

4.2.2 Propriedades mecânicas

O Gráfico 3 representa os dados do ensaio de resistência ao cisalhamento a seco. Não foi observada relação significativa dessa propriedade com o aumento da substituição do adesivo tânico (F calculado: 2,012; Tabela 4A - Anexo).

Goulart et al. (2012) produziram painéis compensados com cinco lâminas de 2 mm de espessura, de *Araucaria angustifolia*, com a gramatura do adesivo de 320 g.m² (linha dupla) e com os adesivos à base de taninos obtidos das folhas (TFB) e das cascas (TCB) do barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*), assim como taninos de casca da acácia negra (*Acacia mearnsii*). Para a resistência ao cisalhamento a seco os autores encontraram valores médios na ordem de 1,82; 2,24 e 2,02 MPa, para TFB, TCB e TCA, respectivamente, sendo o valor de TCB superior ao valor de 100% de barbatimão deste trabalho, que foi na ordem de 2,04 MPa.

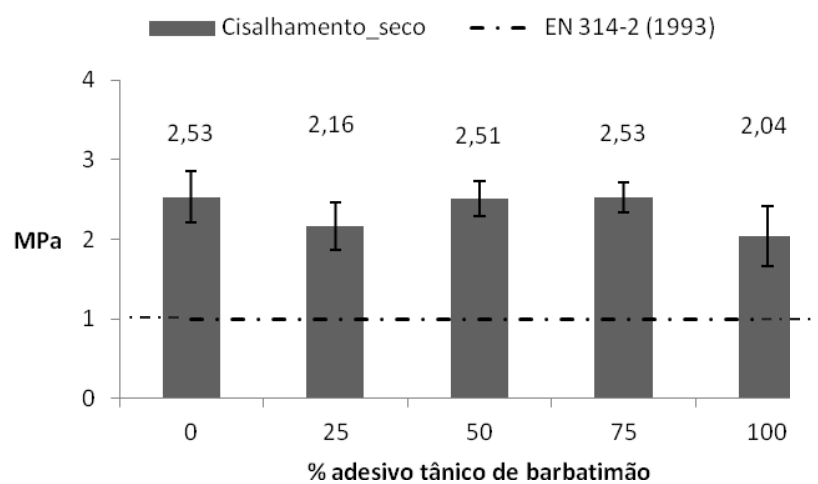


Gráfico 3 Valores médios de resistência ao cisalhamento na condição seco dos painéis compensados

Para o teste de cisalhamento após 24 horas de imersão em água a relação com a substituição do adesivo fenólico foi significativa para regressão cúbica onde foi observado uma tendência de redução dos valores conforme ocorreu o aumento da substituição do adesivo fenólico pelo adesivo tânico de barbatimão, como demonstrado no Gráfico 4.

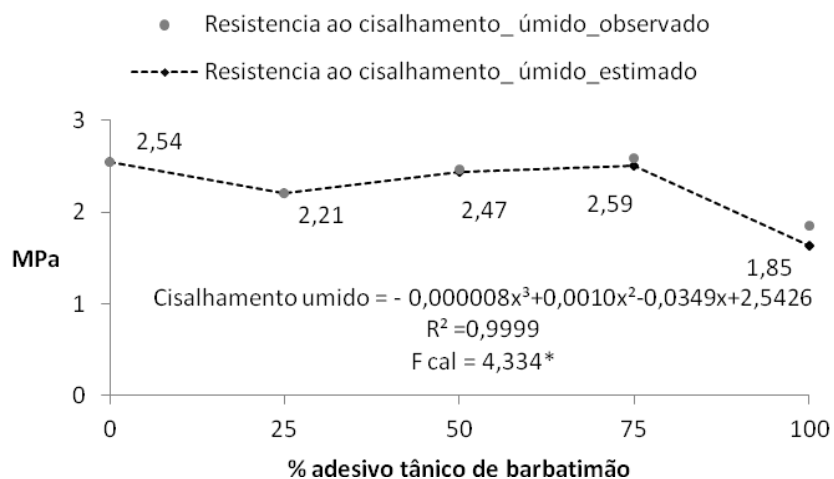


Gráfico 4 Resistência ao cisalhamento após 24 horas de imersão em água dos painéis compensados, onde (*) - significativo ao nível de 5%

Hoong et al. (2009) testaram o cisalhamento a seco e úmido de painéis compensados produzidos com madeira de *Canarium spp.*, com gramatura de 300 g.m⁻² (linha dupla) e com adesivo FF e a substituição deste por 90% de adesivo tânico de *Acacia mangium* (TF), assim como a mistura na proporção de 10:80:10 para FF:TF:LPF, onde LPF é um adesivo fenólico com baixa massa molecular. Os autores encontraram valores para o teste a seco variando de 1,86 a 2,22 MPa e no teste úmido variando entre 1,77 até 2,16 MPa.

Todos os tratamentos apresentaram-se coerentes em relação aos dados encontrados na literatura, e ainda obtiveram valores superiores a 1 MPa, que é o valor mínimo requerido pela norma europeia EN 314-2 (1993b), sem a exigência de avaliar a porcentagem de falha na madeira.

O Gráfico 5 representa os valores médios do módulo de ruptura paralelo e perpendicular na flexão estática (MOR // e MOR ⊥). Não foi observada uma

tendência significativa para a substituição do adesivo fenólico pelo tânico, tanto para o MOR // (F calculado: 1,766; Tabela 6A - Anexo). quanto para o MOR ⊥

(F calculado: 3,275; Tabela 7A - Anexo).

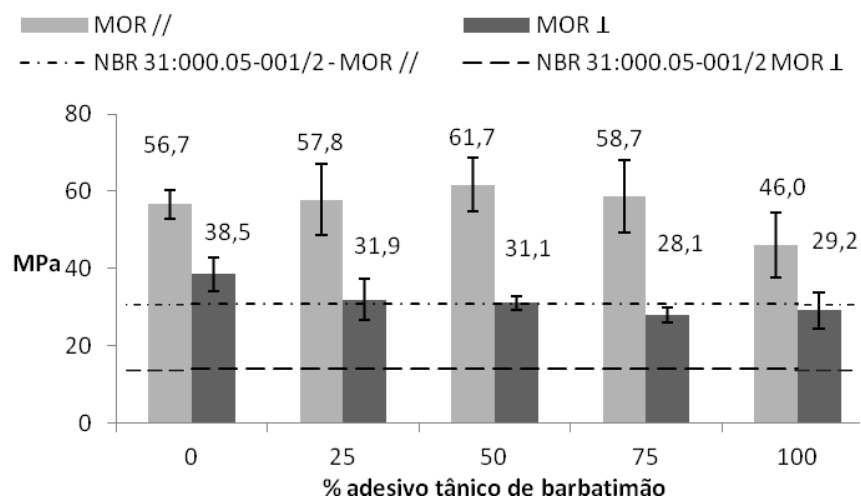


Gráfico 5 Módulo de ruptura paralelo e perpendicular à flexão estática

Iwakiri et al. (2012) produziram painéis compensados com as espécies *Pinus caribaea* variedades *caribaea* (Pcc), *hondurensis* (Pch) e *bahamensis* (Pcb), utilizando o adesivo fenol-formaldeído a uma gramatura de 380 g.m⁻²

(linha dupla). Os autores encontraram valores médios de 61,0 (Pcc); 75,2 (Pch) e 84,1 MPa (Pcb) para MOR //, e valores médios de 34,9 (Pcc); 33,2 (Pch) e 34,6 MPa (Pcb) para o MOR ⊥.

Silva et al. (2012) produziram painéis compensados com lâminas de *Pinus taeda* de 2 mm de espessura cada, com o adesivo tânico de *Pinus oocarpa* var. *oocarpa* e o adesivo FF a uma gramatura de 320g.m² e obtiveram valores de MOR // de 50,2 e 69,7 MPa e valores MOR ⊥ de 14,8 e 21,1 MPa para o adesivo tânico de pinus e o FF respectivamente.

Sendo assim, de forma geral, os valores médios para o MOR // e ⊥ obtidos neste estudo para todos os tratamentos, se mostraram coerentes com os obtidos na literatura. Quando comparados com normas de comercialização, todos os tratamentos atenderam as exigências da norma NBR 31:000.05-001/2 (ABNT, 2001) onde o mínimo requerido é de 30,9 MPa para o MOR // e 14 MPa para o MOR ⊥.

A relação entre a porcentagem de adesivo tânico utilizado e o módulo de elasticidade perpendicular (MOE \perp) está apresentada no Gráfico 6. O aumento

da porcentagem de adesivo tânico reduziu significativamente o MOE \perp dos

painéis, sendo que os tratamentos onde ocorreu a mistura dos adesivos foram os que apresentaram os menores valores.

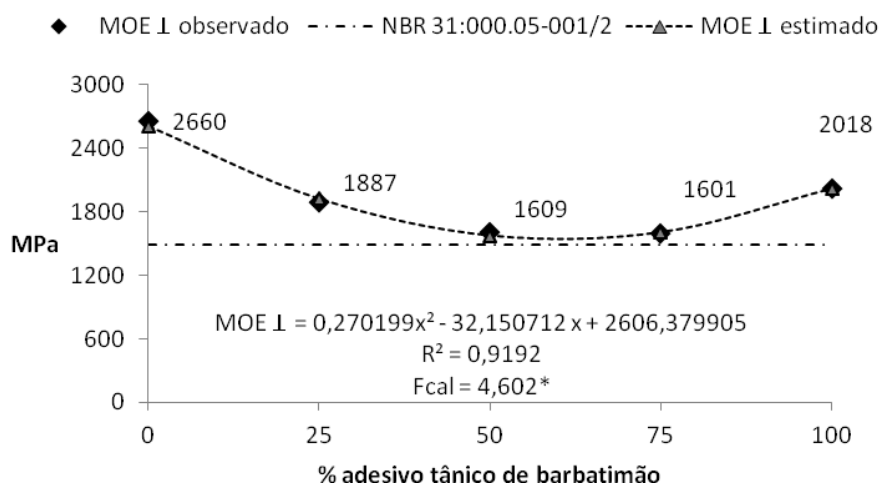


Gráfico 6 Módulo de elasticidade perpendicular dos painéis compensados onde (*) - significativo ao nível de 5%

No Gráfico 7 estão demonstrados os valores médios do módulo de elasticidade paralelo (MOE //) onde os dados não obtiveram relação significativa

em relação à porcentagem de adesivo tânico adicionado ($F_{\text{calculado}} = 0,734$; Tabela 8A – Anexo).

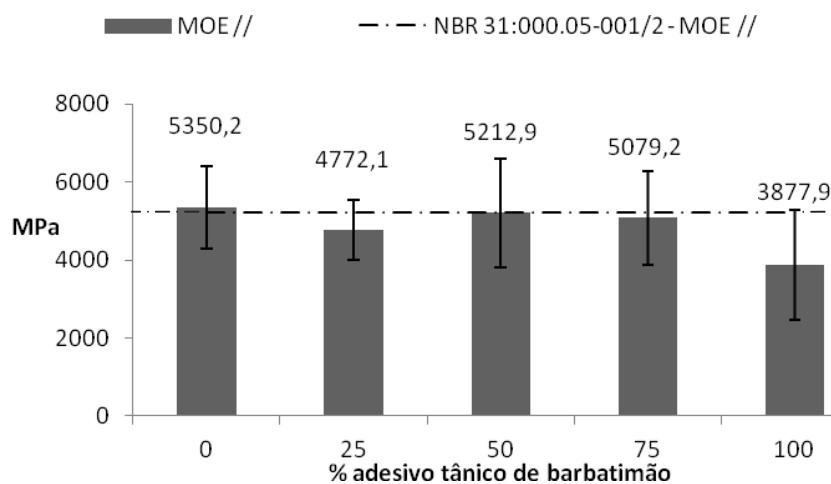


Gráfico 7 Módulo de elasticidade paralelo dos painéis compensados

Ferreira et al. (2008) produziram painéis compensados com 5 lâminas de 2,7 mm de espessura da espécie *Ceiba pentandra* (L.) Gaertn, densidade de $0,45 \text{ g.cm}^{-3}$, com o adesivo FF e adesivo tânico de *Pinus oocarpa* (TF) na gramatura

de 380 g.m^{-2} (linha dupla). Os valores obtidos pelos autores para o MOE \perp

foram de 230,9 e 512,8 MPa para FF e TF, respectivamente, e para o MOE // os valores médios obtidos foram de 4806,6 e 3209,8 MPa, respectivamente.

Iwakiri et al. (2009) produziram painéis compensados com 5 lâminas de 2 mm da madeira de *Pinus oocarpa*, utilizando o adesivo fenol-formaldeído com gramatura de 360 g.m^{-2} . Os autores encontraram valores médios de MOE // de 5195 MPa.

Sendo assim, de forma geral, os valores médios obtidos para o MOE // obtidos neste estudo se mostraram próximos do que os encontrados na literatura e os valores de MOE \perp encontrados foram superiores. Em comparação com a norma de comercialização NBR 31:000.05-001/2 (ABNT, 2001) todos os tratamentos atenderam ao mínimo estipulado para o MOE \perp que é de 1485 MPa, já em relação ao MOE //, onde o mínimo estipulado é de 5223 MPa, apenas o tratamento com fenol-formaldeído puro conseguiu atender. Contudo, até mesmo os painéis produzidos apenas com adesivo FF apresentaram valores muito próximos do mínimo estipulado pela norma, não podendo ser dito que o efeito do não atendimento da norma seja em função apenas do adesivo, mas também do tipo de madeira e das variáveis de produção envolvidas.

4.3 Aglomerado

Os dados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados estão a seguir.

4.3.1 Propriedades físicas

Os valores médios de densidade aparente dos painéis aglomerados estão na Tabela 4, assim como a relação entre a densidade do painel e a densidade da madeira (razão de compactação). Não houve diferença estatística entre a densidade aparente dos diferentes tratamentos.

Tabela 4 Densidade aparente e razão de compactação dos aglomerados

| Tratamentos | Densidade aparente (g.cm⁻³) | Razão de compactação |
|-----------------------|---|-----------------------------|
| T1. 0% TF* / 100% UF* | 0,597 a | 1,4 |
| T2. 25% TF / 75% UF | 0,598 a | 1,4 |
| T3. 50% TF / 50% UF | 0,583 a | 1,4 |
| T4. 75% TF / 25% UF | 0,593 a | 1,4 |
| T5. 100% TF / 0% UF | 0,588 a | 1,4 |

*TF: tanino-formaldeído, UF: ureia-formaldeído. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey* a 5% de significância.

De acordo com a norma comercial americana CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968), todos os painéis aglomerados deste trabalho se enquadram no tipo 1 (uso interior) e densidade C (abaixo de 0,60 g.cm⁻³). Enquanto que em relação à razão de compactação, todos os tratamentos estão dentro da faixa estipulada como adequada por Maloney (1993) que é de 1,3 a 1,6.

No Gráfico 8 estão os valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão (AA2h; Fcalculado: 1,986; Tabela 10A – Anexo) (AA24h; Fcalculado: 2,191; Tabela 11A – Anexo), sendo que para as duas propriedades não foi verificada relação significativa com o aumento da substituição do adesivo ureia-formaldeído pelo adesivo tânico de barbatimão.

Apesar de não ser observada tendência significativa, observa-se que os valores aumentam com o aumento da quantidade de adesivo à base de taninos. Inclusive, o tratamento com 100% de adesivo tânico de barbatimão não foi resistente à água, sendo assim não foi possível a medição das propriedades físicas desse tratamento.

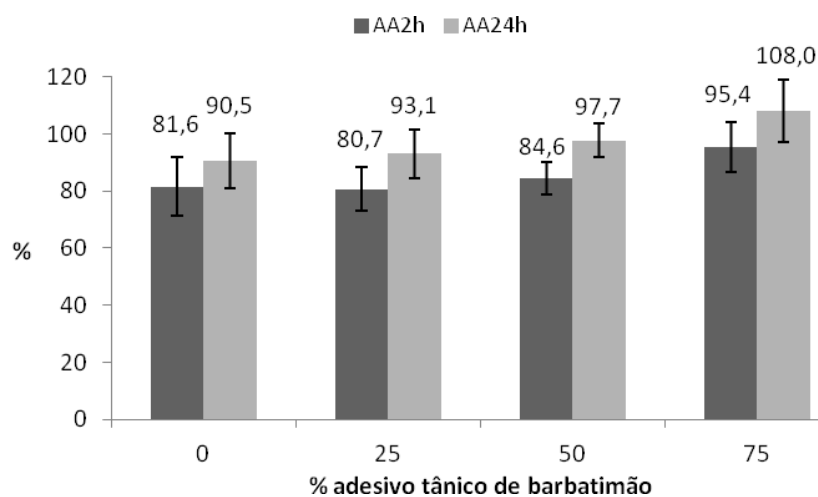


Gráfico 8 Absorção de água após 2 e 24 horas de imersão em água dos painéis aglomerados

Carneiro et al. (2009) produziram painéis aglomerados com densidade de $0,67 \text{ g.cm}^{-2}$, utilizando o adesivo UF e a substituição deste em 25% pelo adesivo tânico de angico-vermelho, com o teor de 8% de sólidos de adesivo em relação à massa seca de partículas. Os autores encontraram valores de absorção de água de 72 e 57% para AA2h e 89 e 77% para AA24h, para o adesivo UF e a substituição em 25%, respectivamente.

Gonçalves et al. (2003), confeccionaram painéis aglomerados com partículas de *Eucalyptus pellita* utilizando o adesivo UF e a substituição deste em 10 e 20% pelo adesivo tânico de *Mimosa caesalpiniaefolia*, sendo que os taninos foram extraídos utilizando 0,5% de sulfito de sódio (relação à massa seca das partículas) como extrator. Os autores aplicaram 10% de adesivo em relação à massa seca das partículas e a densidade encontrada foi de $0,59 \text{ g.cm}^{-3}$ para o adesivo UF; $0,61$ e $0,60 \text{ g.cm}^{-3}$ para a substituição em 10 e 20%, respectivamente. Para AA 2h os autores encontraram valores de 69,0; 73,3 e

74,4% e para AA 24h valores de 81,4; 85,5 e 85,1%, para os tratamentos com UF e a substituição em 10 e 20%, respectivamente.

Nesse sentido, os valores de absorção de água após duas e vinte e quatro horas de imersão obtidos neste estudo se apresentaram acima dos encontrados na literatura.

O Gráfico 9 representa a relação entre o inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água (IE2h e IE24h) e a porcentagem de adesivo tânico utilizado, essa relação mostrou regressão linear significativa para ambas as propriedades, sendo observado aumento dos valores médios com o aumento da quantidade de tanino utilizada.

Esse aumento do inchamento de painéis aglomerados com o aumento da associação do adesivo de tanino com o adesivo ureia-formaldeído também foi observado por Carneiro et al. (2009), os quais avaliaram tanino de angico – vermelho, e por Vital et al. (2004), os quais avaliaram tanino da casca de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus pellita*.

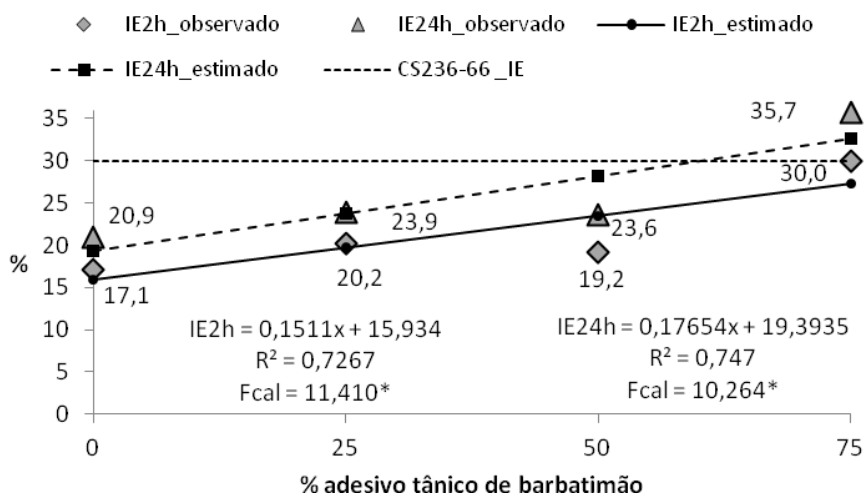


Gráfico 9 Inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água dos painéis aglomerados, onde (*) - significativo ao nível de 5%

Gonçalves, Lelis e Oliveira (2008) produziram painéis aglomerados com a madeira de *Eucalyptus urophylla*, densidade aparente média de $0,60 \text{ g.cm}^{-3}$ e 10% de adesivo UF (base massa seca das partículas) sem e com a substituição deste em 10% pelo adesivo tânico comercial de *Acacia mearnsii*. Os autores obtiveram valores médios de IE 2h de 20,1 e 20,8% e de IE24h de 27,8 e 26,5% para os painéis apenas com UF e com UF mais 10% de tanino, respectivamente.

Carneiro et al. (2009) produziram painéis aglomerados com partículas de *Pinus elliotti*, densidade de $0,67 \text{ g/cm}^3$ e com adesivo UF e com a substituição de 25% do adesivo UF pelo adesivo tânico de angico-vermelho. Os autores encontraram valores de IE2h de 19,6 e 29,7% e de IE24h de 25,1 e 56,4% para os painéis com adesivo UF e com 25% de substituição, respectivamente.

A norma CS 236 (COMMERCIAL STANDARD - 1968) estipula o valor máximo para o inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão de 30%. Em comparação com a norma de comercialização os painéis produzidos com 75% e 100% de tanino não atenderam a mesma. Podendo assim, serem utilizados os teores de 25 e 50% de substituição de UF pelo adesivo de tanino à base de barbatimão para produção de painéis aglomerados, sem que ocorra prejuízo quanto ao uso dos painéis. Em relação aos dados obtidos na literatura os resultados observados para todos os tratamentos se mostraram próximos.

O Gráfico 10 elucidada a relação entre a porcentagem de adesivo tânico adicionado ao adesivo ureia-formaldeído e a taxa de não retorno em espessura (TNRE) dos painéis aglomerados, sendo que a relação se mostrou significativa para a regressão linear. Assim como no inchamento em espessura, a TNRE aumentou com o aumento da substituição pelo adesivo tânico de barbatimão, fato que comprova a associação direta entre tais propriedades.

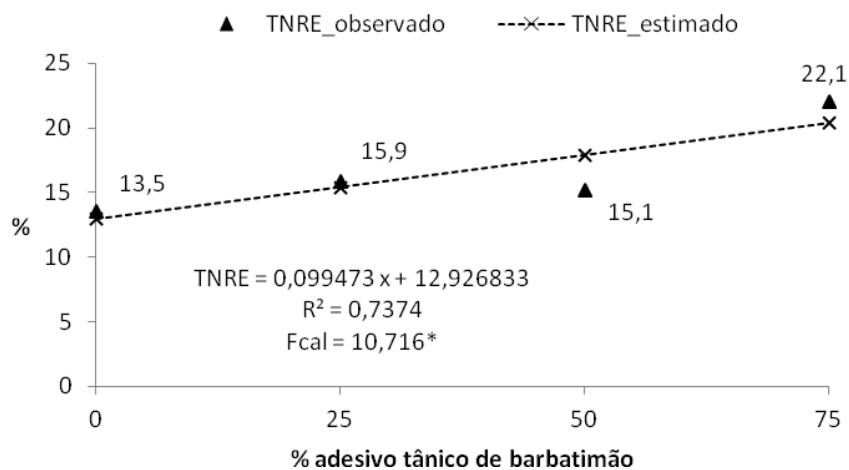


Gráfico 10 Taxa de não retorno em espessura dos painéis aglomerados, onde (*) - significativo ao nível de 5%

4.3.2 Propriedades mecânicas

O Gráfico 11 demonstra a relação entre a porcentagem de adesivo tânico adicionado ao adesivo UF e a propriedade ligação interna (LI) dos painéis aglomerados. A regressão quadrática foi a que mais representou a tendência, sendo essa estatisticamente significativa, com a redução dos valores médios à medida que se aumentou a quantidade de tanino.

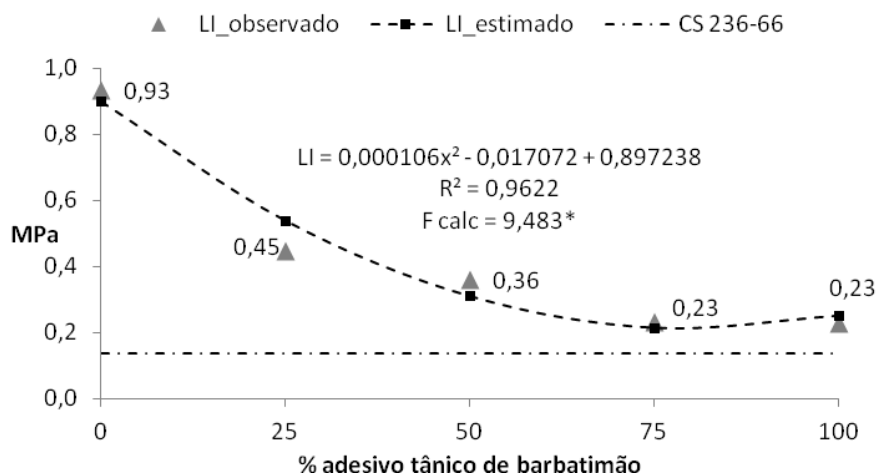


Gráfico 11 Ligação interna dos painéis aglomerados, onde (*) - significativo ao nível de 5%

Ping et al. (2011) testaram a ligação interna de painéis aglomerados confeccionados com adesivo tânico extraídos de bagaço de uva. Os painéis foram produzidos com um teor de adesivo de 10% de sólidos (baseado no peso das partículas secas) e com a densidade aparente de $0,69 \text{ g.cm}^{-3}$. Os autores encontraram valor de resistência à ligação interna de $0,26 \text{ MPa}$ para os painéis com 100% de adesivo tânico de bagaço de uva.

Carneiro et al. (2009) produziram painéis aglomerados com partículas de *Pinus elliotti*, densidade de $0,67 \text{ g.cm}^{-3}$ e com adesivo UF e com o adesivo tânico de angico-vermelho. Os autores encontraram valores médios de $0,54 \text{ MPa}$ para o tratamento com adesivo tânico de angico-vermelho a $0,78 \text{ MPa}$ para os painéis produzidos com o adesivo UF.

A norma comercial americana CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968) estipula o valor mínimo, para painéis com adesivo ureia-formaldeído e de baixa de densidade, de $0,14 \text{ MPa}$.

Sendo assim, os valores obtidos para ligação interna neste trabalho estão inferiores aos encontrados na literatura, porém em relação a norma todos os tratamentos atenderam ao mínimo estipulado.

A relação linear entre o MOR e a substituição do adesivo UF pelo adesivo tânico de barbatimão se mostrou significativa (Gráfico 12), assim como também foi significativa à relação linear entre o MOE e a porcentagem de adesivo tânico utilizado (Gráfico 13). O aumento da substituição do adesivo UF diminuiu tanto o MOE quanto o MOR dos painéis aglomerados.

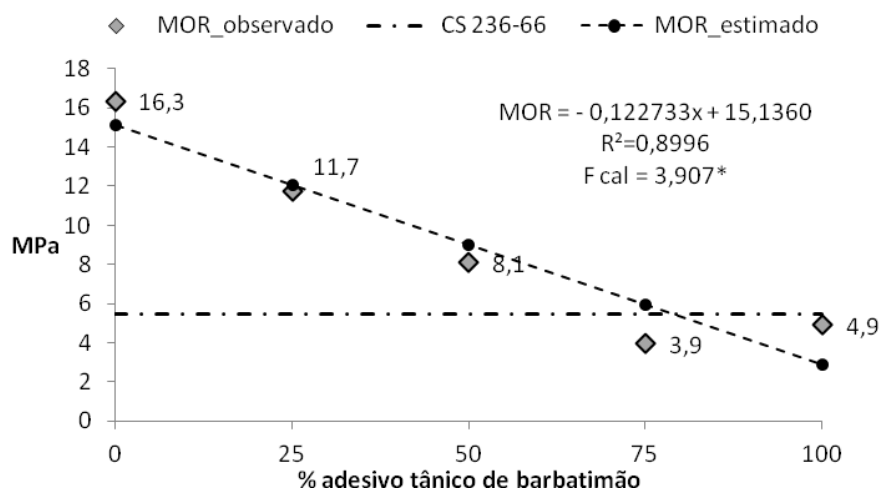


Gráfico 12 Módulo de ruptura dos painéis aglomerados, onde (*) - significativo ao nível de 5%

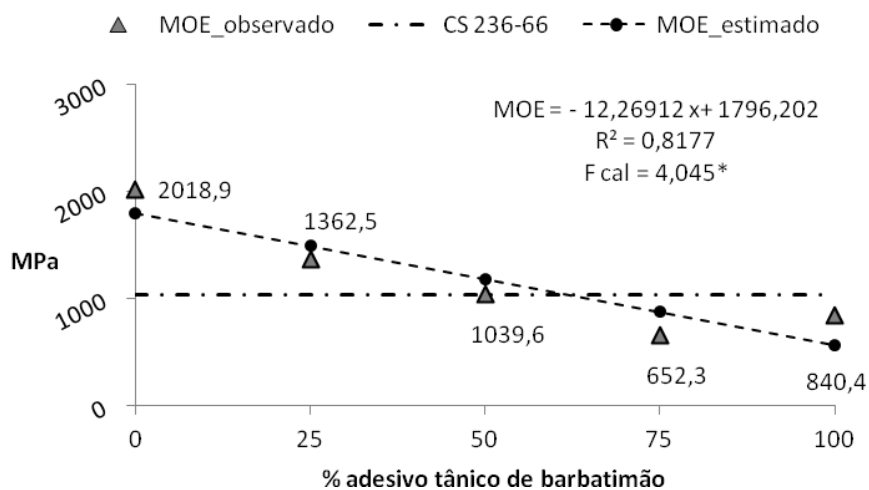


Gráfico 13 Módulo de elasticidade dos painéis aglomerados, onde (*) - significativo ao nível de 5%

Carneiro et al. (2009) produziram painéis aglomerados com partículas de *Pinus elliotti*, densidade aparente média de $0,67 \text{ g.cm}^{-3}$, e com adesivo UF na substituição de 25 e 100% pelo adesivo tânico de angico-vermelho. Os autores encontraram valores médios variando para o MOR de 19,96; 18,25 e 17,11 MPa e para o MOE de 2329; 1659 e 1924 MPa, para os adesivos UF e 25 e 100% de substituição pelo adesivo de angico, respectivamente.

Guimarães Júnior et al. (2011) produziram painéis aglomerados utilizando 3 clones de *E. saligna*, com o 8% de adesivo UF a 8% (base massa seca das partículas). Os painéis obtiveram densidade média de $0,62 \text{ g.cm}^{-3}$ e valores entre 654,1 e 762,4 MPa para MOE e entre 12,5 e 16,1 MPa para o MOR.

Gonçalves, Lelis e Oliveira (2008) produziram painéis aglomerados com a madeira de *Eucalyptus urophylla*, densidade aparente média de $0,60 \text{ g.cm}^{-3}$ e 10% de adesivo UF (base massa seca das partículas) assim como a substituição deste em 10% pelo adesivo tânico comercial de *Acacia mearnsii*. Os autores

obtiveram valores médios de MOR de 13,5 e 12,9 e de MOE valores médios de 1887 e 1815 MPa, para os painéis com o adesivo UF e o adesivo UF mais 10% de adesivo tânico de acácia, respectivamente.

A norma de comercialização CS 236-66 (COMMERCIAL STANDARD, 1968) estipula como valor mínimo, para painéis de baixa densidade e adesivo ureia-formaldeído, os valores de 5,49 MPa para o MOR e de 1029,7 MPa para o MOE.

Nesse sentido, em relação aos dados obtidos na literatura, apenas os resultados observados para os painéis produzidos com 100% de ureia-formaldeído apresentaram valores médios próximos. No entanto, em comparação com a norma de comercialização apenas os painéis produzidos com 100 e 75% de tanino não atenderam a mesma. Podendo assim, serem utilizados os teores de 25 e 50% de substituição de UF pelo adesivo de tanino à base de barbatimão para produção de painéis aglomerados, sem que ocorra prejuízo quanto às propriedades MOR e MOE à flexão estática.

4.4 OSB

Os dados das propriedades físicas e mecânicas dos painéis OSB estão a seguir.

4.4.1 Propriedades físicas

De acordo com os dados apresentados na Tabela 5, observa-se que os valores médios das densidades não diferiram entre si, pelo teste *Tukey* a 5% de significância.

Tabela 5 Densidade aparente e razão de compactação dos painéis OSB

| Tratamentos | Densidade aparente (g.cm ⁻³) | Razão de compactação |
|-----------------------|--|----------------------|
| T1. 0% TF* / 100% UF* | 0,534 a | 1,3 |
| T2. 25% TF / 75% UF | 0,542 a | 1,3 |
| T3. 50% TF / 50% UF | 0,568 a | 1,3 |
| T4. 75% TF / 25% UF | 0,578 a | 1,4 |
| T5. 100% TF / 0% UF | 0,555 a | 1,3 |

*TF: tanino-formaldeído, UF: ureia-formaldeído. Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem estatisticamente pelo teste de *Tukey* a 5% de significância.

Para a razão de compactação se enquadrar na faixa ideal ela deve estar entre 1,3 a 1,6, conforme descrito por Maloney (1993) e todos os tratamentos obtiveram valores dentro dessa faixa. A razão de compactação é um parâmetro de grande importância na resistência mecânica de painéis particulados, uma vez que painéis com maior razão de compactação provavelmente terão propriedades mecânicas superiores.

Os Gráficos 14 e 15 representam a relação entre a porcentagem de adesivo tânico utilizado e a absorção de água dos painéis após duas (AA 2h) e vinte e quatro horas de imersão (AA 24h), a qual se mostrou significativa, em ambas as propriedades, para a regressão quadrática.

Verifica-se que os menores valores de absorção de água, tanto para AA 2h como AA 24h, foram dos tratamentos puros, com 100% do adesivo de ureia-formaldeído e 100% do adesivo tânico. Fato que leva a concluir que a associação dos dois tipos de adesivo promoveu certa interação, o que prejudicou diretamente essa propriedade. Podendo ser o pH (Tabela 2) um dos fatores que afetou a reação, onde a mistura da adesivo tânico proporcionou a redução do pH do adesivo UF, o que pode desencadear o início do processo de cura do mesmo, visto que esse adesivo cura em meio ácido.

Vital et al. (2004) produziram painéis de flocos utilizando a madeira de *Pinus elliottii*, densidade aparente média de 0,56 g.cm⁻³ e com adesivos tânicos produzidos com taninos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus pellita* a um teor de 8% de adesivo (base partículas secas). Os valores médios de AA 2h e AA 24h

dos painéis produzidos com adesivo de *E. grandis* foram de 68,7 e 85%, respectivamente, e com o adesivo de *E. pellita* de 88 e 108,9%, respectivamente.

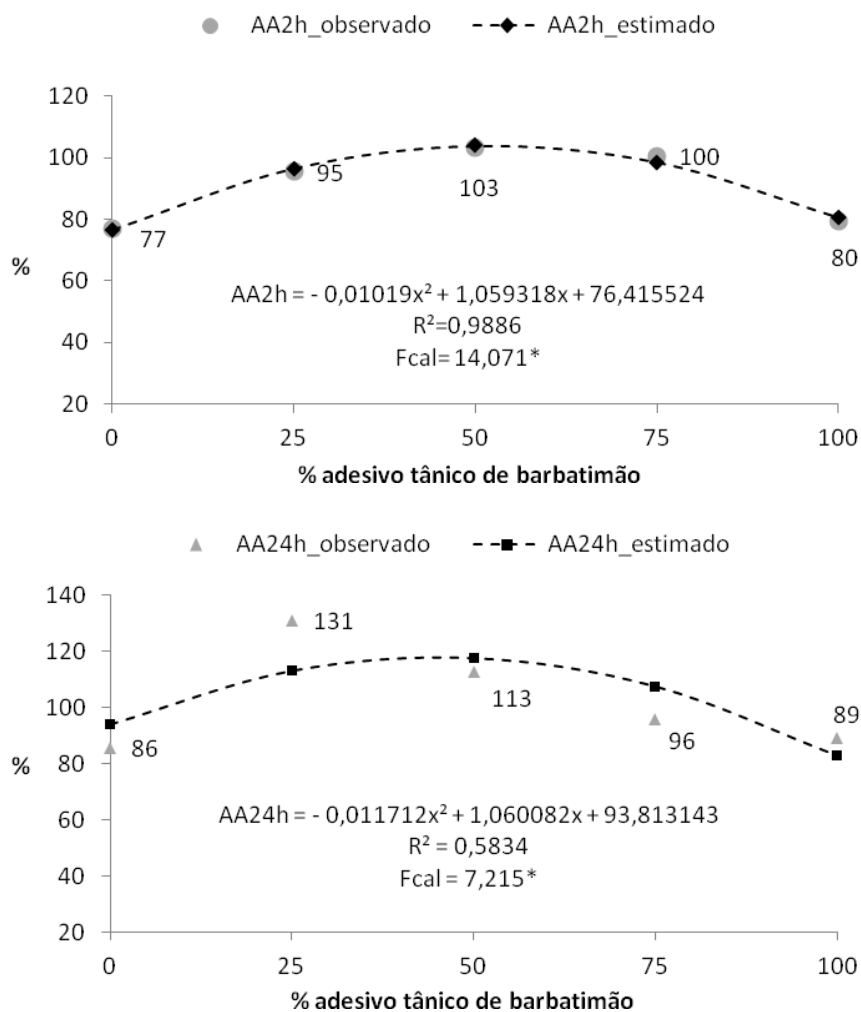


Gráfico 14 Absorção de água após 2 horas de imersão em água dos painéis OSB, onde (*) - significativo ao nível de 5%

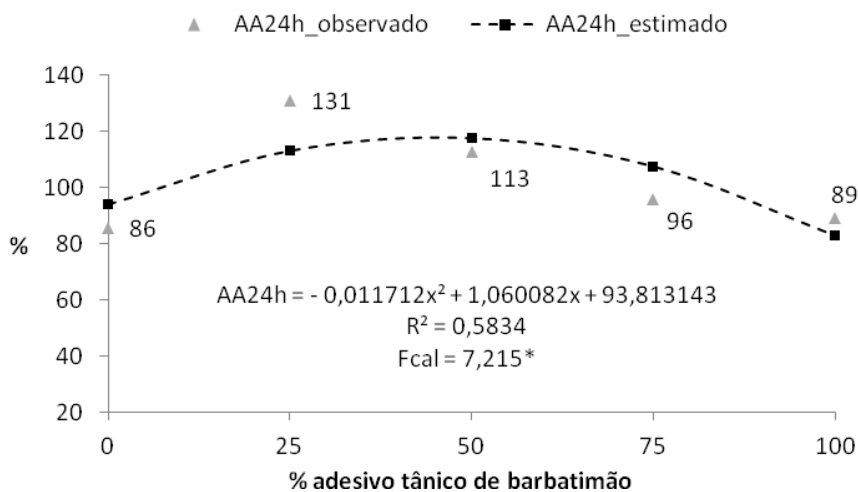


Gráfico 15 Absorção de água após 24 horas de imersão em água dos painéis OSB, onde (*) - significativo ao nível de 5%

A variação do inchamento em espessura após duas (Gráfico 16) e a vinte e quatro horas de imersão em água (Gráfico 17) e também a taxa de não retorno em espessura (Gráfico 18), em função da porcentagem de adesivo tânico utilizado se mostrou significativa, em as ambas as propriedades, para a regressão quadrática.

Observa-se nos três casos que os menores valores foram obtidos para os adesivos puros, enquanto que nas misturas dos adesivos os valores aumentaram, piorando assim as propriedades físicas do OSB. O que assim como na absorção de água pode estar relacionado com a interação dos dois tipos de adesivos.

Vital et al. (2004) produziram painéis de flocos utilizando a madeira de *Pinus elliottii* com adesivos tânicos produzidos com taninos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus pellita*. O inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão em água dos painéis com adesivos tânicos de *E. grandis* foram de 23,7 e 38,4%, respectivamente, e para os painéis com o adesivo tânicos de *E. pellita* os valores médios foram de 36,1 e 57,4%, respectivamente.

Hilling, Haselein e Santini (2004) produziram painéis aglomerados com partículas de *Pinus elliottii* Engelm com dimensões 90 x 20 x 0,6 mm, sem a orientação das mesmas em diferentes camadas. Utilizaram 8% de adesivo tânico comercial de acácia, 1% de parafina, densidade aparente média de $0,62 \text{ g.cm}^{-3}$, e uma razão de compactação de 1,31. Os valores obtidos para o IE2h e IE24h foram de 4,5 e 22,1%, respectivamente.

A norma europeia de comercialização EN 300 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2006) estipula para a propriedade inchamento em espessura após vinte e quatro horas o valor de 25%, para painéis *OSB* do tipo 1, utilizado em ambiente sem contato com a umidade.

De forma geral, em comparação com os dados obtidos na literatura os valores médios encontrados neste trabalho se mostraram coerentes, enquanto que em comparação com a norma de comercialização todos os tratamentos atenderam ao requisito máximo estipulado.

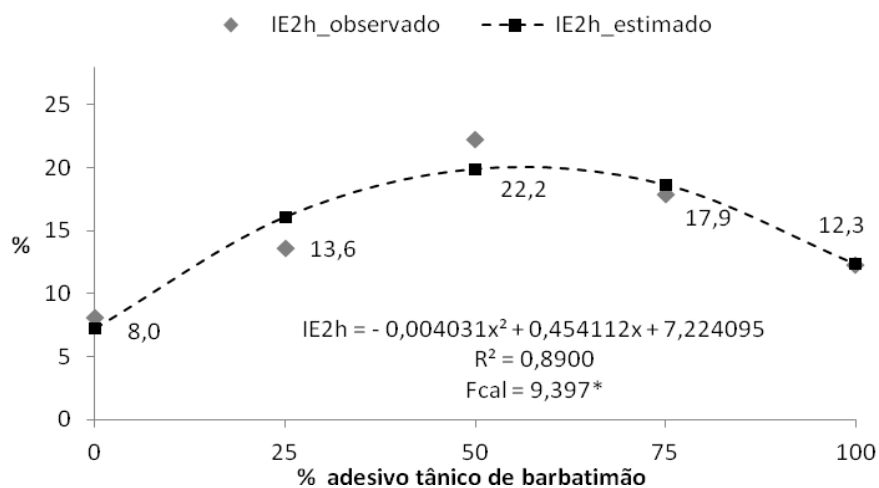


Gráfico 16 Inchaço em espessura após 2 horas de imersão em água dos painéis *OSB*, onde (*) - significativo ao nível de 5%

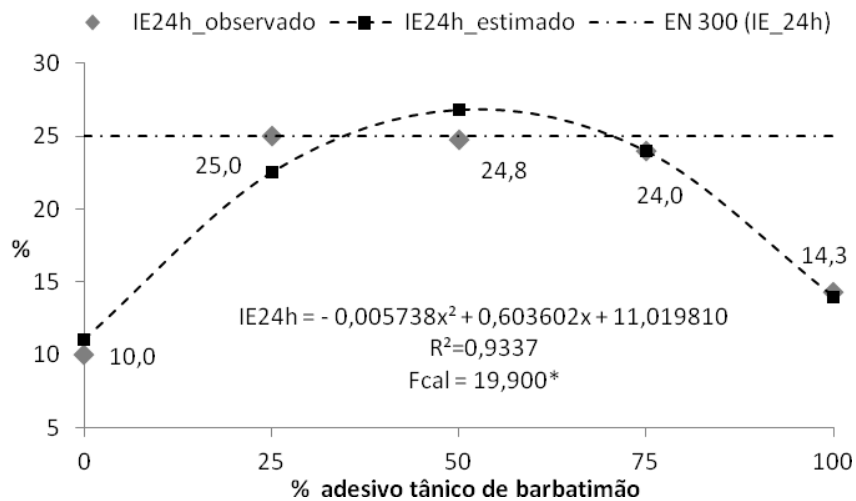


Gráfico 17 Inchaço em espessura após 24 horas de imersão em água dos painéis *OSB*, onde (*) - significativo ao nível de 5%

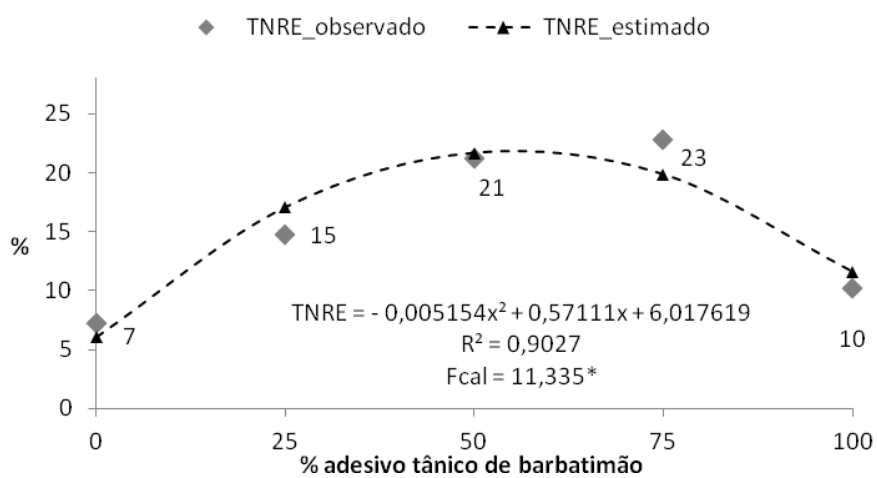


Gráfico 18 Taxa de não retorno em espessura dos painéis *OSB*, onde (*) - significativo ao nível de 5%

4.4.2 Propriedades mecânicas

A relação entre a porcentagem de adesivo tânico utilizado e a propriedade ligação interna (LI) dos painéis *OSB* se mostrou significativa para a regressão quadrática (Gráfico 19), onde a substituição em 50 e 75% do adesivo ureia-formaldeído pelo adesivo tânico causou redução da LI. Relação também influenciada pela interação entre os dois tipos de adesivos.

Vital et al. (2004) produziram painéis de flocos utilizando a madeira de *Pinus elliottii* com adesivos tânicos produzidos com taninos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus pellita* a um teor de 8% de adesivo (base partículas secas). Os painéis obtiveram uma densidade de $0,56 \text{ g.cm}^{-3}$, e os valores médios de ligação interna foram de 0,69 e 0,32 MPa para os painéis com os adesivos tânicos de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus pellita*, respectivamente.

Teodoro (2004) produziu painéis *OSB* com partículas de *Pinus caribaea* var. *caribaea* com a mistura dos adesivos produzidos com taninos obtidos da casca de *Acacia mearnsii* (TA) e da casca de *Eucalyptus pellita* (TE) na proporção de 90:10 e 80:20 para TA:TE, assim como um tratamento com apenas o adesivo de acácia. O autor utilizou um teor de 10% de adesivo (base massa seca das partículas). Os painéis apresentaram a densidade de 0,72; 0,69 e $0,69 \text{ g/cm}^3$ para a mistura de 90:10 e 80:20 (TA:TE) e para o tratamento puro de acácia, respectivamente. A ligação interna para os três tratamentos foram de 0,34; 0,52 e 0,37 MPa, para os tratamentos com a mistura de adesivo de acácia e eucalipto nas proporções de 90:10; 80:20 e o adesivo de acácia puro, respectivamente.

O valor mínimo especificado para a propriedade ligação interna pela norma EN 300 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2006) para painéis *OSB* do tipo 1 de 0,30 MPa.

Desse modo, o tratamento com o adesivo comercial ureia formaldeído, assim como a substituição em 25 e em 100% pelo adesivo tânico de barbatimão superaram o mínimo exigido pela norma europeia, apresentando também valores coerentes com os observados na literatura.

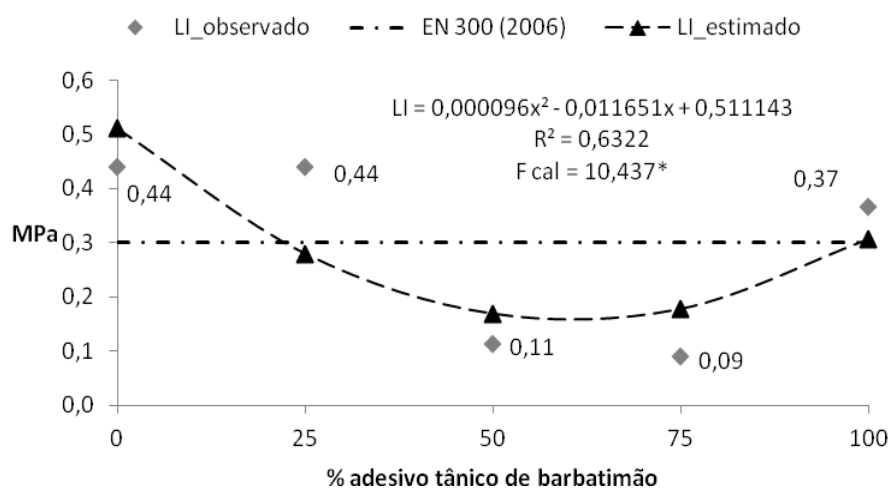


Gráfico 19 Ligação interna dos painéis OSB, onde (*) - significativo ao nível de 5%

Não foi verificada uma tendência significativa entre a porcentagem de utilização de adesivo tânico e os valores de módulo de elasticidade paralelo (MOE // - Fcalculado: 3,289; Tabela 24A - Anexo), de elasticidade perpendicular (MOE \perp - Fcalculado: 0,368; Tabela 25A - Anexo) e para o

módulo de ruptura perpendicular ($MOR \perp$ - $F_{calculado}$: 0,513; Tabela 26A –

Anexo) como apresentado nos Gráficos 20 e 21.

A relação entre os valores de módulo de ruptura paralelo dos painéis ($MOR //$) e a porcentagem de substituição do adesivo ureia-formaldeído pelo adesivo tânico se mostrou significativa para a regressão quadrática (Gráfico 22), onde a substituição do adesivo ureia-formaldeído pelo adesivo tânico causou redução do $MOR //$, sendo o efeito mais pronunciado para as porcentagens de 50 e 75%. Apresentando assim relação direta com a ligação interna das partículas dos painéis (Gráfico 19).

Teodoro (2004) produziu painéis *OSB* com partículas de *Pinus caribaea* var. *caribaea* com a mistura dos adesivos produzidos com taninos obtidos da casca de *Acacia mearnsii* (TA) e da casca de *Eucalyptus pellita* (TE) na proporção de 90:10 e 80:20 para TA:TE. O autor utilizou um teor de 10% de adesivo (base massa seca das partículas). Os painéis apresentaram a densidade de 0,72 e 0,69 g.cm⁻³ para a mistura de 90:10 e 80:20 (TA:TE), respectivamente.

Os valores obtidos de $MOE //$ foram de 3990 e 3969 MPa; de $MOE \perp$ de 3406 e

3416 MPa; de MOR // de 51 e 47 MPa; e de MOR \perp 47 e 43 MPa, para os

tratamentos com 90% e 80% de tanino de acácia, respectivamente.

Bortoletto Júnior e Garcia (2004) avaliaram as propriedades mecânicas de painéis comerciais de *OSB* com 15 mm de espessura e densidade de

0,57 g.cm⁻³, onde os autores encontraram valores de MOE // e \perp na ordem de

3987 e 1756 MPa e de MOR // e \perp na ordem de 25 e 16 MPa, respectivamente.

O mínimo requerido para o MOE //, MOE \perp , MOR // e MOR \perp pela

norma europeia EN 300 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2006) para *OSB* tipo 1 é de 2500, 1200, 18 e 9 MPa, respectivamente.

De forma geral, em comparação com os dados encontrados na literatura todos os tratamentos deste estudo apresentaram valores médios inferiores de MOR e MOE paralelo e perpendicular. No entanto, quando em comparação com

a norma de comercialização, os tratamentos em que houve a substituição em 25, 75 e 100% pelo adesivo tânico, assim como com o adesivo UF puro atenderam

ao mínimo requerido para o MOE //; em relação ao MOE ⊥ os tratamentos com

o adesivo UF, com 25, 50 e 100% de substituição atenderam o requisito mínimo. Os valores médios de todos os tratamentos atenderam as exigências para o

MOR ⊥, enquanto que para o MOR // apenas os tratamentos com o adesivo UF,

com 25 e 100% de substituição atenderam a norma EN 300 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2006).

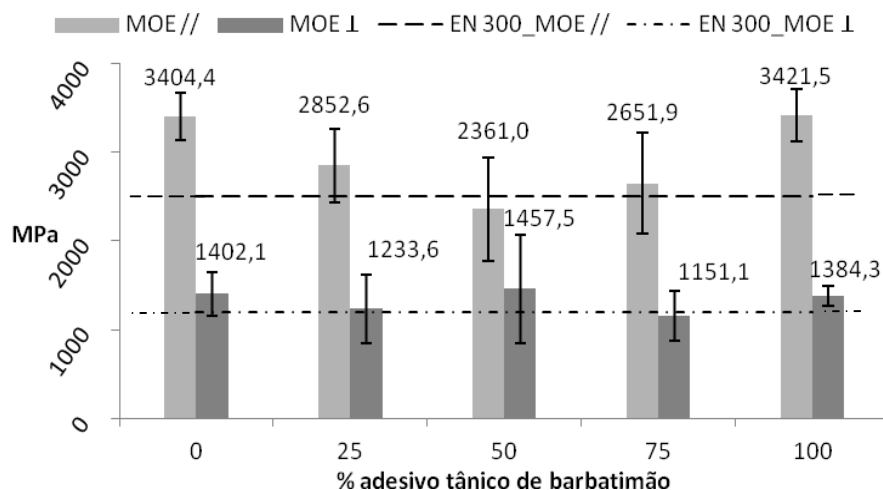


Gráfico 20 Valores médios do MOE paralelo e perpendicular dos painéis OSB, onde (*) - significativo ao nível de 5%

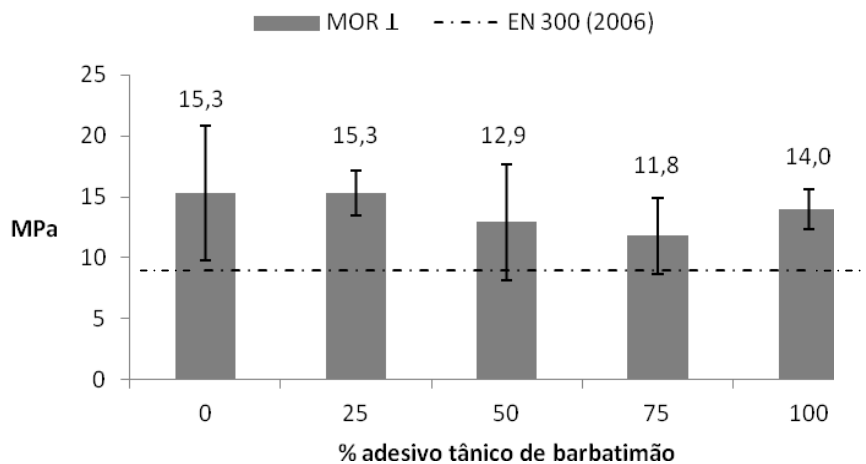


Gráfico 211 Valores médios do MOR perpendicular dos painéis *OSB*, onde (*) - significativo ao nível de 5%

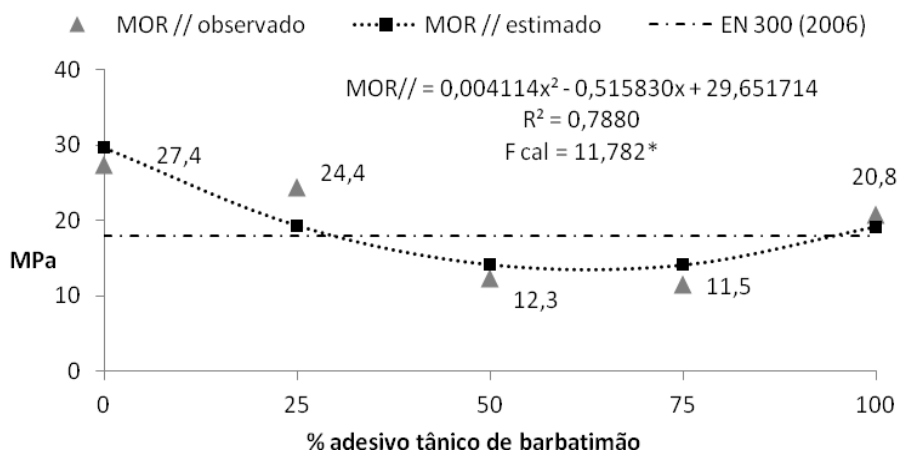


Gráfico 22 Valores médios do MOR paralelo dos painéis *OSB*

5 CONCLUSÃO

5.1 Utilização de taninos na produção de compensado

A substituição de adesivo fenol-formaldeído por adesivo de tanino de barbatimão na produção de painéis compensados apresentou efeito significativo apenas nas propriedades absorção de água, resistência ao cisalhamento úmido e módulo de elasticidade perpendicular. Sendo os maiores valores de absorção de água e os menores de módulo de elasticidade perpendicular obtidos para a mistura dos adesivos.

Quanto maior a quantidade de tanino utilizada na produção dos painéis compensados, menores foram os valores médios observados para o inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão.

Os painéis produzidos com a adição de 25, 50, 75 e 100% de adesivo tânico de barbatimão não atenderam a norma NBR 31:000.05-001/2 (ABNT, 2001) apenas quanto à exigência do módulo de elasticidade paralelo.

No entanto, de forma geral observa-se um grande potencial de utilização dos taninos de barbatimão para produção de painéis compensados, inclusive sem que necessite da associação com o adesivo fenol-formaldeído.

5.2 Utilização de taninos na produção de aglomerado

A substituição de adesivo ureia-formaldeído por adesivo de tanino de barbatimão na produção de painéis aglomerados não apresentou efeito significativo apenas nas propriedades absorção de água após duas e vinte e quatro horas de imersão. Não levando em consideração, nesses dois casos, os painéis com 100% de adesivo à base de tanino, visto que eles não resistiram ao contato com a água.

Nas demais propriedades, o aumento da porcentagem de tanino promoveu o aumento dos valores do inchamento em espessura após duas e vinte e quatro horas de imersão e da taxa de não retorno em espessura, e a diminuição dos valores de ligação interna, módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática.

No entanto, os painéis aglomerados com até 50% de utilização de adesivo tânico de barbatimão se mostraram aptos para utilização, atendendo a todos os pré-requisitos estipulados pela norma de comercialização.

5.3 Utilização de taninos na produção de *OSB*

Os painéis *OSB* foram produzidos com o adesivo ureia-formaldeído, uma vez que o alto valor de pH do adesivo FF acelerou a reação da mistura do adesivo tânico de barbatimão com o adesivo FF e causaram aumento da viscosidade da mistura impossibilitando a aplicação da mesma.

A substituição de adesivo ureia-formaldeído por adesivo de tanino de barbatimão na produção de painéis *OSB* não apresentou efeito significativo apenas nas propriedades módulo de elasticidade paralelo e perpendicular e módulo de ruptura perpendicular.

Nas demais propriedades, cujo efeito da quantidade de tanino utilizado foi significativo, os maiores valores médios das propriedades físicas e os menores valores médios das propriedades mecânicas foram obtidos pela associação dos adesivos, o que significa que é mais viável a utilização do tanino de barbatimão de forma pura para os painéis *OSB*.

Os painéis produzidos apenas com o adesivo ureia-formaldeído e apenas com o adesivo à base de tanino de barbatimão atenderam a todos os pré-requisitos estipulados pela norma de europeia para painéis do tipo 1. Fato que

demonstra grande potencial de utilização do tanino de barbatimão para produção de painéis *OSB*.

5.4 Conclusão geral

O adesivo tânico de barbatimão se mostrou viável tecnicamente para aplicação em painéis reconstituídos. Para os painéis compensados é recomendável o uso do produto tanto em ambientes úmidos como em ambientes secos. Para os painéis aglomerados recomenda-se o uso apenas em ambientes internos sem contato com a umidade, porém não o uso do adesivo puro e sim em até 50% de substituição do adesivo UF. Para os painéis *OBS* é recomendado o uso do adesivo puro de barbatimão e em até 25% de substituição do adesivo UF, porém apenas em ambientes internos.

Recomenda-se estudos futuros em relação à reatividade dos taninos do barbatimão, também estudos que visem à utilização do adesivo tânico em misturas com adesivos estruturais, onde a rápida cura do adesivo é requerida.

REFERÊNCIAS

ALDO BALLERINI, A. D.; PIZZI, A. Non-toxic, zero emission tannin-glyoxal adhesives for wood panels. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 23, p. 477–478, 2005.

ALMEIDA, N. F. de et al. Rendimentos em taninos das folhas de barbatimão [*Stryphnodendron adstringens*] em diferentes períodos de coleta visando a produção de adesivo para a madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL, 2008. p. 5-8.

ALMEIDA, R. R.; BORTOLETTO JÚNIOR, G.; JANKOWSKY, I. P. Produção de compensados a partir da madeira de clones do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 11, n.1, p. 14 - 24, ago./dez. 2004.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. **Mat formed wood particleboard: specification ANSI/A 208.1.1993**. Gaithersburg: National Particleboards Association, 1993. 9 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1037**: standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials. Philadelphia, 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D 1200**: Test method for Viscosity by Ford Viscosity. Philadelphia , 1994.

AMUSANT, N. et al. Biological properties of an OSB eco-product manufactured from a mixture of durable and non durable species and natural resins. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 67, p. 439-447, 2009.

ARNOULD, O. et al. Mechanical potential of eco-OSB produced from durable and nondurable species and natural resins. **Holzforschung**, Berlin, v. 64, p. 791-798, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Catálogo técnico nº 2**. Curitiba, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial**. Curitiba, 2001.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA MADEIRA
PROCESSADA MECANICAMENTE. **Estudo setorial**. Curitiba, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA.
Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/numeros.php>>. Acesso em: 12 jul.
2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 11941.
Brasília, 2003. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. CB-29: NBR
11941: Madeira – determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. CB-31: projeto de
normas 31.000.05.001/2: chapas de madeira compensada. Rio de Janeiro, 2001.

BASTOS, E. F. **Caracterização física e mecânica de painel de OSB do tipo
Form**. 2009. 131 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade
de Campinas, Campinas, 2009.

BORTOLETTO JÚNIOR, G.; GARCIA, J. N. Propriedades de resistência e
rigidez à flexão estática de painéis OSB e compensados. **Revista Árvore**,
Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 563-570, 2004.

BRIGHTMAN, H. S. et al. Evaluating building-related symptoms using the US
EPA BASE study results. **Indoor Air**, Copenhagen, v. 18, n. 4, p. 335- 345,
2008.

CARNEIRO, A. C. O. **Efeito da hidrólise ácida e sulfitação de taninos de
Eucaliptus grandis W. Hill ex Maiden e *Anadenanthera peregrina* Speg.,
nas propriedades dos adesivos**. 2006. 182 p. Tese (Doutorado em Ciência
Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2006.

CARNEIRO, A. C. O. et al. Properties of particleboards glued with adhesives of
"angico-vermelho" tannin (*Anadenanthera peregrina*) and urea-formaldehyde.
Revista Árvore, Viçosa, MG, v. 33, n. 3, p. 521-531, 2009.

COMMERCIAL STANDARD. **Mat formed wood particleboard: CS 236-66**.
[S. l.: s. n.], 1968.

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

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 118**. Wood preservatives: determination of preventive action against Reticulitermes species (European termites) (Laboratory method). Brussels, 2005.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 300**: oriented Strand Boards (OSB) - definitions, classification and specifications. Bruxelles, 2006.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 310**: plywood-based panels: determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength. Bruxelles, 1993c.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION **EN 312**: panels for interior applications (including furniture) in dry areas (P2). Bruxelles , 2004.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 312-2**. Particleboards-specifications: requirements for generalpurpose boards for use in dry conditions. Brussels, 1996a. Part 2.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 312-3**. Particleboards-specifications: requirements for boards for interior fitments (including furniture) for use in dry conditions. Brussels, 1996b. Part 3.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 312-6**. Particleboards-specifications: requirements for boards for heavy-duty load bearing boards for use in dry conditions. Brussels, 1996. Part 6.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 314-1**: plywood-bonding quality: test methods. Bruxelles, 1993a. 12 p. Part 1

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 314-2**. plywood - bonding quality: requirements. Bruxelles, 1993b. Part 2.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 317**. Particleboards and fiberboards, determination of swelling in thickness after immersion. Brussels, 1993d.

FELFILI, J. M.; BORGES FILHO, H. C. **Extrativismo racional da casca de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville)**. Brasília: UnB, 2004. 31 p.

FERREIRA, E. S. et al. Use of tannin from *Pinus oocarpa* bark for manufacture of plywood. INTERNATIONAL CONVENTION OF SOCIETY OF WOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY, 51., 2008, Concepción. **Proceedings...** Concepción: [s. n.], 2008. 11 p.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION Disponível em: <<http://faostat.fao.org/site/630/default.aspx>>. Acesso em: 10 jan. 2013.

GONÇALVES, C. A. et al. Produção de chapas de madeira aglomerada com adesivo Uréia-formaldeído modificado com tanino de *mimosa Caesalpiniaefolia* Bentham (Sabiá). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 1, p. 18-26, jan./jul. 2003.

GONÇALVES, C. A.; LELIS, R. C. C.; OLIVEIRA, J. T. S. Influência da composição da resina tanino-uréia-formaldeído Nas propriedades físicas e mecânicas de chapas aglomeradas. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 32, n. 4, p. 715-722, 2008.

GOULART, S. L. et al. Resistência ao cisalhamento de painéis compensados produzidos com adesivo à base de taninos de *Stryphnodendron adstringens* (barbatimão). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 3, p. 308-315, jul./set. 2012.

GUIMARÃES JÚNIOR, J. B. et al. Painéis de madeira aglomerada de resíduos da laminação de diferentes procedências de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus cloeziana*. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 443-452, out./dez. 2011.

HE, Z.; ZHANG, Y.; WEI, W. Formaldehyde and VOC emissions at different manufacturing stages of wood-based panels. **Building and Environment**, Oxford, v. 47, p. 197-204, 2012.

HILLING, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Estabilidade dimensional de chapas aglomeradas estruturais (flakeboards) fabricadas com madeiras de *Pinus*, eucalipto e acácia-negra. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 65, p. 80-94, jun. 2004.

HOONG, Y. B. et al. A new source of natural adhesive: Acacia mangium bark extracts co-polymerized with phenol-formaldehyde (PF) for bonding Mempisang (Annonaceae spp.) veneers. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, Oxford, v. 31, p. 164-167, 2011.

HOONG, Y. B. et al. Fortification of sulfited tannin from the bark of *Acacia mangium* with phenol-formaldehyde for use as plywood adhesive. **Industrial Crops and Products**, Oxford, v. 30, p. 416-421, 2009.

IARC (INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER). **Iarc classifies formaldehyde as carcinogenic to humans**. 2004. (Press Release, n. 153). Disponível em: <<http://www.iarc.fr/en/media-centre/pr/2004/pr153.html>>. Acesso em: 22 ago. 2012.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação da qualidade do compensado fenólico de *Eucalyptus grandis*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 16, n. 4, p. 437-443, jul. 2006.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis aglomerados de alta densificação com uso de resina melamina-uréia-formaldeído. **Cerne**, Lavras, v. 11, n. 4, p. 323-328, out./dez. 2005.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis compensados de pinus tropicais colados com resina fenol-formaldeído. **Floresta**, Curitiba, v. 39, n. 3, p. 669-673, jul./set. 2009.

IWAKIRI, S. et al. Produção de painéis compensados estruturais com diferentes composições de lâminas de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 36, n. 3, p. 569-576, 2012.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005.

IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. Produção de painéis compensados multilaminados de Eucalyptus. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 19, n. 111, p. 88-93, mar. 2008.

JACOBSON, T. K. B. et al. Influência de fatores edáficos na produção de fenóis totais e taninos de duas espécies de barbatimão (*Stryphnodendron* sp.). **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 35, n. 3, p. 163-169, 2005.

JORGE, F. C. et al. Wood adhesives derived from alkaline extracts of maritime Pine bark: preparation, physical characteristics and bonding efficacy. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 60, p. 303-310, 2002.

KIM, S.; KIM, H. J. Evaluation of formaldehyde emission of pine and wattle tannin-based adhesives by gas chromatography. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 62, p. 101–106, 2004.

LI, K. et al. Novel wood adhesives from condensed tannins and polyethylenimine. **International Journal of Adhesion & Adhesives**, Oxford, v. 24, p. 327–333, 2004.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1998. v. 1.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1993. 681 p.

METCHE, M. **Tanins, nature et propriétés**. Nancy: Groupe Polyphénols, 1980. v. 10, p. 11-32.

MORI, F. A. **Caracterização parcial dos taninos da casca e dos adesivos de três espécies de eucaliptos**. 2000. 73 p. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2000.

MORI, F. A. et al. Influência do sulfito e hidróxido de sódio na quantificação em taninos da casca de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*). **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 1, p. 86 – 92, jan./jul. 2003.

MORI, F. A. et al. Quantificação de taninos das cascas de barbatimão (*Stryphnodendron adstringens*). In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, 10., 2006, São Pedro. **Anais...** São Pedro : [s. n.], 2006.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Illionis: Southern Illionis University, 1974. v. 2, 245 p.

MOUBARIK, A. et al. Characterization of a formaldehyde-free cornstarch-tannin wood adhesive for interior plywood. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 68, p. 427-433, 2010.

MOUBARIK, A. et al. Cornstarch and tannin in phenol–formaldehyde resins for plywood production. **Industrial Crops and Products**, Oxford, v. 30, n. 2, p. 188–193, 2009.

MOZAFFAR, A. K.; SAYED MARGHOUB, A.; VED PRAKASH, M. Development and characterization of a wood adhesive using bagasse lignin. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, Guildford, v. 24, p. 485-493, 2004.

NIHAT, S. C.; NILGÜL, O. Use of organosolv lignin in phenol formaldehyde resins for particleboard production II. Particleboard production and properties. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, Guildford, v. 22, p. 481-486, 2002.

NORBÄCK, D. An update on sick building syndrome. **Current Opinion in Allergy and Clinical Immunology**, Hagerstown, v. 9, n. 1, p. 55-9, 2009.

PANSERA, M. R. et al. Análise de taninos totais em plantas aromáticas e medicinais cultivadas no Nordeste do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Farmacologia**, São Paulo, v. 13, n. 1, p. 17-22, jan./jun. 2003.

PARK, B. D.; KIM, J. W. Dynamic mechanical analysis of urea-formaldehyde resin adhesives with different formaldehyde-to-urea molar ratios. **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v. 108, p. 2045-2051, 2008.

PICHELIN, F. et al. Structural beams from thick wood panels bonded industrially with formaldehyde-free tannin adhesives. **Forest Products Journal**, Madison, v. 56, n. 5, p. 31-36, 2006.

PING, L. et al. Condensed tannins extraction from grape pomace: Characterization and utilization as wood adhesives for wood particleboard. **Industrial Crops and Products**, Oxford, v. 34, p. 907-914, 2011.

PIZZI, A. Hot-setting tannin-urea-formaldehyde exterior wood adhesives. **Adhesives Age**, Atlanta, v. 20, n. 12, p. 27-35, 1977.

PIZZI, A. Natural phenolic adhesive I: tannin. In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. (Org.). **Handbook of adhesive technology**. 2nd ed. New York: M. Dekker, 2003. p. 573-587.

PIZZI, A. Recent developments in eco-efficient bio-based adhesives for wood bonding: opportunities and issues. **Journal of Adhesion Science and Technology**, Utrecht, v. 20, n. 8, p. 829-846, 2006.

PIZZI, A. Tannin-based wood adhesives. In: _____. **Advanced wood adhesives technology**. New York: M. Dekker, 1994. p. 149-217.

PIZZI, A. **Wood adhesives: chemistry and technology**. New York: M. Dekker, 1983. v. 1, 364 p.

RIBEIRO, A. O. **Análise anatômica e quantificação de taninos de *Stryphnodendron adstringens* (Mart.) Coville em diferentes estratos da copa e entre períodos de coleta**. 2011. 68 p. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2011.

RODRIGUES, V. E. G.; CARVALHO, D. A. de. **Plantas medicinais no domínio dos Cerrados**. Lavras: UFLA, 2001. 180 p.

SALTHAMMER, T.; MENTESE, S.; MARUTZKY, R. Formaldehyde in the indoor environment. **Chemical Reviews**, Washington, v. 110, p. 2536-2572, 2010.

SANTOS, S. C. et al. Seasonal variation in the content of tannins in barks of barbatimão species. **Brazilian Journal of Pharmacognosy**, Curitiba, v. 16, n. 4, p. 552-556, out./dez. 2006.

SILVA, B. C. et al. Qualidade de Compensados Fabricados com Adesivos à Base de Tanino-formaldeído de *Pinus oocarpa* e Fenol-formaldeído. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 4, p. 511-519, 2012.

TABARSA, T.; JAHANSHAHI, S.; ASHORI, A. Mechanical and physical properties of wheat straw boards bonded with a tannin modified phenol-formaldehyde adhesive. **Composites: Part B**, Amsterdam, v. 42, n. 2, p. 176-180, 2011.

TANAC. Disponível em: <http://www.tanac.com.br/PT/upload/produtos/CT_PHENOTAN_M_PT.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2012.

TEODORO, A. S.; LELIS, R. C. C. Colagem de madeira sólida com adesivo natural à base de tanino. **Revista Universidade Rural: Série Ciências da Vida**, Seropédica, v. 25, n. 1, p. 55-59, jan./jun. 2005.

TEODORO, A. S. **Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB**. 2008. 110 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

THOMPSON, G. E. **Demethylated kraft lignin as a substitute for phenol in wood adhesives**. MS Thesis (Doctorate) - Colorado State University, Fort Collins, 1991.

TROSA, A.; PIZZI, A. A no-aldehyde emission hardener for tannin-based wood adhesives for exterior panels. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 59, p. 266–271, 2001.

VITAL, B. R. et al. Adesivos à base de taninos das cascas de duas espécies de eucalipto para produção de chapas de flocos. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 4, p. 571-582, 2004.

WANG, S.; WINISTORFER, P. M. The effect of species and species distribution on the layer characteristics of OSB. **Forest Products Journal**, Madison, v. 50, n. 4, p. 37-44, 2000.

YOOSUP, P.; DOHERTYB, W. O. S.; HALLEYA, P. J. Developing lignin-based resin coatings and composites. **Industrial Crops and Products**, Oxford, v. 27, p. 163-167, 2008.

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

ANEXOS

ANEXO A Estatística

Análise estatística: Compensado

Tabela 1A Análise de variância da densidade

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|-----------|----------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 0.000309 | 0.000077 | 0.167 | 0.9504 |
| erro | 10 | 0.004634 | 0.000463 | | |
| Total corrigido | 14 | 0.004943 | | | |
| CV (%) = | 4.11 | | | | |
| Média geral: | 0.5233333 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 2A Análise de variância da absorção de água após 24 horas de imersão

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|------------|------------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 97.884760 | 24.471190 | 3.681 | 0.0430 |
| erro | 10 | 66.472933 | 6.647293 | | |
| Total corrigido | 14 | 164.357693 | | | |
| CV (%) = | 4.34 | | | | |
| Média geral: | 59.4326667 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 3A Análise de variância do inchamento em espessura após 24 horas de imersão

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|-----------|----------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 2.379293 | 0.594823 | 2.524 | 0.1072 |
| erro | 10 | 2.356667 | 0.235667 | | |
| Total corrigido | 14 | 4.735960 | | | |
| CV (%) = | 10.00 | | | | |
| Média geral: | 4.8540000 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 4A Análise de variância do cisalhamento a seco

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|-----------|----------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 0.666707 | 0.166677 | 2.012 | 0.1686 |
| erro | 10 | 0.828267 | 0.082827 | | |
| Total corrigido | 14 | 1.494973 | | | |
| CV (%) = | 12.22 | | | | |
| Média geral: | 2.3546667 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 5A Análise de variância do cisalhamento úmido

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|-----------|----------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 1.137693 | 0.284423 | 4.334 | 0.0273 |
| erro | 10 | 0.656200 | 0.065620 | | |
| Total corrigido | 14 | 1.793893 | | | |
| CV (%) = | 10.98 | | | | |
| Média geral: | 2.3326667 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 6A Análise de variância do módulo de ruptura paralelo

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|------------|-------------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 537.914933 | 134.478733 | 1.766 | 0.2122 |
| erro | 10 | 761.433000 | 76.143300 | | |
| Total corrigido | 14 | 1299.347933 | | | |
| CV (%) = | 13.90 | | | | |
| Média geral: | 62.7933333 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 7A Análise de variância do módulo de ruptura perpendicular

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|------------|------------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 247.945107 | 61.986277 | 3.275 | 0.0583 |
| erro | 10 | 189.270933 | 18.927093 | | |
| Total corrigido | 14 | 437.216040 | | | |
| CV (%) = | 12.25 | | | | |
| Média geral: | 35.5120000 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 8A Análise de variância do módulo de elasticidade perpendicular

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|--------------|----------------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 1840013.475800 | 460003.368950 | 4.602 | 0.0229 |
| erro | 10 | 999566.757200 | 99956.675720 | | |
| Total corrigido | 14 | 2839580.233000 | | | |
| CV (%) = | 15.71 | | | | |
| Média geral: | 2012.0900000 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela de 8A Análise de variância do módulo de elasticidade paralelo

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|--------------|-----------------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 4155315.398227 | 1038828.849557 | 0.734 | 0.5895 |
| erro | 10 | 14159529.478267 | 1415952.947827 | | |
| Total corrigido | 14 | 18314844.876493 | | | |
| CV (%) = | 24.49 | | | | |
| Média geral: | 4858.4873333 | | Número de observações: | 15 | |

Análise estatística: Aglomerado

Tabela 9A Análise de variância da densidade

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|-----------|------------------------|----------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 0.000435 | 0.000109 | 1.104 | 0.4067 |
| erro | 10 | 0.000986 | 0.000099 | | |
| Total corrigido | 14 | 0.001421 | | | |
| CV (%) = | 1.68 | | | | |
| Média geral: | 0.5916667 | Número de observações: | 15 | | |

Tabela 10A Análise de variância da absorção de água após 2 horas de imersão

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|------------|------------------------|------------|-------|--------|
| TRAT | 3 | 410.439964 | 136.813321 | 1.986 | 0.2047 |
| erro | 7 | 482.188400 | 68.884057 | | |
| Total corrigido | 10 | 892.628364 | | | |
| CV (%) = | 9.69 | | | | |
| Média geral: | 85.6881818 | Número de observações: | 12 | | |

Tabela 11A Análise de variância da absorção de água após 24 horas de imersão

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|------------|------------------------|------------|-------|--------|
| TRAT | 3 | 533.287302 | 177.762434 | 2.191 | 0.1770 |
| erro | 7 | 567.943917 | 81.134845 | | |
| Total corrigido | 10 | 1101.231218 | | | |
| CV (%) = | 9.26 | | | | |
| Média geral: | 97.3027273 | Número de observações: | 12 | | |

Tabela 12A Análise de variância do inchamento em espessura após 2 horas de imersão

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|------------|------------|------------------------|--------|--------|
| TRAT | 3 | 288.400073 | 96.133358 | 11.410 | 0.0044 |
| erro | 7 | 58.980000 | 8.425714 | | |
| Total corrigido | 10 | 347.380073 | | | |
| CV (%) = | 13.31 | | | | |
| Média geral: | 21.8154545 | | Número de observações: | 12 | |

Tabela 12A Análise de variância do inchamento em espessura após 24 horas de imersão

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|------------|------------|------------------------|--------|--------|
| TRAT | 3 | 384.771471 | 128.257157 | 10.264 | 0.0059 |
| erro | 7 | 87.470383 | 12.495769 | | |
| Total corrigido | 10 | 472.241855 | | | |
| CV (%) = | 13.47 | | | | |
| Média geral: | 26.2336364 | | Número de observações: | 12 | |

Tabela 13A Análise de variância da taxa de não retorno em espessura

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|------------|------------|------------------------|--------|--------|
| TRAT | 3 | 123.302089 | 41.100696 | 10.716 | 0.0052 |
| erro | 7 | 26.848183 | 3.835455 | | |
| Total corrigido | 10 | 150.150273 | | | |
| CV (%) = | 11.66 | | | | |
| Média geral: | 16.7945455 | | Número de observações: | 12 | |

Tabela 14A Análise de variância da ligação interna

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|-----------|----------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 1.011550 | 0.252888 | 9.483 | 0.0027 |
| erro | 9 | 0.240000 | 0.026667 | | |
| Total corrigido | 13 | 1.251550 | | | |
| CV (%) = | 36.70 | | | | |
| Média geral: | 0.4450000 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 15A Análise de variância do módulo de ruptura

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|-----------|------------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 313.091343 | 78.272836 | 3.907 | 0.0416 |
| erro | 9 | 180.317400 | 20.035267 | | |
| Total corrigido | 13 | 493.408743 | | | |
| CV (%) = | 49.38 | | | | |
| Média geral: | 9.0642857 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 16A Análise de variância do módulo de elasticidade

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|--------------|----------------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 3429637.430502 | 857409.357626 | 4.045 | 0.0380 |
| erro | 9 | 1907775.736533 | 211975.081837 | | |
| Total corrigido | 13 | 5337413.167036 | | | |
| CV (%) = | 38.59 | | | | |
| Média geral: | 1192.9678571 | | Número de observações: | 15 | |

Análise estatística: OSB

Tabela 17A Análise de variância da densidade

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|-----------|----------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 0.003946 | 0.000987 | 1.835 | 0.1989 |
| erro | 10 | 0.005377 | 0.000538 | | |
| Total corrigido | 14 | 0.009324 | | | |
| CV (%) = | 4.17 | | | | |
| Média geral: | 0.5555333 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 18A Análise de variância da absorção de água após 2 horas de imersão.

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|------------|-------------|------------------------|--------|--------|
| TRAT | 4 | 1754.040067 | 438.510017 | 14.071 | 0.0004 |
| erro | 10 | 311.646933 | 31.164693 | | |
| Total corrigido | 14 | 2065.687000 | | | |
| CV (%) = | 6.12 | | | | |
| Média geral: | 91.1700000 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 19A Análise de variância da absorção de água após 24 horas de imersão.

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|-------------|-------------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 4254.080373 | 1063.520093 | 7.215 | 0.0053 |
| erro | 10 | 1474.067800 | 147.406780 | | |
| Total corrigido | 14 | 5728.148173 | | | |
| CV (%) = | 11.80 | | | | |
| Média geral: | 102.8986667 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 20A Análise de variância do inchamento em espessura após 2 horas de imersão.

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|------------|------------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 354.366227 | 88.591557 | 9.397 | 0.0020 |
| erro | 10 | 94.279333 | 9.427933 | | |
| Total corrigido | 14 | 448.645560 | | | |
| CV (%) = | 20.73 | | | | |
| Média geral: | 14.8140000 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 21A Análise de variância do inchamento em espessura após 24 horas de imersão.

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|------------|------------|------------------------|--------|--------|
| TRAT | 4 | 596.372040 | 149.093010 | 19.900 | 0.0001 |
| erro | 10 | 74.921133 | 7.492113 | | |
| Total corrigido | 14 | 671.293173 | | | |
| CV (%) = | 13.91 | | | | |
| Média geral: | 19.6813333 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 22A Análise de variância da taxa de não retorno em espessura.

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|------------|------------|------------------------|--------|--------|
| TRAT | 4 | 547.242893 | 136.810723 | 11.335 | 0.0010 |
| erro | 10 | 120.702867 | 12.070287 | | |
| Total corrigido | 14 | 667.945760 | | | |
| CV (%) = | 22.79 | | | | |
| Média geral: | 15.2460000 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 23A Análise de variância da ligação interna

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|-----------|----------|------------------------|--------|--------|
| TRAT | 4 | 0.361267 | 0.090317 | 10.437 | 0.0014 |
| erro | 10 | 0.086533 | 0.008653 | | |
| Total corrigido | 14 | 0.447800 | | | |
| CV (%) = | 32.08 | | | | |
| Média geral: | 0.2900000 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 24A Análise de variância do módulo de elasticidade paralelo

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|--------------|----------------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 2620114.630160 | 655028.657540 | 3.289 | 0.0577 |
| erro | 10 | 1991440.364533 | 199144.036453 | | |
| Total corrigido | 14 | 4611554.994693 | | | |
| CV (%) = | 15.19 | | | | |
| Média geral: | 2938.2793333 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 25A Análise de variância do módulo de elasticidade perpendicular

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|--------------|----------------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 196843.077440 | 49210.769360 | 0.368 | 0.8261 |
| erro | 10 | 1337097.294733 | 133709.729473 | | |
| Total corrigido | 14 | 1533940.372173 | | | |
| CV (%) = | 27.58 | | | | |
| Média geral: | 1325.7186667 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 26A Análise de variância do módulo de ruptura perpendicular

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|------------|------------|------------------------|-------|--------|
| TRAT | 4 | 28.265240 | 7.066310 | 0.513 | 0.7279 |
| erro | 10 | 137.661133 | 13.766113 | | |
| Total corrigido | 14 | 165.926373 | | | |
| CV (%) = | 26.75 | | | | |
| Média geral: | 13.8686667 | | Número de observações: | 15 | |

Tabela 27A Análise de variância do módulo de ruptura paralelo

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|-----------------|------------|------------|------------------------|--------|--------|
| TRAT | 4 | 611.869027 | 152.967257 | 11.782 | 0.0008 |
| erro | 10 | 129.832867 | 12.983287 | | |
| Total corrigido | 14 | 741.701893 | | | |
| CV (%) = | 18.68 | | | | |
| Média geral: | 19.2873333 | | Número de observações: | 15 | |