



ANTÔNIA AMANDA DA SILVA CÉSAR

**ESTUDO DA INTERAÇÃO ADESIVO-
PARTÍCULA EM PAINÉIS OSB
(*ORIENTED STRAND BOARD*)**

LAVRAS – MG

2011

ANTÔNIA AMANDA DA SILVA CÉSAR

**ESTUDO DA INTERAÇÃO ADESIVO-PARTÍCULA EM PAINÉIS OSB
(*ORIENTED STRAND BOARD*)**

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. Lourival Marin Mendes

Coorientador

Dr. Fábio Akira Mori

LAVRAS – MG

2011

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

César, Antônia Amanda da Silva.

Estudo da interação adesivo-partícula em painéis OSB (Oriented Strand Board) / Antônia Amanda da Silva César. – Lavras : UFLA, 2011.

88 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2011.

Orientador: Lourival Marin Mendes.

Bibliografia.

1. Painéis particulados. 2. Ângulos de contato. 3. Tratamento químico. 4. Adesão. 5. Superfície de contato. 6. Partículas strand. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.836

ANTÔNIA AMANDA DA SILVA CÉSAR

**ESTUDO DA INTERAÇÃO ADESIVO-PARTÍCULA EM PAINÉIS OSB
(*ORIENTED STRAND BOARD*)**

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 em 25 de fevereiro de 2011.

Dr. José Benedito Guimarães Júnior	UFPI
Dr. Gustavo Henrique Denzin Tonoli	UFLA
Dr. Fábio Akira Mori	UFLA
Dr. Lourival Marin Mendes	UFLA

Dr. Lourival Marin Mendes
Orientador

LAVRAS – MG

2011

*Aos meus pais, Antônio Armando e Benedita, por todo tempo, amor, carinho,
compreensão, apoio e afagos despendidos para que eu chegasse até aqui.*

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, em especial ao Departamento de Ciências Florestais e ao setor de Ciência e Tecnologia da Madeira, pela oportunidade concedida.

À Capes, pela concessão da bolsa de estudos.

À Embrapa- São Carlos, por ter permitido o uso do aparelho de medição do ângulo de contato.

Ao meu orientador, Lourival Marin Mendes, por toda ajuda, apoio e conselhos, mas, principalmente, por acreditar no meu potencial.

Ao professor Gustavo Tonoli, por todo apoio técnico nessa reta final e pelas boas dicas recebidas.

A todos os professores da Ciência e Tecnologia da Madeira, por todo conhecimento compartilhado.

Aos participantes da, José Guimarães, Fábio Akira, Gustavo Tonoli e Paulo Trugilho, por terem aceitado meu convite.

À secretária do Programa de Pós-Graduação, Cris, por toda paciência com a minha falta de paciência na resolução de toda a burocracia.

Aos funcionários da UFLA, Carlos e Zé Fazenda, pela ajuda no manuseio do material.

Às colegas Cláudia, Cassiana e Alessandra, por toda a ajuda com a anatomia.

A todos os integrantes do Núcleo de Estudos em Painéis de Madeira que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste trabalho. Em especial, a Wilson, Fernanda, Caroline, Mário, Danillo, Lina e Cecília, por todo suor e sangue, em alguns casos literalmente, derramados.

A minha irmã Lidiane, por toda ajuda com a língua portuguesa.

Ao Thiago, por todo apoio técnico nas questões estatísticas.

Ao José Benedito, que, mesmo longe, me deu boas ideias e contribuiu para a melhoria do trabalho.

Aos colegas de mestrado, em especial Jeimy, Sylvia, Bárbara e Ney, pelos bons momentos de estudo compartilhados.

Aos meus grandes amigos Cris, Ric e Art, por me aguentarem durante as minhas crises de “não vou dar conta”, por enxugarem minhas lágrimas e me mandarem sacudir a poeira e dar a volta por cima.

A toda a minha família, pois saber que se orgulham me dá forças para alçar voos cada vez mais altos.

E, por fim, a Deus, pois foi ele que me cedeu forças para finalizar este trabalho.

A dúvida é o princípio da sabedoria (Aristóteles)

RESUMO

O painel OSB vem ganhando mercado e sua produção com qualidade passa pela necessidade de uma adesão satisfatória. Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar a interação que existe entre as partículas “strand” e o adesivo fenol-formaldeído, relacionando esta interação com a qualidade final da colagem no painel. Foram utilizadas árvores de *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis*, as quais tiveram sua densidade básica, constituição química e características anatômicas avaliadas. Partículas do tipo “strand” foram geradas em moinho de disco. Estas partículas foram tratadas com hidróxido de sódio a 1,5%, ácido acético a 1,5% e água destilada, em todos os casos, por um período de 24 horas. Adicionalmente, partículas não tratadas foram avaliadas como testemunha. Realizou-se a medição do ângulo de contato do adesivo fenol-formaldeído com a superfície das partículas, selecionando-se partículas oriundas do cerne e alburno para *Eucalyptus grandis* e dos lenhos inicial e tardio para *Pinus oocarpa*. Realizou-se também a mensuração da quantidade de adesivo aplicado nas partículas pela medição das suas dimensões e massa, antes e após o processo de encolamento. Para tanto, as partículas foram divididas em grupos referentes à proporção de adesivo recebido. Produziram-se painéis OSB com fenol-formaldeído nas proporções de 6%, 9% e 12%, para as duas espécies em estudo. As variáveis do ciclo de prensagem foram pressão de 3,92 MPa e temperatura de 150°C, durante 8 minutos. Após a confecção, os painéis produzidos foram reduzidos a corpos de prova que foram climatizados até massa constante para a realização do teste de tração perpendicular. Os teores de adesivo não influenciaram significativamente a quantidade efetiva de adesivo aplicado, mas foram significativos para gramatura. Já os grupos de aplicação do adesivo foram significativos para ambas as variáveis. Para a espécie *Pinus oocarpa*, o lenho inicial apresentou menor ângulo de contato com o adesivo, enquanto, para a espécie *Eucalyptus grandis*, menores ângulos foram encontrados para o alburno. Os tratamentos químicos realizados nas partículas, para ambas as espécies estudadas, causaram modificações na superfície das partículas e reduziram o ângulo de contato, possivelmente pela retirada de parte dos extrativos presentes. Os tratamentos com ácido acético e hidróxido de sódio foram os que apresentaram maior eficiência de redução do ângulo de contato. No teste de tração perpendicular, se adequaram à norma CSA 0437-0 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION - CSA, 1993) os painéis produzidos com a espécie *Eucalyptus grandis*, com os teores de adesivo de 9% e 12% e, para *Pinus oocarpa*, teor de 12%. A interação entre a partícula e o adesivo mostrou-se complexa, principalmente devido à necessidade de controle na homogeneidade da aplicação do adesivo.

É necessário um maior detalhamento das modificações sofridas pelos extrativos, devido ao tratamento químico das partículas.

Palavras-chave: Painéis particulados. Ângulo de contato. Tratamentos químicos. Adesão. Adesivo. Superfície de contato.

ABSTRACT

The market of OSB panels has enhanced and the production of high quality products requires satisfactory adhesion. This work aimed to evaluate the interaction between strand particles and phenol-formaldehyde adhesive in order to relate this interaction with the final quality of the panel. *Pinus oocarpa* and *Eucalyptus grandis* trees were used and had their basic density, chemical composition and anatomical properties determined. Strand particles were obtained in disc mill and. The following chemical treatments were applied to the particles: sodium hydroxide at 1,5%, acetic acid at 1,5% distilled water during 24 hours. Moreover, non-treated particles were evaluated as control. Contact angles measurements with particle surfaces were preceded by selecting particles from heartwood and sapwood for *Eucalyptus oocarpa* and spring wood and late wood for *Pinus oocarpa*. The adhesive amount per particles values were obtained by measuring dimensions and mass before and after gluing. To allow the analyses, the particles were divided into groups which corresponded to adhesive proportion. OSB panels were produced with phenol-formaldehyde adhesive at 6, 9 and 12% for both species. The pressing cycle variables were: pressure of 3,92 MPa and temperature of 150°C during 8 minutes. After the production, the panels were transformed in samples which were acclimatized until constant mass for perpendicular traction. Average results for basic density were 0,456 g/cm³ for *Pinus oocarpa* and 0,510 g/cm³ for *Eucalyptus grandis*. Adhesive contents did not significantly influenced effective amount of adhesive applied, but they were significant for glue amount. Adhesive application groups were significant for both variables. For *Pinus oocarpa* species, spring wood presented lower contact angle, while lower angles were observed for sapwood of *Eucalyptus grandis*. Chemical treatments applied to the particles of both species caused changed in the particle surfaces and decreased the contact angle possibly due to extraction of a portion of extractives. Acetic acid and sodium hydroxide were more efficient in reducing contact angle. Panels made from *Eucalyptus grandis* and adhesive at 9 and 12% and panels made from *Pinus oocarpa* and adhesive at 12% presented perpendicular traction values that met CSA 0437-0 (CANADIAN STANDARD ASSOCIATION - CSA, 1993) standard requirement. *Pinus oocarpa* had lower basic density and lower perpendicular traction. The interaction between particle and adhesive was very complex, mostly due to need to control homogeneity of adhesive application. More details about the modifications suffered by the extractives due to chemical treatment of the particles are needed.

Keywords: Particleboards. Angle contact. Chemical treatments. Adhesion. Adhesive. Surface contact.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	16
2.1	Painéis OSB	16
2.2	Partículas “strand”	19
2.3	Adesivo	20
2.4	Adesão e teorias da adesão	24
2.5	Influência da anatomia na colagem	26
2.6	Estudo da molhabilidade	27
2.7	Tratamentos químicos visando melhorias na colagem	30
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	31
3.1	Caracterização do material de estudo	31
3.1.1	Madeira	31
3.1.1.1	Coleta e preparo do material	31
3.1.1.2	Densidade básica	32
3.1.1.3	Análise química	33
3.1.1.4	Caracterização anatômica	34
3.2	Adesivo	35
3.2.1	Gel time	36
3.2.2	Viscosidade	36
3.2.3	TEOR DE SÓLIDOS	36
3.2.4	PH	37
3.3	Geração das partículas “strand”	37
3.4	Medição do ângulo de contato.....	38
3.5	Mensuração da quantidade de adesivo aplicado	42
3.6	Produção dos painéis osb e teste de tração perpendicular	46
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
4.1	Caracterização da madeira utilizada	49
4.1.1	Densidade básica	49
4.1.2	Análise química	52
4.1.3	Caracterização anatômica	54
4.1.3.1	<i>Eucalyptus grandis</i>	54
4.1.3.2	<i>Pinus oocarpa</i>	57
4.2	Caracterização do adesivo fenol-formaldeído	60
4.3	Análise dos ângulos de contato.....	61
4.4	Análise da quantidade de adesivo aplicado	69
4.4.1	Gramatura de adesivo	69
4.4.2	Quantidade efetiva de adesivo aplicado (QEA).....	73
4.5	Parâmetros analisados no painel	74
4.5.1	Umidade média dos painéis	74

4.5.2	Densidade e razão de compactação dos painéis.....	75
4.5.3	Tração perpendicular	76
5	CONCLUSÃO	80
	REFERÊNCIAS	81

1 INTRODUÇÃO

O que, em grande parte, justifica a produção e a utilização dos painéis de madeira reconstituída é o fato de que este processo resulta na minimização dos efeitos provocados pela anisotropia, diminuição de fatores que reduzem a resistência, tais como nós e inclinação da grã, e menor variabilidade que se verifica entre as peças de madeira maciça. É importante ressaltar que essa dinâmica só é válida quando se tem em vista um agente eficiente que promova a união entre os materiais de madeira que foram reduzidos em dimensão. Neste caso, há a necessidade do uso de adesivos que propiciem esse elo.

Nos últimos anos, ocorreu um grande aumento na produção e na utilização de painéis de madeira, no que se refere ao mundo e ao Brasil. A produção mundial de particulados, no ano de 2009, atingiu a ordem de 92.010.711,0 de m³ (FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS - FAO, 2009), indicando a importância econômica dessas chapas, na atualidade. A produção nacional atual de OSB utiliza predominantemente madeira de *Pinus*. No entanto, com a crescente demanda desse produto e sendo a madeira de *Pinus* largamente utilizada para diversas outras finalidades, seu estoque, que atualmente se encontra por volta de 1.795,0 mil ha de área plantada (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2010), pode não ser suficiente, sendo necessário, então, buscar novas espécies que possam se adequar ao processo. Segundo a ABRAF (2010), o gênero *Eucalyptus* tem 4.516,0 mil ha de estoque de florestas e pode ser essa alternativa, sendo necessário estudar o comportamento desta espécie na produção de painéis OSB.

Dos itens que compõem o painel OSB, têm-se as partículas “strand” de madeira, parafina e o adesivo. Este último componente da chapa é o que representa o maior encarecimento final do produto, sendo considerado, pelas

indústrias de painéis, como o seu “gargalo”. Nesse sentido, a otimização da quantidade de adesivo a ser aplicado na chapa de forma eficiente se faz de suma importância. Para que isso possa se concretizar, é necessário conhecer as propriedades das partículas e determinar a quantidade de adesivo que efetivamente é aplicado no painel, além do quanto desse adesivo está inserido em média por partícula. Isso é necessário para que a adesão possa se processar de forma adequada e para baratear custos da produção, uma vez que o adesivo é um componente de alto custo para a produção dos painéis.

As teorias atualmente relacionadas à adesão levam em consideração quase que exclusivamente os painéis laminados, sendo os estudos extrapolados para os demais painéis. Isso leva a imprecisões, pois o processo de adesão entre laminados e demais painéis é muito diferenciado. Dentre essas diferenças, destacam-se o tamanho diferenciado dos elementos de madeira; o processo de encolamento; a forma de deposição do adesivo, que pode ser contínua na lâmina e por aspersão de microgotícula nas partículas; a existência de um número maior de pontos de colagem entre as laminas do que entre as partículas e a maior área superficial a ser colada nos particulados com relação aos laminados. Portanto, um estudo minucioso das relações entre o adesivo e o aderente para os particulados se faz de extrema importância para que se possam utilizar esses recursos de forma otimizada.

Este trabalho foi realizado com o objetivo geral de avaliar a interação adesivo-partícula na produção de painéis *oriented strand board* ou OSB. Os objetivos específicos foram:

- a) caracterizar a anatomia, química e fisicamente, do material de estudo;
- b) avaliar a quantidade média de adesivo aplicado por partícula “strand”;

- c) verificar a interação partícula-adesivo, por medida do ângulo de contato;
- d) verificar a influência dos tratamentos químicos nos ângulos de contato;
- e) avaliar a tração perpendicular nos painéis OSB.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Painéis OSB

A produção em escala industrial de chapas de partículas estruturais teve início na década de 1970, nos Estados Unidos, com a denominação comercial de “waferboard” (painéis de partículas denominadas “wafer”). As chapas eram produzidas com partículas de dimensões maiores em relação às utilizadas nos aglomerados convencionais, porém, com a mesma distribuição aleatória no processo de formação do colchão (IWAKIRI et al., 2003).

Segundo Ford-Robertson (1971) e Maloney (1996), o *oriented strand board*, ou OSB, é um painel de partículas de madeira orientadas e coladas com adesivo à prova d’água sob prensagem a quente. Foi desenvolvido para aplicações estruturais, sendo considerado como uma segunda geração dos painéis “waferboard”, e é produzido a partir de partículas “strands” de madeira. Trata-se de um painel de partículas de madeira orientadas, finas e longas “strands” consolidadas pelo uso de adesivo, calor e pressão.

Segundo Tsoumis (1991), esse tipo de painel é tipicamente formado por três camadas; nas externas, as partículas de madeira são orientadas paralelamente na direção de formação do painel e na interna, a orientação é perpendicular em relação às faces. Na essência, o OSB é similar ao compensado, no que diz respeito à forma de construção, e sua resistência e rigidez à flexão estática e sua estabilidade dimensional são similares.

De acordo com Sellers (2001), o adesivo mais utilizado na produção do OSB é o fenol-formaldeído, entretanto, o uso de isocianato vem crescendo, embora o custo seja maior.

As chapas OSB são produtos utilizados para aplicações estruturais, como paredes, forros, pisos, componentes de vigas, embalagens, etc., tendo em

vista suas características de resistência mecânica e boa estabilidade dimensional, competindo diretamente com o mercado de compensados. A utilização de chapas OSB tem crescido significativamente e ocupado espaço antes exclusivo de compensados em virtude de fatores, como (1) redução da disponibilidade de toras de boa qualidade para laminação; (2) pode ser produzido a partir de toras de qualidade inferior e de espécies de baixo valor comercial e (3) a largura das chapas é determinada pela tecnologia de produção e não em função do comprimento das toras, como no caso de compensados (IWAKIRI, 1999). Essa tendência é nítida no mercado norte-americano de painéis de madeira, enquanto no Brasil o mercado do OSB ainda é incipiente. Porém, com o início da produção de 350.000 m³/ano, em janeiro de 2002, pela Masisa, em Ponta Grossa, PR, já se pode observar a capacidade agressiva de ganho de mercado deste produto (IWAKIRI et al., 2003).

Os painéis OSB podem ser obtidos a partir de madeiras provenientes de desbastes e de troncos finos e tortuosos, bem como de espécies de menor valor comercial. Competem com os compensados, que requerem toras de alta qualidade para a sua manufatura e, por isso, são de custo relativamente superior (WALKER, 1993).

Como no compensado, as propriedades da madeira são otimizadas quando se produzem painéis do tipo OSB, em razão ao posicionamento dos flocos com as partículas em duas direções preferenciais, perpendiculares entre si, conferindo-lhe maior resistência, quando comparados com outros painéis de partículas (EINSFELD, 1998).

As vantagens da utilização desse tipo de painel em relação à madeira sólida são muitas e residem, especialmente, nos aspectos de rendimento em relação ao volume das toras, diminuição da anisotropia, utilização de madeiras de reflorestamento de rápido crescimento e madeiras de densidade média que, na

produção do painel, conferem rigidez suficiente para a aplicação estrutural (MENDES; ALBUQUERQUE, 2000).

De acordo com Maloney (1993), vários são os fatores que influenciam na qualidade final dos OSB. Os mais importantes são aqueles inerentes à madeira e ao processo de produção dos painéis, pois suas possíveis variações poderão influenciar o comportamento das propriedades físicas e mecânicas. As principais variáveis relacionadas à madeira e ao processo estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 Principais variáveis relacionadas à manufatura de particulados

Inerentes à madeira	Inerentes ao processo
Espécies	Massa específica dos painéis
Massa específica da madeira	Razão de compactação
pH	Composição dos painéis
Teor de umidade	Adesivo e parafina
Extrativos	Dimensão e orientação das partículas
Local de crescimento	Umidade das partículas
Idade cambial	Tempo de fechamento da prensa e de prensagem
Elementos estranhos	Temperatura de prensagem
Forma do tronco	Pressão específica

Fonte: Maloney (1993)

Em qualquer processo industrial, a escolha da espécie é um fator importante na qualidade do produto final. Dossa (2005) comenta que os pinus, em geral, são utilizados em vários segmentos industriais, devido ao seu crescimento rápido e à boa qualidade da madeira. Estima-se que aproximadamente três mil empresas no Brasil, localizadas principalmente nas regiões sul e sudeste, utilizem os pinus nos seus processos produtivos, concentrando-se nos seguintes produtos: indústria de madeira serrada, celulose e papel, painéis – compensados, MDF e OSB (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA - SBS, 2007).

O mercado de OSB no Brasil utiliza predominantemente madeira de pinus. A Masisa, empresa do setor, utiliza 100% de pinus reflorestado e disponibiliza para o mercado interno 68 mil m³ de OSB e 181 mil m³ para o mercado externo (SBS, 2007). Diversas pesquisas na produção de painéis OSB utilizando outras espécies vêm sendo desenvolvidas. Cabral et al. (2006), Iwakiri et al. (2004, 2007) e Mendes et al. (2007) são alguns dos autores que estudaram espécies do gênero *Eucalyptus* para este uso.

2.2 Partículas “strand”

Segundo Cloutier (1998), a geometria das partículas “strand” é uma das variáveis mais importantes na produção de painéis OSB.

A relação entre o comprimento e a espessura das partículas, denominada de razão de esbeltez, influencia diretamente o aumento da resistência do painel OSB à flexão estática. Por outro lado, com o aumento na espessura das partículas, mantendo-se o comprimento constante, ocorre o aumento da disponibilidade de adesivo por unidade de área superficial para um mesmo teor de adesivo, resultando em maiores valores de ligação interna (MALONEY, 1993).

O comprimento e a largura das partículas são parâmetros que controlam o grau de orientação na formação dos painéis OSB. Geimer (1976) afirma que partículas do tipo “strand” proporcionam melhor orientação que partículas do tipo “sliver” ou “flake”, possivelmente devido às suas características peculiares de comprimento e largura (retangular).

Segundo Maloney (1977), a relação entre o comprimento e a largura das partículas deve ser de, no mínimo, três para proporcionar boa orientação das partículas no painel, sendo esta relação utilizada por Marra (1992) para classificar as partículas “strand”.

Sobral Filho (1979) ressalva que a largura das partículas também tem sido um parâmetro de estudo. Entretanto, parece que sua influência não é tão significativa como a do comprimento e a da espessura.

2.3 Adesivo

De acordo com Marra (1992), adesivo é uma substância com propriedades aderentes, ou seja, um material que é capaz de manter unidos outros materiais em suas superfícies. Este mesmo autor ainda relata que substrato é o termo utilizado para substâncias que são unidas por adesivos.

Os adesivos podem ser naturais ou sintéticos. Os naturais podem ser de proteínas de origem animal (albumina, glutina e caseína) ou vegetal (soja, batata, trigo e látex). Os adesivos sintéticos são polímeros feitos pelo homem que se assemelham a adesivos naturais nas características físicas, mas que podem ser adaptados para atender a requisitos específicos em trabalhos com madeira e possuem maior resistência à água (ECKELMAN, 1997).

Os adesivos sintéticos podem ser separados em duas categorias: termofixos e termoplásticos. Segundo Eckelman (1997), os adesivos termofixos dependem da condensação em reações de polimerização em que a água é eliminada. Durante a reação de *cross linking*, o adesivo passa por processos químicos e físicos irreversíveis que o tornam insolúvel. Essa reação pode ser iniciada por um processo químico ou térmico ou por ambos. Ureia-formaldeído, fenol-formaldeído e melamina-formaldeído pertencem a esse grupo.

As colas adesivas para madeira têm desempenhado papel importante no desenvolvimento e no crescimento da indústria de produtos florestais e têm sido um fator chave na eficiência de utilização de produtos madeireiros. De longe, a maioria dos usos de adesivos de madeira tem sido na fabricação de materiais

para construção, como compensados, aglomerados, chapas de fibras, laminados etc. (VICK, 1999).

Os principais adesivos empregados na fabricação de painéis à base de madeira são os sintéticos, destacando-se o fenol-formaldeído, o resorcinol-formaldeído, a ureia-formaldeído e a melamina-formaldeído. Estes quatro somam, aproximadamente, 90% de todos os adesivos utilizados em painéis de madeira, sendo todos eles derivados de combustíveis fósseis (CAMPOS; LAHR, 2005).

De acordo com Tsoumis (1991), o adesivo fenol-formaldeído passou a ser produzido comercialmente por volta de 1930. Marra (1992) ainda relata que esse adesivo apresenta como característica principal a alta resistência à umidade, sendo classificado como de uso externo. Destina-se, principalmente, à produção de compensados à prova d'água, chapas de aglomerados estruturais “waferboard” e OSB, vigas laminadas e construção de barcos, entre outros.

O adesivo fenol-formaldeído apresenta as seguintes características, segundo Iwakiri (2005): coloração marrom-avermelhado, teor de sólidos na faixa de 47%, pH de 11 a 13, viscosidade entre 300 a 600cp, temperatura de cura na faixa de 130° a 150°C e vida útil em armazenagem de 4 a 5 meses, à temperatura de 20°C. Na Figura 1 pode-se visualizar o polímero do adesivo fenol-formaldeído.

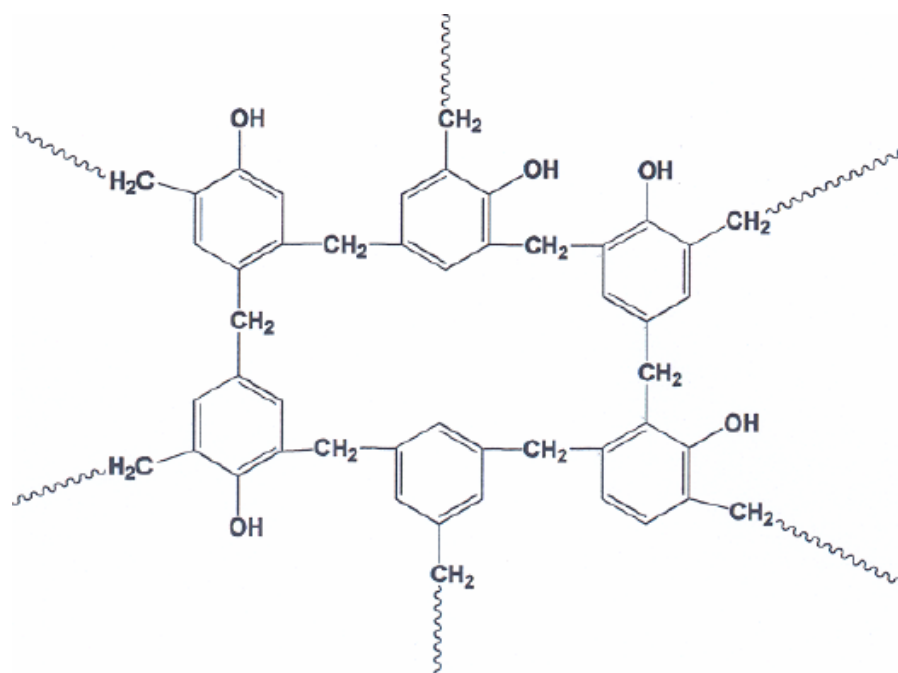


Figura 1 Polímero do adesivo fenol-formaldeído

A significativa diferença de porosidade entre lenho inicial e tardio, e a pequena proximidade entre estas duas zonas na superfície da madeira são causadoras de uma das maiores dificuldades a superar na formulação de adesivos. A otimização da movimentação do adesivo, numa face de semelhante variabilidade superficial, necessita muito da tolerância das características de mobilidade do adesivo. Em muitos casos, o adesivo não pode fazer tudo, mas deve ser auxiliado por algum fator operacional sob controle do usuário, tal como tempo de montagem (MARRA, 1992). Segundo o mesmo autor, esta estrutura diferenciada pode ocasionar problemas relativos à penetração de adesivos, à linha de cola “faminta” ou “espessa”, o que é contornável pela alteração na formulação do adesivo. Já a viscosidade é dificultada pela variabilidade causada pelos diferentes planos de corte conseguidos na obtenção dos elementos de madeira.

Quanto ao teor de adesivo, é importante enfatizar que o adesivo é o componente de painéis aglomerados de custo mais elevado, devendo, portanto, ser utilizado na menor quantidade possível, desde que não prejudique as propriedades físicas e mecânicas dos painéis (BUFALINO, 2010). Dessa forma, de acordo com Marra (1960 citado por LEHMANN, 1970), o adesivo necessita ser aplicado somente nas porções das partículas que entrarão em contato com outras partículas; adesivo em excesso aumenta o custo do painel e permanece entre as partículas, sem função específica.

Em se tratando da adesão em painéis OSB, a propriedade que mede o grau de adesão entre as partículas é a chamada ligação interna ou tração perpendicular. A ruptura ocorre normalmente na porção média da sua espessura, a qual corresponde à região de menor densidade e ligação entre as partículas (IWAKIRI, 1989). De acordo com Szabo e Gaudert (1978), o teste de ligação interna ou tração perpendicular à superfície da chapa expressa o grau de adesão entre as partículas e mostra onde está localizada a superfície de maior fragilidade no interior da chapa.

Em geral, a literatura menciona que, com o aumento da densidade dos painéis, do conteúdo de adesivo, do tempo e da temperatura de prensagem, ocorre um aumento na resistência da tração perpendicular. No entanto, existem algumas controvérsias em relação ao efeito de determinadas variáveis de processamento na tração perpendicular. Vital, Lehmann e Boone (1974) não encontraram correlação definida entre tração perpendicular e densidade dos painéis.

Outro fator que interfere na propriedade de tração perpendicular é a adição de parafina ao painel. Essa aplicação é muito importante para a estabilidade dimensional dos mesmos. Todavia, ela promove, segundo Winistorfer, McFarland e Richard (1992), uma redução na tração perpendicular dos painéis OSB.

2.4 Adesão e teorias da adesão

A adesão é um fenômeno físico-químico que provém de um mecanismo entre superfícies sólidas e uma segunda fase, que consiste de partículas individuais, como moléculas, pequenas gotas, pó ou, ainda, de uma película contínua, líquida ou sólida (PIZZI, 1994). O processo de adesão é que leva à união, permanente ou não, entre dois corpos.

Segundo Vick (1999), a adesão é o estado em que duas superfícies são ligadas por forças interfaciais constituídas por forças da camada de valência, ações de enganchamento (*interlocking*) ou por ambas.

As forças da camada de valência são forças de atração produzidas pela interação entre átomos, moléculas e íons que existem na superfície do adesivo e do substrato. As ações de enganchamento são ações mecânicas formadas quando o adesivo, enquanto líquido, penetra nos poros do substrato, formando ganchos que os mantêm ligados após a solidificação (VICK, 1999).

Na colagem de superfícies porosas, como a madeira, Marra (1992) comenta que o processo inicial é feito mecanicamente. A penetração do adesivo na célula, preenchendo espaços intercelulares vazios, aumenta a durabilidade da ligação na madeira, principalmente quando ele é difundido nas moléculas de celulose e hemicelulose. Segundo o autor, quanto mais profunda a penetração do adesivo mais resistente é a ligação, podendo até exceder a resistência da madeira. Os mecanismos que se relacionam com o processo de adesão podem ser explicados pelas teorias mecânica, de adesão química e de difusão de polímeros (MARRA, 1992), da seguinte maneira:

- a) teoria mecânica: de acordo com Schutz e Nardin (1994), o adesivo líquido, devido à sua fluidez, penetra em substratos porosos (lâmina, partícula, fibra de madeira), ocorrendo posteriormente a solidificação, com a formação de “ganchos” fortemente presos entre

os substratos. Todavia essa teoria passou a ser questionada principalmente pelo fato de alguns substratos não apresentarem porosidade, como vidro, metais e até mesmo algumas espécies de madeira de alta densidade, e proporcionarem colagem satisfatória. Nesse sentido, não se têm explicações para esse fato. A grande maioria dos autores sugere que o processo de adesão ocorre em decorrência da combinação das três teorias de adesão, e não de uma delas isoladamente;

- b) teoria da difusão de polímeros: a adesão ocorre por meio da difusão de segmentos de cadeias de polímeros em âmbito molecular. Segundo Schultz e Nardin (1994), essa teoria é de suma importância, uma vez que está diretamente ligada à penetração e à solidificação do adesivo, que estão estritamente relacionados ao tempo de contato, à temperatura e à massa molecular dos polímeros. Em consequência, refletirá na resistência da linha de cola;
- c) teoria da adesão química: Marra (1992) relata que esse tipo de adesão ocorre por meio de ligações primárias, iônicas ou covalentes, e/ou por forças intermoleculares secundárias. Kinloch (1987) relata que a reação química produz uma ligação muito forte, em que os materiais colados não podem ser quebrados sem danificar os materiais já ligados.

A adesão é um campo complexo que vai muito além de qualquer modelo ou teoria. Dado o excesso de fatores que afetam a adesão, diversos mecanismos de adesão podem ocorrer simultaneamente (SCHUTZ; NARDIN, 1994).

2.5 Influência da anatomia na colagem

Iwakiri (2005) cita que as propriedades anatômicas da madeira estão relacionadas à condição de movimentação do adesivo para o interior da estrutura da madeira. Sendo assim, a influência da anatomia da madeira no desempenho da colagem está intrinsecamente relacionada à porosidade e à permeabilidade. Marra (1992) corrobora esta opinião, afirmando que quando se consideram as propriedades anatômicas da madeira, seus efeitos sobre o movimento dos adesivos estão simplesmente atrelados à estrutura de madeira, ou seja, à capacidade de penetração.

Segundo Kollman, Kuenzi e Stamm (1975) e Marra (1992), as propriedades anatômicas da madeira têm um nítido efeito nas ligas adesivas e, geralmente, as madeiras de folhosas apresentam mais dificuldades do que as coníferas. As propriedades anatômicas da madeira têm significativa influência na colagem de madeiras, a exemplo da variabilidade na densidade e porosidade que ocorre em lenho inicial e tardio, cerne e alburno, e lenho juvenil e adulto. Igualmente, destaca-se a influência da instabilidade dimensional do lenho de reação, assim como o da direção da grã, em que a penetrabilidade se relaciona com a direção de corte (IWAKIRI, 1998).

A significativa diferença de porosidade entre lenho inicial e tardio, e a pequena proximidade entre estas duas zonas na superfície da madeira são causadoras de uma das maiores dificuldades a se superar na formulação de adesivos (MARRA, 1992). A otimização da movimentação do adesivo, numa face de semelhante variabilidade superficial, necessita muito da tolerância das características de mobilidade do adesivo. Em muitos casos, o adesivo não pode fazer tudo, mas deve ser auxiliado por algum fator operacional sob controle do usuário, tal como o tempo de montagem (MARRA, 1992). Esta estrutura diferenciada pode ocasionar problemas relativos à penetração de adesivos, à

linha de cola “faminta” ou “espessa”, o que é contornável pela alteração na formulação do adesivo. Já a viscosidade é dificultada pela variabilidade causada pelos diferentes planos de corte obtidos na obtenção dos elementos de madeira (IWAKIRI, 1998).

Outro grande fator de variabilidade entre diversos tipos de madeira, causador de muitos problemas de colagem, é relativo à idade e às condições de crescimento das árvores. Com a idade, ocorrem mudanças químicas na madeira. Enquanto estes aparecem, primeiramente como mudanças físicas, eles também alteram a porosidade aparente da madeira, afetando a mobilidade de adesivos (MARRA, 1992).

2.6 Estudo da molhabilidade

Molhabilidade é a capacidade de um líquido de estabelecer um contato íntimo com a superfície da madeira, sendo esta característica muito influenciada pela energia livre da superfície (JENNINGS, 2003). Segundo o mesmo autor, baixa energia livre na superfície da madeira leva as moléculas do líquido a serem atraídas por outras moléculas do mesmo líquido, mais do que pelas moléculas da madeira. Este estado caracteriza-se pela ocorrência de um grande ângulo de contato. Por outro lado, alta energia superficial na madeira leva as moléculas do líquido a serem mais atraídas pelas moléculas da superfície da madeira, estado que se caracteriza por um pequeno ângulo de contato e é um indicativo de boa molhabilidade da madeira.

Dentre os métodos mais comuns para a medição do ângulo de contato de líquidos sobre superfícies sólidas, estão o método da bolha de ar presa, a placa inclinada de Wihelmy e a técnica mais tradicionalmente utilizada e que se baseia na observação do perfil da gota do líquido depositada sobre o sólido, também chamada de gota séssil (CHAN, 1994; SHEIKL; DUNKY, 1998).

A madeira não é um material fácil de extrair medidas de ângulo de contato devido a três aspectos que são: a sua porosidade favorece o espalhamento ou absorção do líquido (LIPTAKOVA; KUDELA, 1994); o líquido da gotícula pode ser contaminado com extrativos, alterando as relações de energia da superfície e conseqüentemente o ângulo (WALINDER; JOHANSON, 2001) e pode ocorrer o fenômeno de histerese, segundo o qual a alta rugosidade superficial influencia as bordas da gotícula, formando maior ou menor grau (CHAN, 1994).

Na Figura 2 está ilustrada esquematicamente a medida do ângulo de contato entre a superfície da madeira e a linha tangente à interface ar-sólido-líquido.

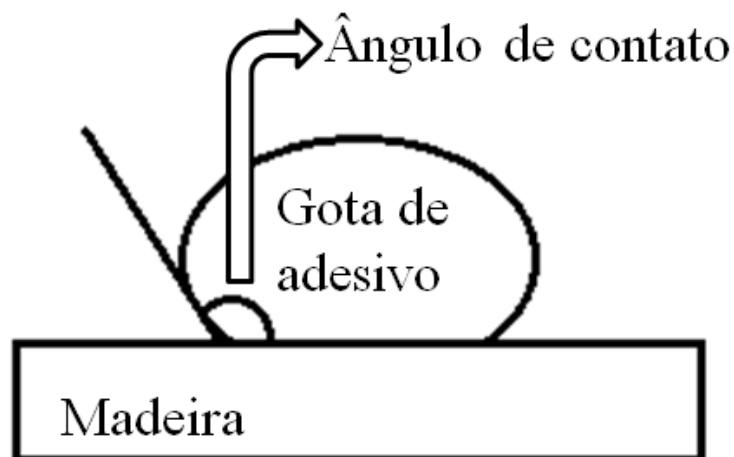


Figura 2 Esquema do ângulo de contato formado pelo líquido sobre a superfície da madeira. Neste caso, um grande ângulo formado

Os ângulos de contato podem ser influenciados, de acordo com Jennings (2003), por diversos fatores, como tensão superficial do líquido, energia de superfície da madeira, rugosidade superficial da madeira, viscosidade do líquido,

porosidade da madeira e orientação com relação à grã. A porosidade, por exemplo, impede que a gota se equilibre e mantenha sua conformação, permitindo a penetração do líquido na madeira. Segundo Gindl (2004), além desses fatores, tratamentos químicos ou físicos da superfície, tipo de corte, condição de armazenamento, limpeza, métodos de secagem, posição anatômica e tipo de corte também influenciam.

Segundo Gardner et al. (1991), características como rugosidade superficial podem alterar a linha de contato entre a gota de líquido e o sólido considerado. O mesmo autor fez uma comparação entre a superfície normal porosa da madeira e a superfície selada, onde os espaços vazios foram preenchidos e verificou um decréscimo do ângulo de contato em função da redução da rugosidade microscópica superficial.

O período de medição do ângulo de contato é muito influenciado pela porosidade, já que, dependendo da porosidade em um curto período de tempo, o líquido, se possuir baixa energia, pode penetrar totalmente na estrutura da madeira (JENNINGS, 2003). Segundo Liptakova e Sarvas (1998), o ideal é realizar a medição no tempo zero, ou inicial e no tempo de equilíbrio, sendo este definido como o ponto quando todas as irregularidades presentes na superfície da madeira forem completamente preenchidas pelo líquido e cessar o recuo ou avanço do ângulo.

De acordo com Marra (1992), na formação da interface de colagem, o adesivo realiza cinco ações de movimento de suma importância para o processamento da colagem, também chamado de funções de mobilidade do adesivo, que são: fluidez, transferência, penetração, umedecimento e solidificação. Nesse sentido, a medição do ângulo de contato está mais relacionada com a primeira função descrita pelo autor.

2.7 Tratamentos químicos visando melhorias na colagem

De acordo com Christiansen (1990) e Hancock (1962), uma quantidade substancial de pesquisas abordou a influência dos extrativos sobre as propriedades adesivas da madeira. Em compósitos de madeira aglomerada com adesivos convencionais do tipo fenol-formaldeído, constatou-se que a força de ligação decresce com a presença de extrativos na superfície da madeira. Liu e Rials (1998) realizaram extração na madeira com acetona, água, diclorometano, etanol e benzeno e constataram que todos removeram parcialmente e seletivamente alguns dos extrativos, resultando, assim, em um aumento da energia superficial da madeira, conseqüentemente, melhorando a molhabilidade, que afeta a qualidade da colagem.

Marcati e Della-Lucia (1996) realizaram lavagem com NaOH na superfície da madeira de angico-vermelho com a intenção de eliminar o excesso de extrativos e propiciar à junta uma melhor colagem. Constataram que, com esse procedimento, a resistência ao cisalhamento aumentou significativamente quando utilizaram o adesivo PVAc.

Yasar et al. (2010) trataram partículas de caule de videira com ácido acético 1%, hidróxido de sódio 1% e água destilada, e produziram painéis aglomerados. Os autores verificaram que o teor de extrativos e lignina diminuiu em todos os tratamentos, reduzindo o ângulo de contato e melhorando as propriedades das chapas.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Caracterização do material de estudo

3.1.1 Madeira

3.1.1.1 Coleta e preparo do material

Foram utilizadas três árvores de *Pinus oocarpa* e três de *Eucalyptus grandis*, com idades de 25 e 15 anos, respectivamente, localizadas no campus da Universidade Federal de Lavras, em Lavras, MG. A cidade de Lavras está localizada nas coordenadas 21°14'S de latitude e 45°00'W de longitude e a altitude média é de 900 m. A precipitação média anual está em torno de 1.400 mm e a temperatura média anual é de 19,4 °C.

Após o abate, o fuste das árvores foi dividido em secções menores, em percentagens, em relação à sua altura comercial (0%, DAP, 25%, 50%, 75% e 100%). Nestes locais, foram retirados discos para a realização da propriedade de densidade básica e análise química.

Após a obtenção dos discos, os mesmos foram levados à marcenaria para a confecção dos corpos de prova, com o auxílio de uma serra de fita. Cada disco foi seccionado em quatro partes, tendo duas cunhas opostas menores sido utilizadas para a determinação da densidade básica e as outras duas para análise química. A retirada de amostras no disco pode ser visualizada na Figura 3.



Figura 3 Cunhas opostas retiradas em cada disco coletado

Para análise anatômica, apenas no disco do DAP foram confeccionados corpos de prova, nas dimensões de 2,0 cm na secção tangencial, 2,0 cm na secção radial e 2,0 cm na secção transversal, na região de transição entre cerne e alburno, como pode ser visto na Figura 4.

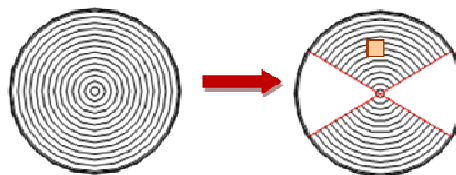


Figura 4 Esquema ilustrativo da retirada dos corpos de prova para anatomia

3.1.1.2 Densidade básica

Para a determinação da densidade básica, é necessário que os corpos de prova adquiram o máximo volume permitido por sua estrutura. Para tanto, os mesmos foram imersos em água. Após totalmente saturados, mediu-se o volume de cada um pelo método descrito por Kollmann e Cotê (1986) modificado, sendo utilizado para isso um béquer com água destilada, suporte universal e garra para procedimento de análise.

Após a obtenção do volume, os corpos de prova foram levados para uma estufa a $105\pm 3^{\circ}\text{C}$, até atingirem massa absolutamente seca. Dessa forma, o cálculo da densidade básica foi efetuado pela divisão entre massa absolutamente seca pelo volume saturado.

3.1.1.3 Análise química

As demais cunhas foram transformadas em elementos menores, do tamanho de aparas que foram retiradas na plaina e, posteriormente, levadas para o moinho do tipo Willey para serem transformadas em serragem. Esta serragem foi separada em peneiras sobrepostas de 40 e 60 mesh, sendo utilizada para análise somente a fração que ficou retida na peneira de 60 mesh. As amostras foram então armazenadas em frascos e levadas à sala de climatização com condições de temperatura de $20\pm 2^{\circ}\text{C}$ e umidade de $65\pm 3\%$, até o momento que apresentaram massa constante.

A análise química foi realizada de acordo com as metodologias apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 Composição química e método de determinação

Teor	Metodologia utilizada
Lignina solúvel	Goldschimid (1971)
Lignina insolúvel	Gomide e Demuner (1986)
Extrativos totais	Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel - ABTCP (1974) M3/69
Cinzas	ABTCP (1974) M11/77
Holocelulose	Por diferença

Foram utilizadas três repetições para a análise química. Cada repetição correspondeu à homogeneização de material retirado em todas as posições de

todas as árvores coletadas para cada espécie no momento da confecção do painel.

3.1.1.4 Caracterização anatômica

Os corpos de provas foram colocados em um dessecador com água, sendo adicionado vácuo até amolecimento da madeira para seccionamento no micrótomo.

Devido à alta densidade, a madeira de *Eucalyptus grandis* foi submetida ao cozimento prévio em autoclave, à temperatura de 120°C, por 15 minutos, em um recipiente contendo glicerina.

As secções anatômicas foram adquiridas com o auxílio de um micrótomo de deslize tipo Reichert, com espessuras de corte variando de 17 µm, nos planos tangenciais e radiais, a de 18 µm, no plano transversal. As secções foram cuidadosamente mantidas entre lâminas umedecidas com água destilada e glicerina, até o momento da submissão à série alcoólica.

A metodologia utilizada na confecção das lâminas foi a descrita por Burger e Richter (1991). Os cortes foram clarificados em hipoclorito de sódio a 2,0%, depois lavados em álcool a 20%. Em seguida, foram corados com safranina hidroalcoólica (proporção 1 g de safranina para 50 ml de álcool e 50 ml de água destilada), desidratados em série alcoólica progressiva: 50%, 70%, 80%, 100%, álcool 100% e acetato de butila na proporção 3:1, 1:1 e acetato de butila 100%.

Terminada a série, os cortes histológicos mantidos em acetato de butila foram aparados com auxílio de um bisturi e posteriormente montados sobre a lâmina e a lamínula, sendo estas fixadas em Entellan. Para cada espécie estudada montaram-se três lâminas.

A dissociação dos elementos celulares foi realizada segundo o método de Franklin (1945). Para tal, retiraram-se, com o auxílio de um estilete, fragmentos do lenho dos corpos de provas secos ao ar livre. No plano longitudinal tangencial estes foram depositados em um recipiente de vidro fechado, com capacidade de 20 ml, juntamente com 10 ml de uma solução de ácido acético e peróxido de hidrogênio na proporção de 1:1; deixando-se macerar por um período mínimo de 24 horas em estufa, à temperatura de 60°C.

Após o branqueamento do material, o mesmo foi retirado da estufa e lavado por diversas vezes em água corrente, utilizando-se uma malha fina para a lavagem. Os cortes foram armazenados em água destilada para que a substância macerante fosse completamente removida. No intuito de melhor visualizar os elementos dissociados, adicionaram-se três gotas de safranina hidroalcoólica ao macerado.

A mensuração dos constituintes celulares do lenho foi realizada com o auxílio do software *Wincel Regent PRO*, de concepção canadense, sob uma base amostral de trinta medições de cada característica. Adotou-se a terminologia recomendada por International Association of Wood Anatomists - IAWA (1989), em que os caracteres anatômicos do lenho foram descritos com o auxílio de um microscópio ótico Olympus BX-41, no Laboratório de Anatomia da Madeira da Universidade Federal de Lavras.

3.2 Adesivo

O adesivo utilizado neste trabalho foi o fenol-formaldeído, fornecido pela empresa Derquin S.A. ao Laboratório Experimental de Painéis de Madeira, localizado no campus da Universidade Federal de Lavras. Para a utilização do adesivo em todas as etapas deste experimento, procedeu-se à diluição do mesmo utilizando-se 10% de água destilada. O adesivo então diluído teve as

propriedades de gel *time*, teor de sólidos, viscosidade e pH medidos. Para todos estes testes, realizaram-se quatro medições para gerar o valor médio de uma repetição, sendo consideradas, então, doze medições que geraram três valores médios para cada repetição em cada propriedade.

3.2.1 Gel time

O tempo de gelatinização foi feito com o uso de um tubo de ensaio, no qual foram colocados 5 g do adesivo. Esse conjunto foi imerso em glicerina à temperatura de 130°C. Por meio de uma haste, o líquido foi constantemente agitado com movimento vertical até a sua parada, em função do aumento na resistência do adesivo ao atingir a “fase de gel”. O tempo decorrido foi anotado, sendo correspondente à cura ou gel *time* do adesivo fenol-formaldeído.

3.2.2 Viscosidade

Para a determinação da viscosidade, utilizou-se o método de copo graduado “cup-method” ou “ford”, para medição do tempo de passagem do líquido pelo orifício do copo. A viscosidade é calculada em Centipoase (cP).

3.2.3 Teor de sólidos

A determinação do teor de sólidos foi realizada pesando-se 1 g do adesivo, secando na estufa à temperatura de 103±3°C, por 3 horas e deixando esfriar em dessecador, por 15 minutos. Logo após, procedeu-se novamente à pesagem. O teor de sólidos percentual foi calculado pela diferença entre a massa inicial e final dividida pela massa inicial.

3.2.4 pH

O pH de uma solução aquosa é definido como a concentração de íons dissociados de H^+ e OH^- e a sua determinação foi feita pela leitura direta em aparelho denominado pHmetro ou potenciômetro.

3.3 Geração das partículas “strand”

As toras da madeira de *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis* foram encaminhadas à Unidade de Desdobro e Secagem da Madeira, na Universidade Federal de Lavras (UFLA). Para que não houvesse interferência das diferentes propriedades dentro da espécie e indivíduos (lenho inicial e tardio, cerne e alburno, lenho juvenil e adulto, dentre outros), procedeu-se à retirada de blocos centrais da madeira (pranchão central), o que proporcionou captação de toda a variabilidade do tronco. A partir dos pranchões foram retiradas tábuas, das quais foram gerados cavacos de tamanho reduzido, em serra circular, para posterior obtenção de partículas “strand”. Os cavacos foram submersos em água para total saturação e facilitação do corte.

Após saturação, os cavacos foram levados ao moinho de discos para a geração das partículas do tipo “strand” na espessura de 0,7mm, como pode ser visualizado na Figura 5.



Figura 5 Geração das partículas “strand” em moinho de disco

3.4 Medição do ângulo de contato

Os ângulos de contato entre a superfície sólida (partícula “strand”) e a gota de adesivo fenol-formaldeído foram medidos. Para tanto, foi utilizado o planejamento experimental mostrado na Tabela 3.

Tabela 3 Plano experimental dos tratamentos realizados para a medição do ângulo de contato

Espécie	Tratamentos	Tempo
<i>Pinus oocarpa</i>	Testemunha	Inicial
	Água destilada	
	CH ₃ COOH 1,5% NaOH 1,5%	
<i>Pinus oocarpa</i>	Testemunha	Final
	Água destilada	
	CH ₃ COOH 1,5% NaOH 1,5%	
<i>Eucalyptus grandis</i>	Testemunha	Inicial
	Água destilada	
	CH ₃ COOH 1,5% NaOH 1,5%	
<i>Eucalyptus grandis</i>	Testemunha	Final
	Água destilada	
	CH ₃ COOH 1,5% NaOH 1,5%	

Foram selecionadas as partículas de superfícies mais homogêneas, separando-se as pertencentes às posições cerne e alburno e lenho tardio e lenho inicial, para *Eucalyptus grandis* e *Pinus oocarpa*, respectivamente. As partículas receberam os tratamentos descritos na Tabela 3 pelo período de 24 horas à temperatura ambiente, para todos os tratamentos com três repetições cada, como ilustrado na Figura 6A.

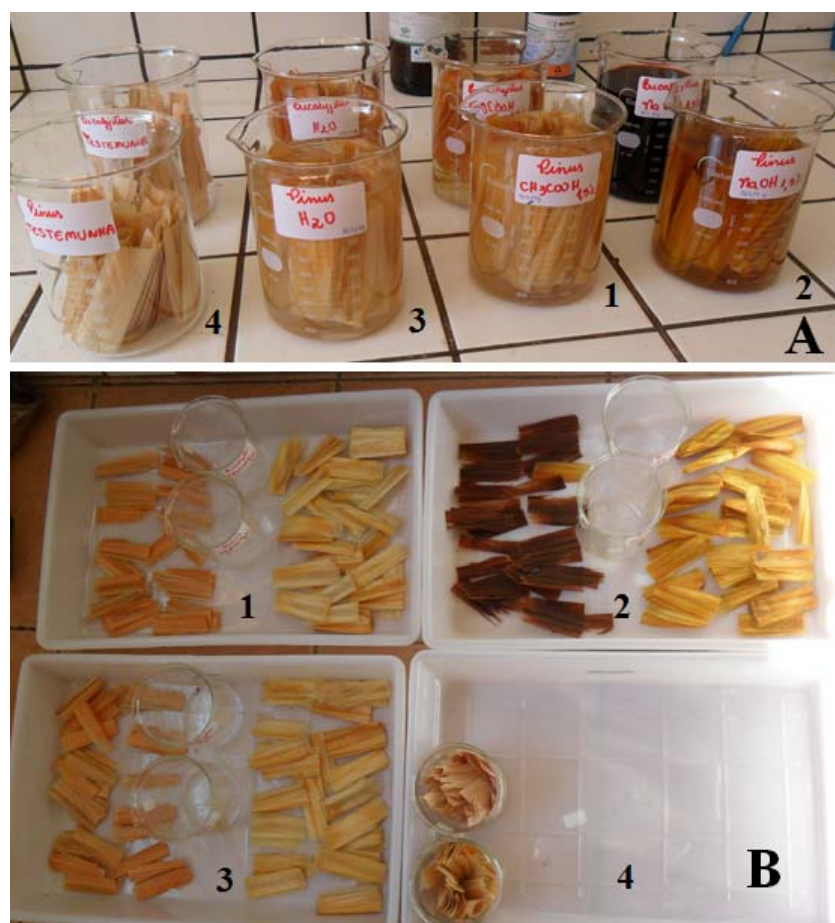


Figura 6 A) Partículas imersas nos diferentes tratamentos propostos e B) partículas sendo secas ao ar livre, sendo 1 = ácido acético, 2 = hidróxido de sódio, 3 = água destilada e 4 = sem tratamento

Decorrido este tempo, as partículas foram secas ao ar livre por um período de 72 horas e só então levadas à estufa, até atingirem um conteúdo de umidade de 3% base massa seca, como pode ser visto na Figura 6B. Mensuraram-se, então, a molhabilidade das partículas de *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis*, visando verificar a eficiência de modificação da superfície pelos líquidos utilizados no tratamento das partículas e a interação entre as partículas e o adesivo. As medições dos ângulos de contato foram realizadas

depositando-se gotas do adesivo fenol-formaldeído sobre as diferentes partículas. O aparato utilizado foi um medidor de ângulo de contato KSV CAM101 contact angle, originário da Finlândia, que captura, em média, 30 imagens por segundo e se encontra na Embrapa São Carlos, em São Carlos, SP. As condições de coleta dos dados em laboratório foram: umidade relativa 60% e temperatura 24,5°C. O aparato para a medição do ângulo de contato está ilustrado na Figura 7.

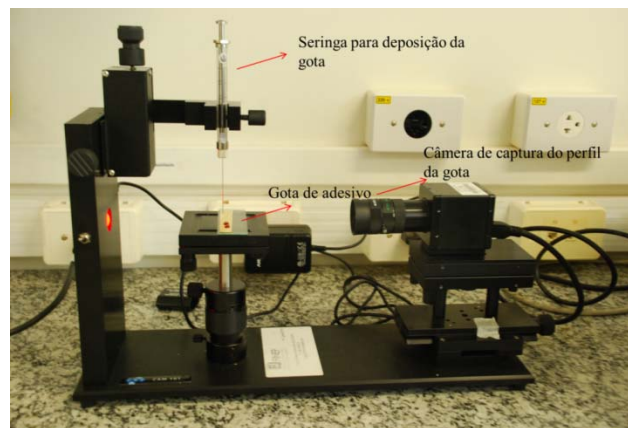


Figura 7 Aparelho utilizado na medição do ângulo de contato

Desta coleta de dados resultam imagens do ângulo ao longo do tempo, como pode ser visualizado na Figura 8.

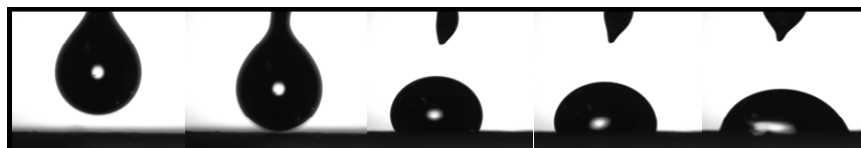


Figura 8 Imagem da gota de adesivo sendo depositada e seu comportamento ao longo do tempo sequencialmente da esquerda para direita

Em virtude da acomodação das forças que ocorre ao longo do tempo, foram considerados neste trabalho um tempo inicial (tempo 1) de deposição da gota e um tempo final onde a gota já está estabilizada (tempo 2), como descrito na Tabela 3.

A análise dos dados foi realizada pela ANOVA montada em experimento fatorial, em que o fator A foram as espécies utilizadas, o fator B os tratamentos realizados nas partículas e o fator C, os tempos inicial e final de medição. O software utilizado foi o SISVAR. Como todos os fatores são qualitativos, realizou-se teste de médias Scott-Knnot, a 5% de significância.

3.5 Mensuração da quantidade de adesivo aplicado

As partículas foram secas até aproximadamente 3% de umidade, com base na massa seca e peneiradas para a retirada de finos. A partir de então, elas foram armazenadas em sacos plásticos lacrados para que a umidade fosse mantida até o momento de produção do painel.

O adesivo utilizado foi o fenol-formaldeído, sendo inserido na massa do painel nas porcentagens de 6%, 9% e 12%, com base no teor de sólidos. O adesivo foi aplicado dentro de um tambor giratório. No interior deste equipamento se encontra uma pistola que realiza a aspersão das microgotículas do adesivo nas partículas por meio de ar comprimido. Esse equipamento pode ser visualizado na Figura 9.



Figura 9 Equipamento encolador

Antes da produção dos painéis, foram retiradas, de cada saco, trinta partículas, que receberam numeração e contorno de seu perímetro, e, posteriormente, tiveram suas massas iniciais aferidas por meio de balança com precisão de 0,00001 g.

Após o processo de encolamento, essas partículas foram novamente pesadas.

A diferença de massa verificada foi considerada como a quantidade efetiva de adesivo que foi aspergido nessas partículas (equação 1).

$$QEA = \left(\frac{mf - mi}{mi} \right) \times 100 \quad (1)$$

em que

QEA = quantidade efetiva de adesivo aplicado por partícula (%)

MF = massa final (g).

mi = massa inicial (g).

A quantidade de adesivo aplicado por área de partícula foi calculada por meio da Equação 2. Para tanto, foram também medidos nestas partículas amostradas a largura e o comprimento, utilizando-se para isso uma régua milimétrica.

$$Gr = \left(\frac{mf - mi}{A} \right) \quad (2)$$

em que

Gr= gramatura (g/m²)

mf= massa final (g)

mi= massa inicial (g)

A= área da partícula (m²)

Na Tabela 4 observa-se o planejamento experimental utilizado para a obtenção dos valores de quantidade efetiva de adesivo e gramatura, em relação à percentagem de adesivo aplicado no painel.

Tabela 4 Planejamento experimental para a mensuração de massa e dimensão das partículas

Espécie	Adesivo FF (%)	Grupo	Número de painéis	Partículas amostradas
<i>Pinus oocarpa</i>	6	1 a 4	4	30
	9			
	12			
<i>Eucalyptus grandis</i>	6			
	9			
	12			

Na Figura 10 ilustra-se a divisão em grupos das partículas. Essa amostragem foi realizada após o encolamento em função da quantidade visual de adesivo que a partícula recebeu, levando-se em consideração a análise da frente e do verso das partículas.

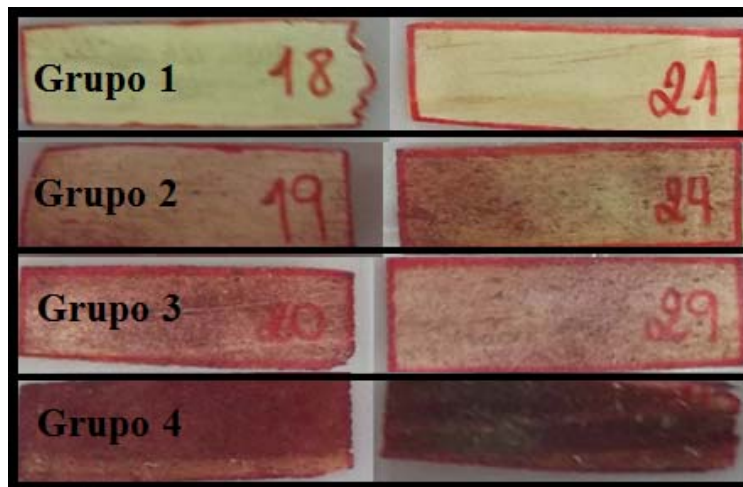


Figura 10 Exemplos de partículas distribuídas entre os quatro grupos

As partículas que tiveram, durante o processo de encolamento, suas bordas quebradas foram descartadas, visto que a diferença de massa considerada peso de adesivo foi comprometida nessas partículas. Na Figura 11, observam-se as partículas marcadas para um dos painéis produzidos, antes e após a deposição de adesivo.



Figura 11 Partículas antes e após o encolamento

A análise dos dados foi realizada pela ANOVA montada em experimento fatorial, em que o fator A foram os teores de adesivo fenol-formaldeído aplicados e o fator B, os grupos criados por meio de visualização da quantidade de adesivo que a partícula recebeu. O software utilizado foi o SISVAR. Para o fator qualitativo grupo, quando significativo, realizou-se o teste de médias Scott-Knott, a 5% de significância. Já para o fator quantitativo teor de adesivo, quando significativo, utilizou-se regressão.

3.6 Produção dos painéis OSB e teste de tração perpendicular

A partir do encolamento, as partículas foram distribuídas no colchão em camadas perpendiculares entre si, com diferentes proporções de massa de material no sentido face/miolo/face (25%/ 50%/ 25% da massa total do painel), utilizando-se um orientador de partículas proposto por Mendes (2001).

O colchão foi então pré-prensado com uma pressão de 0,78 MPa, em uma prensa manual. O processo de prensagem foi feito em uma prensa hidráulica automática, tendo as variáveis do ciclo sido temperatura de 150°C e pressão de 3,92 MPa, por um período de 8 minutos. Os painéis foram produzidos com adesivo fenol-formaldeído e densidade de 0,700 g/cm². O planejamento experimental está descrito na Tabela 5.

Tabela 5 Planejamento experimental da produção dos painéis OSB

Espécie	Adesivo FF (%)	Número de painéis
<i>Pinus oocarpa</i>	6	4
	9	
	12	
<i>Eucalyptus grandis</i>	6	4
	9	
	12	

Os painéis foram reduzidos a corpos de prova para teste de tração perpendicular. A densidade a razão de compactação e a umidade após acondicionamento foram determinadas segundo a norma ASTM D1037 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, 1996). Os corpos de prova foram acondicionados em sala de climatização com condições de umidade e temperatura controladas ($20\pm 2^\circ\text{C}$ e $65\pm 3\%$ de UR) até massa constante. Os ensaios de tração foram realizados de acordo com a norma CSA 0437-0 (CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION - CSA, 1993).

Os resultados da tração perpendicular foram comparados com a norma CSA 0437-0 (CSA, 1993) para as duas espécies utilizadas, para os diferentes teores de adesivo aplicado.

A análise dos dados foi realizada pela ANOVA montada em experimento fatorial, em que o fator A foram as espécies utilizadas e o fator B,

os teores de adesivo aplicado. O software utilizado foi o R. Para o fator qualitativo espécie, quando significativo, procedeu-se realização de teste de médias Scott-Knnot, a 5% de significância. Já para o fator quantitativo teor de adesivo, quando significativo, procedeu-se à regressão.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização da madeira utilizada

4.1.1 Densidade básica

Na Tabela 6 estão apresentadas as médias de densidade básica da madeira de *Eucalyptus grandis* e *Pinus oocarpa*. Os valores médios de densidade básica encontrada para as três árvores serviram de base para os cálculos dos painéis, uma vez que, após o desdobro, o material proveniente das três árvores foi homogeneizado por espécie para utilização na produção das partículas.

Tabela 6 Valores de densidade básica ponderada para *Eucalyptus grandis* e *Pinus oocarpa*

Árvore	<i>Eucalyptus grandis</i>	<i>Pinus oocarpa</i>
	-----g/cm ³ -----	
1	0,489	0,469
2	0,494	0,458
3	0,547	0,442
Desvio padrão	0,032	0,014
CV (%)	6,302	2,975

No Gráfico 1 está ilustrada graficamente a diferença estatística (teste Scott-Knott, a 5% de significância) da densidade básica média para as duas espécies.

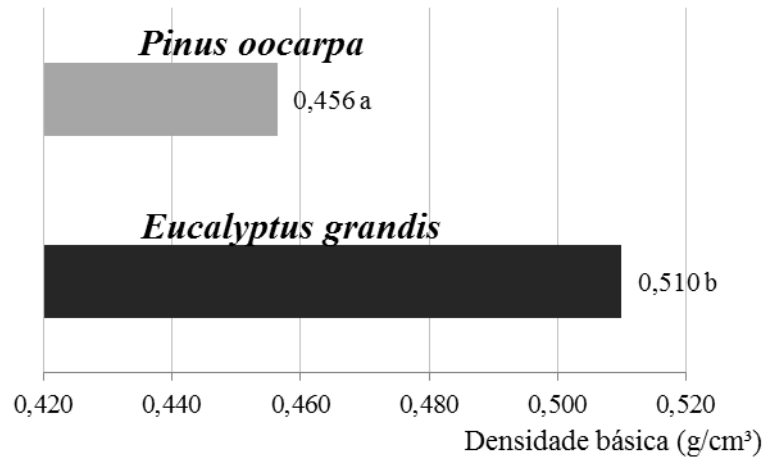


Gráfico 1 Valores médios de densidade básica para *Eucalyptus grandis* e *Pinus oocarpa*

Segundo Maloney (1993) e Moslemi (1974), espécies de madeira que apresentem densidade de até 0,550 g/cm³ são as mais recomendadas para a produção de painéis particulados. De acordo com esta afirmação, as espécies utilizadas neste estudo se adequam ao processo.

A densidade básica ponderada de *Eucalyptus grandis* é estatisticamente superior ao resultado encontrado para *Pinus oocarpa*. A densidade média ponderada de *Pinus oocarpa* ficou entre 0,442 e 0,469 g/cm³. Estes valores estão próximos aos encontrados por Dell-Mennezi, Souza e Gonçalves (1996), Foekel et al. (1975) e Sampaio, Resende e Araújo (2002), os quais relataram, respectivamente, valores médios de 0,460 g/cm³, 0,408 g/cm³ e 0,441 g/cm. Já os valores de densidade básica para *Eucalyptus grandis* variaram de 0,489 a 0,547 g/cm³, faixa que se encontra em acordo com os resultados encontrados por Carneiro et al. (2004) e Tomazello Filho (1985), de 0,434 e 0,560 g/cm³, respectivamente.

Vick (1999) relata que a densidade é, talvez, um indicador bruto, mas é útil para estimar a colabilidade de uma grande variedade de espécies de madeira. Marra (1992) aborda a influência da densidade na colagem da madeira sob dois aspectos. Uma delas está relacionada à estabilidade dimensional da madeira. Quanto maior sua massa específica, maior a alteração dimensional devido às mudanças em seu teor de umidade e, com isso, ocorre um aumento na tensão exercida na linha de colagem. Outro aspecto é quanto à quantidade de espaços vazios em função da densidade básica. Quanto maior a densidade, mais espessas as paredes das células e, por consequência, menor a quantidade de espaços vazios na madeira. Dessa forma, a penetração do adesivo será maior em madeiras de baixa densidade quando comparadas com madeiras de alta densidade.

Segundo Carvalho (2005), a densidade é um reflexo fiel da quantidade de matéria lenhosa por unidade de volume ou, de forma inversa, do volume de espaços vazios existentes na madeira. Sendo assim, pode-se afirmar que a madeira de *Pinus oocarpa* tem maior quantidade de espaços vazios e espera-se que apresente maior facilidade à penetração de líquidos.

As variações de densidade entre as diversas espécies de madeira ocorrem devido às diferentes espessuras da parede celular, das dimensões das células, das inter-relações entre esses dois fatores e da quantidade de componentes ocasionais presentes por unidade de volume. As diferenças estruturais são obtidas por meio da quantificação proporcional de diferentes tipos de células, tais como fibras, traqueídeos, vasos, canais resiníferos, raios da madeira e suas dimensões, especialmente a espessura das paredes celulares (KOLLMANN; COTÉ JUNIOR, 1986; VITAL, 1984). Apenas o fato de as espécies trabalhadas pertencerem a grupos distintos, gimnospermas e angiospermas dicotiledôneas, respectivamente, para *Eucalyptus grandis* e *Pinus oocarpa*, já era esperada uma variação na densidade básica de ambas.

4.1.2 Análise química

Na Tabela 7 podem-se visualizar os resultados obtidos com a análise química das espécies estudadas. No Gráfico 2, observa-se o gráfico de acúmulo, em termos percentuais, dos componentes químicos da madeira, com análise estatística para cada componente químico entre as duas espécies, pelo teste Scott-Knott, a 5% de significância.

Tabela 7 Resultados quantitativos dos componentes químicos da madeira para *Eucalyptus grandis* e *Pinus oocarpa*

Árvore	<i>Pinus oocarpa</i>				<i>Eucalyptus grandis</i>			
	Ex	Lig	Cinz	Holo	Ex	Lig	Cinz	Holo
	-----%-----							
1	4,74	32,21	0,17	62,88	4,09	28,19	0,24	67,32
2	4,67	29,99	0,20	64,98	4,12	28,46	0,23	66,97
3	4,75	31,76	0,22	63,27	3,99	27,95	0,16	68,02
DesvPad	0,04	1,17	0,03	1,12	0,07	0,26	0,04	0,53
CV (%)	0,92	3,75	12,80	1,75	1,67	0,90	20,76	0,79

Ex: extrativos totais; Lig: lignina; Cinz: cinzas; Holo: holocelulose; DesvPad: desvio padrão; CV: coeficiente de variação

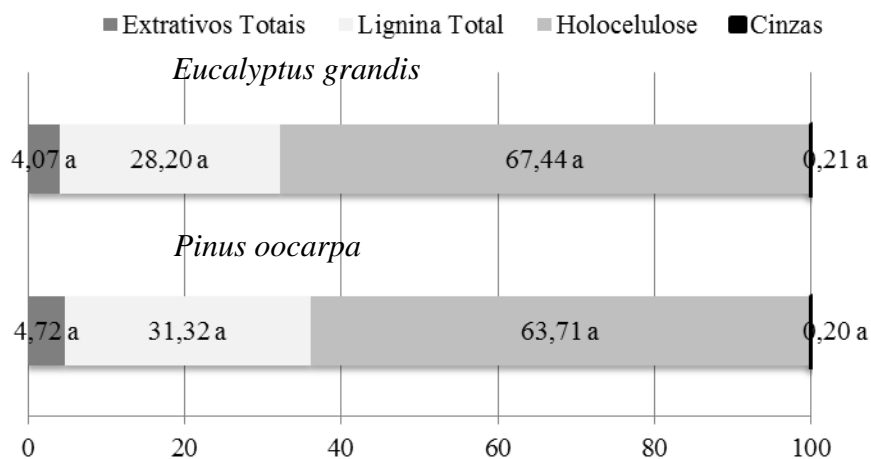


Gráfico 2 Gráfico da distribuição percentual dos constituintes químicos da madeira de *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis*

Não houve diferença estatística entre as duas espécies para nenhum dos componentes químicos analisados. Os valores médios encontrados para os teores dos componentes químicos estão próximos ao encontrado na literatura. Tomazello, Barrichelo e Costa (1985) encontraram, para *Pinus oocarpa* com 11 anos de idade, valor médio de 3,6% de extrativos totais, sendo um pouco inferior ao valor observado neste trabalho, o que pode ter ocorrido devido à diferença de idade apresentada pelo material. Já Prata (2010), trabalhando com *Pinus oocarpa* de 18 anos de idade, encontrou 0,19% de cinzas, 7,34% de extrativos totais e 31,94% de lignina, estando os teores de cinzas e lignina muito próximos aos deste trabalho e o de extrativos totais um pouco superior. A causa dessa diferença é, possivelmente, o sítio de crescimento das árvores.

Para *Eucalyptus grandis*, Andrade et al. (2010), trabalhando com árvores de 8 anos de idade, encontraram valores de extrativos totais de 4%, lignina total de 23,5% e holocelulose de 75%. O resultado para extrativos encontra-se em acordo com o obtido neste trabalho, porém, os valores de holocelulose e lignina foram diferentes. Já Trugilho, Lima e Mori (2003) encontraram valores de

extrativos totais de 6,71%, de lignina total de 31,77% e de holocelulose de 61,52%, resultados próximos dos encontrados neste trabalho, excetuando-se apenas extrativos totais, em que o valor foi muito superior. Essa diferença pode ter resultado do sítio, já que a quantidade e o tipo de nutrientes disponíveis para a planta influenciam o teor de extrativos.

Em termos de adesão, o teor de extrativos totais é o valor mais relevante, pois a presença desses componentes pode prejudicar a interação adesivo-madeira. É importante enfatizar que, embora os valores de extrativos totais tenham sido superiores para a espécie *Pinus oocarpa*, essa superioridade não é relevante, visto que não houve diferença estatística entre as duas espécies para a quantidade de extrativos totais. Vale lembrar que o tipo de extrativo também pode influenciar a interação do adesivo com a madeira, podendo interferir ou não no processo de colagem.

4.1.3 Caracterização anatômica

4.1.3.1 *Eucalyptus grandis*

Características macroscópicas

Cerne distinto do alburno, com coloração marrom. Camadas de crescimento distintas. Textura fina. Grã espiralada. Cheiro característico e agradável.

Características microscópicas

Vasos: Porosidade: difusa uniforme; arranjo: diagonal; agrupamento: predominantemente solitário (91,10%), com baixa ocorrência de múltiplo de dois e três, com 8,67% e 0,22%, respectivamente. Apresenta frequência de número de vasos numerosos, com valor médio de 30,75 mm², mínimo de 18,00

mm², máximo de 41,00 e desvio padrão foi 4,49 mm²; Diâmetro tangencial do lúmen: médios. Valor médio de 110,00 µm, mínimo 40,73 µm, máximo de 167,63 µm e desvio padrão 30,40 µm. Forma da secção: arredondada; comprimentos dos elementos vasculares: variando de 131,02 µm a 645,25 µm, sendo valor médio de 363,57 µm e desvio padrão 104,81 µm; apêndices presentes em uma e em ambas as extremidades; placas de perfuração: simples; obstrução dos vasos: por tilos ou tiloses, abundantes; pontuações intervasculares e raio-vasculares do tipo simples e de arranjo alternas; formas circular para oval. **Fibras:** Fibras do tipo libriformes; comprimento: curtas, variando de 481,99 µm a 1.400,29 µm, correspondendo aos valores mínimos e máximos, respectivamente. O valor médio foi de 963,91 µm e o desvio padrão de 160,93 µm; espessura da parede celular apresenta fibras com paredes delgadas a espessas, variando de 2,97 µm a 8,02 µm; o valor médio foi de 4,94 µm e o desvio padrão, 0,91 µm. Quanto ao lume, este apresenta valores de 5,69 a 14,42 µm, média de 10,10 µm e desvio padrão de 1,99 µm. Presença de raras fibras septadas. **Parênquima axial:** paratraqueal escasso; vasicêntrico. **Raios:** parênquima radial: composto por células heterogêneas, com dois tipos, procumbente e quadradas, sendo a primeira de maior ocorrência. As procumbentes estão dispostas entre as quadradas, sendo essas últimas localizadas nas margens; largura dos raios: predominantemente bisseriados e unisseriados com, respectivamente, 54,44% e 44,44%, ocorrendo ocasionalmente trisseriado (1,11%), sendo estes extremamente finos, variando de 10,71 µm a 36,90 µm. Valor médio de 18,69 µm e desvio padrão de 5,40 µm. Quanto à altura, são extremamente baixos, variando de 0,09 mm a 0,42 mm. Valor médio de 0,21 mm e desvio padrão de 0,08 mm; frequência: variando de 10,00 mm² a 20,00 mm². Valor médio foi de 15,08 mm² e desvio padrão de 1,77 mm².

Os valores encontrados neste trabalho são semelhantes aos relatados por Paula (1995) e Tomazzello Filho (1985), ambos trabalhando com a mesma espécie, porém, sítio e idades diferenciados. Os resultados ficaram entre intervalos de variação muito próximos para diâmetro do vaso, quantidade de vasos, largura e altura dos raios, comprimento e espessura das fibras.

Na Figura 12 estão ilustrados os cortes anatômicos de *Eucalyptus grandis*, nos três planos de corte da madeira.

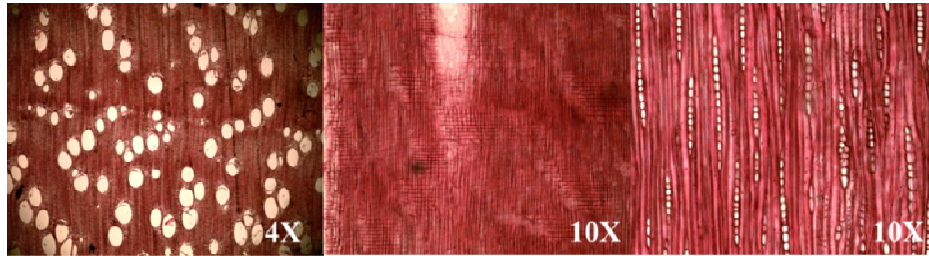


Figura 12 Fotos microscópicas de lâminas permanentes dos três planos da madeira de *Eucalyptus grandis*. Da esquerda para direita, cortes transversal, radial e tangencial, respectivamente

É possível visualizar no corte transversal a disposição dos poros na madeira e, no corte tangencial, ficam evidenciados os raios com suas diferentes alturas.

Os elementos anatômicos individualizados, evidenciando as fibras e o elemento de vaso, com sua respectiva placa de perfuração, podem ser observados na Figura 13.

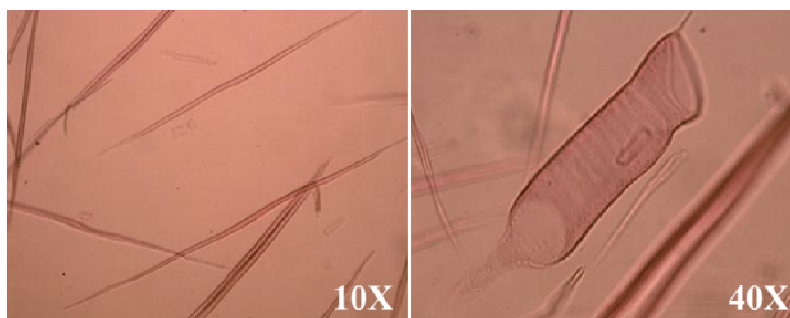


Figura 13 Fotos microscópicas de lâminas provisória de material macerado dos elementos xilêmáticos da madeira de *Eucalyptus grandis*. Da esquerda para direita, fibras libriformes e elemento de vaso, respectivamente

4.1.3.2 *Pinus oocarpa*

Características macroscópicas

Camadas de crescimento distintas, individualizadas pela distinção do lenho tardio/inicial através de gradiente de coloração. A espécie possui cerne e albarno distintos, sendo estes diferenciados pela coloração.

Características microscópicas

Possui camadas de crescimento distintas, sendo estas delimitadas pelos fibrotraqueídeos; a transição entre lenho inicial e tardio ocorre de forma suave e gradual; a forma da secção transversal é hexagonal; pontuações são areoladas, unisseriada e oposta, ocorrendo também pontuações multisseriadas opostas. Quanto ao parênquima axial, este é preenchido pelos canais resiníferos. **Raios:** são unisseriados, de constituição homogênea. Os campos de cruzamento possuem pontuações do tipo pinoide, presença ocasional de ductos resiníferos. **Traqueídeos:** comprimento médio, variando de 1.504,07 μm a 5.942,03 μm , correspondendo aos valores mínimos e máximos, respectivamente. O valor médio foi de 3.239,14 μm e o desvio padrão de 1028,45 μm ; espessura da

parede celular dos traqueídeos com paredes delgadas e espessas, variando de 5,41 μm a 13,74 μm . O valor médio foi de 8,49 μm e o desvio padrão, 1,98 μm . Quanto ao lume, este apresentou valores de 13,66 à 45,44 μm , média de 31,20 μm e desvio padrão de 7,43 μm .

Os valores observados de espessura, comprimento, diâmetro e largura do lúmen para os traqueídeos estão de acordo com os resultados encontrados por Foekel et al. (1975) e Sampaio, Resende e Araújo (2002), para a mesma espécie deste estudo.

Os cortes anatômicos de *Pinus oocarpa*, nos três planos de corte da madeira, podem ser observados na Figura 14.

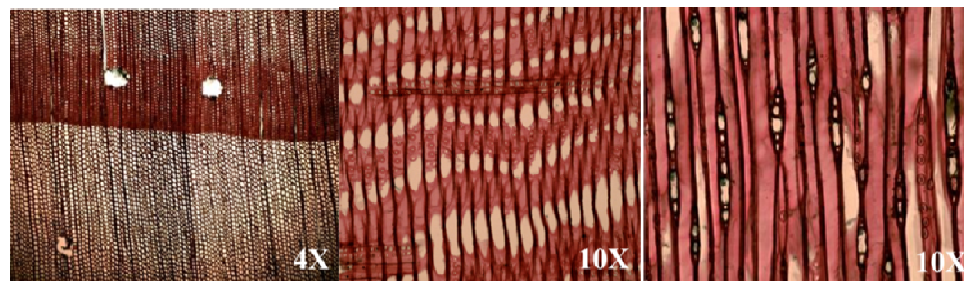


Figura 14 Fotos microscópicas de lâminas permanentes dos três planos da madeira de *Pinus oocarpa*. Da esquerda para direita, cortes transversal, radial e tangencial respectivamente

É possível visualizar nos cortes características como transição entre lenho inicial e tardio no corte transversal, presença de muitas pontuações no corte radial e altura dos raios no corte tangencial.

As características anatômicas evidenciadas influenciam diretamente o processo de adesão. Vale ressaltar a maior simplicidade anatômica que o *Pinus oocarpa* apresenta em relação ao *Eucalyptus grandis*, não possuindo estruturas diferentes para condução e sustentação, tendo unicamente traqueídeos para desempenhar ambas as funções. Essa característica é conferida pela inclusão das

duas espécies respectivamente no grupo das gimnospermas e das angiospermas dicotiledôneas. Seguindo a variação entre as espécies, temos que, com relação às fibras, as folhosas as apresentam com dimensões mais reduzidas, em comparação aos traqueoides das coníferas. Além disso, possuem paredes celulares mais espessas, com lúmen menor e, entre o lenho inicial e tardio, a alteração na espessura das paredes celulares, e o diâmetro dos lumens, é mais moderada do que nas coníferas (FENGEL; WENEGER, 1989). Essa variação na quantidade de parede celular e lúmen influencia diretamente a colagem.

Ainda quanto à adesão, assumindo que a penetração do adesivo se processa pelos espaços vazios e aberturas presentes na estrutura anatômica da madeira, na Figura 15, observa-se a diferença que existe no tamanho das pontuações, para ambas as espécies.

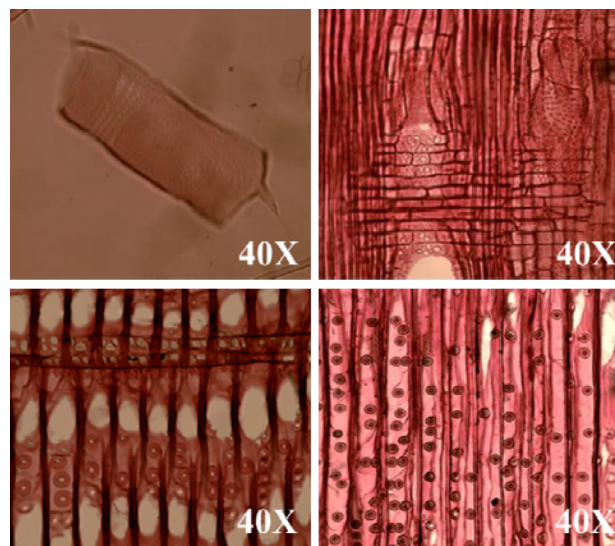


Figura 15 Micrografias de lâminas de *Eucalyptus grandis* com pontuações simples (imagens superiores) e de *Pinus oocarpa* com pontuações areoladas (imagens inferiores), sendo possível observar o tamanho das pontuações para as duas espécies.

Pode-se visualizar com facilidade a diferença no tamanho das pontuações já que todas as imagens se encontram no mesmo aumento. É possível visualizar também que as pontuações de *Eucalyptus grandis*, apesar de menores, são do tipo simples e as pontuações de *Pinus oocarpa* na imagem são do tipo areolado. A aréola pode funcionar como barreira física dificultadora do processo de movimentação do adesivo.

4.2 Caracterização do adesivo fenol-formaldeído

Na Tabela 8 observam-se os resultados médios dos testes realizados no adesivo fenol-formaldeído, sendo cada repetição considerada oriunda da média de quatro repetições.

Tabela 8 Parâmetros mensurados para o adesivo fenol-formaldeído com suas respectivas médias, desvio padrão e coeficiente de variação

Repetição	Viscosidade (cP)	Tempo (s)	pH	Teor de sólidos (%)
1	791,44	334,00	12,90	50,87
2	747,13	402,00	12,90	53,15
3	715,48	294,00	12,90	53,56
Média	751,35	343,33	12,90	52,53
Desvio padrão	38,16	54,60	0,00	1,45
CV (%)	5,08	15,90	0,00	2,76

Iwakiri (2005) relata que as características comuns para o fenol-formaldeído são: teor de sólidos de 48% a 51%, pH na faixa de 11 a 13 e viscosidade entre 300 e 600 cP. Sendo assim, os valores encontrados relatam teor de sólidos e viscosidade pouco acima desses valores, o que pode ser atribuído a um possível maior tempo de fabricação do adesivo que foi utilizado.

4.3 Análise dos ângulos de contato

O resumo do quadro da análise de variância para o estudo da variável ângulo de contato encontra-se na Tabela 9.

Tabela 9 Resumo do quadro da análise de variância da interação espécie x tratamento x tempo, para a variável ângulo de contato

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio
Espécie	1	3870,5790*
Tratamento	3	977,9722*
Tempo	1	21798,1523*
Espécie x Tratamento	3	41,296 ^{ns}
Espécie x Tempo	1	2666,093*
Tratamento x Tempo	3	124,6074*
Espécie x Tratamento x Tempo	3	113,0028*
Média = 114,96°		
Coeficiente de variação = 5,28%		

e*: significativo; e^{ns}: não significativo

É possível observar que a interação entre espécie, tratamento químico que a partícula recebeu e tempo de medição (inicial e final) foi significativa. Sendo assim, procedeu-se à análise do desdobramento dessa interação. O desdobramento da interação para o fator espécie, fixando-se os outros dois fatores, pode ser visualizado na Tabela 10. A interpretação deve ser realizada comparando-se os valores dos ângulos de contato para *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis* para cada um dos tratamentos químicos em um dos tempos de medição, em que ângulos seguidos de mesma letra não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott, a 5% de significância.

Tabela 10 Análise do desdobramento da interação da espécie com o tratamento químico e o tempo de medição fixado para a variável ângulo de contato

Espécie	Tratamento químico	Tempo de medição	Ângulo de contato (°)
<i>Pinus oocarpa</i>	água destilada	1	135,0 (a)
<i>Eucalyptus grandis</i>			133,5 (a)
<i>Pinus oocarpa</i>	ácido acético		119,3 (a)
<i>Eucalyptus grandis</i>			122,7 (a)
<i>Pinus oocarpa</i>	hidróxido de sódio		126,3 (b)
<i>Eucalyptus grandis</i>			135,1 (a)
<i>Pinus oocarpa</i>	testemunha (sem tratamento)		133,1 (a)
<i>Eucalyptus grandis</i>			131,2 (a)
<i>Pinus oocarpa</i>	água destilada	2	99,2 (b)
<i>Eucalyptus grandis</i>			120,8 (a)
<i>Pinus oocarpa</i>	ácido acético		77,6 (b)
<i>Eucalyptus grandis</i>			106,7 (a)
<i>Pinus oocarpa</i>	hidróxido de sódio		88,2 (b)
<i>Eucalyptus grandis</i>			105,2 (a)
<i>Pinus oocarpa</i>	testemunha (sem tratamento)		86,0 (b)
<i>Eucalyptus grandis</i>			111,3 (a)

Houve diferença significativa entre as espécies *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis*, considerando o tempo 1 (inicial) de medição, apenas para o tratamento com hidróxido de sódio. Cabe lembrar que a análise inicial não fornece dados muito confiáveis, visto que a gota ainda não atingiu o equilíbrio. Já considerando o tempo 2 (final), todos os tratamentos químicos realizados refletiram em diferença significativa entre *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis*. Sendo assim, pode-se inferir que os tratamentos químicos afetaram ambas as espécies e, possivelmente, de forma diferenciada, visto que as espécies possuem composições distintas, quanto ao teor e, principalmente, ao tipo de extrativos.

Outro fator tão importante quanto os extrativos presentes na superfície da madeira com a gota é a rugosidade da superfície da madeira. Dell-Menezi,

Souza e Gonçalves (1996) relatam que, mesmo saturada, a madeira de *Eucalyptus urophylla* apresentou dificuldade de corte no gerador de partículas em relação ao *Pinus oocarpa*, que não apresentou dificuldade. Esse comportamento também foi observado neste trabalho, no qual a dificuldade de geração de partículas de *Eucalyptus grandis* foi extremamente superior em relação ao *Pinus oocarpa*, o que resultou em superfícies mais ásperas e heterogêneas nas partículas, pois ocorreu excessivo arrancamento de fibras. Essa maior rugosidade verificada nas partículas pode ser responsável pelos maiores ângulos encontrado para *Eucalyptus grandis* em relação ao *Pinus oocarpa*.

A partir dos dados obtidos é possível inferir que partículas de *Pinus oocarpa* tratadas com ácido acético e partículas de *Eucalyptus grandis* tratadas com hidróxido de sódio resultam em melhor qualidade de colagem, uma vez que elas possuem menores ângulos de contato e, conseqüentemente, melhor interação entre a partícula e o adesivo.

O desdobramento da interação para o fator tratamento químico, fixando-se os outros dois fatores, pode ser visualizado na Tabela 11. A interpretação deve ser realizada comparando-se os ângulos de contato para cada tratamento químico, em cada espécie analisada e no mesmo tempo de medição, em que ângulos seguidos de mesma letra não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott, a 5% de significância.

Tabela 11 Análise do desdobramento da interação do tratamento químico com a espécie e o tempo de medição fixado para a variável ângulo de contato

Tratamento químico	Espécie	Tempo de medição	Ângulo de contato (°)
água destilada	<i>Pinus oocarpa</i>	1	135,0 (b)
ácido acético			119,3 (a)
hidróxido de sódio			126,3 (a)
testemunha (sem tratamento)			133,1 (b)
água destilada	<i>Eucalyptus grandis</i>		133,5 (b)
ácido acético			122,7 (a)
hidróxido de sódio			135,1 (b)
testemunha (sem tratamento)			131,2 (b)
água destilada	<i>Pinus oocarpa</i>	2	99,2 (c)
ácido acético			77,6 (a)
hidróxido de sódio			88,2 (b)
testemunha (sem tratamento)			86,0 (a)
água destilada	<i>Eucalyptus grandis</i>		120,8 (b)
ácido acético			106,7 (a)
hidróxido de sódio			105,2 (a)
testemunha (sem tratamento)			111,3 (a)

Pode-se observar que, considerando tempo 1 de medição para a espécie *Pinus oocarpa*, os tratamentos químicos com ácido acético média e hidróxido de sódio tiveram valores de ângulo de contato iguais estatisticamente, sendo estes valores inferiores aos ângulos de partículas tratadas com água destilada e sem tratamento. Considerando, ainda para o tempo 1, a espécie *Eucalyptus grandis*, o tratamento com ácido acético foi o que mais reduziu o ângulo de contato, diferindo dos outros três tratamentos químicos.

Considerando o tempo 2 para a espécie *Pinus oocarpa*, ácido acético foi o melhor tratamento reduzindo o ângulo de contato, seguido do tratamento com água destilada, que resultou em valores médios de ângulo de contato. Por sua vez, os tratamentos com hidróxido de sódio e testemunha foram semelhantes

entre si e menos eficientes na redução do ângulo de contato. Já para a espécie *Eucalyptus grandis* no tempo 2, o tratamento com água destilada foi o menos eficiente na redução do ângulo de contato, resultando em valores de ângulo superiores aos tratamentos com ácido acético, hidróxido de sódio e testemunha, sendo estes estatisticamente iguais.

O comportamento das duas madeiras, em ambos os tempos de medições, para todos os tratamentos, não segue um padrão. Pode-se observar que, da medição no tempo 1 para a medição no tempo 2, existe tendência decrescente do ângulo de contato.

Já se considerarmos apenas o segundo tempo de medição, os tratamentos químicos produziram diferentes modificações na superfície das partículas das duas espécies, visto que as reduções dos ângulos de contato foram diferenciadas nos dois casos. Para *Pinus oocarpa*, o tratamento que mais reduziu o ângulo de contato foi o ácido acético e, para *Eucalyptus grandis*, os tratamentos ácido acético e hidróxido de sódio foram os que mais reduziram o ângulo de contato e, ainda sim, não diferiram das partículas sem tratamento.

Okino et al. (1997) afirmam que a acetilação pode reduzir a adesão entre as partículas de material lignocelulósico, prejudicando a qualidade da chapa. Considerando-se que existe uma estreita relação entre um baixo ângulo de contato que resulta em uma boa molhabilidade e boa adesão, este trabalho está em desacordo com o relatado na literatura consultada. Embora caiba ressaltar que no processo de acetilação o composto químico é aplicado às partículas com adição de temperatura, no presente trabalho o ácido acético foi aplicada à temperatura ambiente. Sendo assim, possivelmente, a temperatura é a responsável pela piora na qualidade da adesão no processo de acetilação.

O desdobramento da interação para o fator tempo de medição, fixando-se os outros dois fatores, pode ser visualizado na Tabela 12. A interpretação deve ser realizada comparando-se cada tempo de medição, para uma das

espécies analisadas em um dos tratamentos químicos, em que ângulos de contato seguidos de mesma letra não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott, a 5% de significância.

Tabela 12 Análise do desdobramento do tempo de medição com a espécie e o tratamento químico fixado para a variável ângulo de contato

Tempo de medição	Tratamento químico	Espécie	Ângulo de contato (°)	
1	água destilada	<i>Pinus oocarpa</i>	135,0 (b)	
2			99,2 (a)	
1	ácido acético		119,3 (b)	
2			77,6 (a)	
1	hidróxido de sódio		126,3 (b)	
2			88,2 (a)	
1	testemunha (sem tratamento)		133,1 (b)	
2			86,0 (a)	
1	água destilada		<i>Eucalyptus grandis</i>	133,5 (b)
2				120,8 (a)
1	ácido acético			122,7 (b)
2				106,7 (a)
1	hidróxido de sódio	135,1 (b)		
2		105,2 (a)		
1	testemunha (sem tratamento)	131,2 (b)		
2		111,3 (a)		

Considerando-se as espécies *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis* em todos os tratamentos químicos realizados, na variação do tempo 1 para o tempo 2, houve um decréscimo do valor do ângulo de contato entre as partículas e o adesivo.

Na Figura 16 é possível observar as imagens representativas do perfil da gota de adesivo fenol-formaldeído com os valores médios do ângulo de contato das três repetições, encontrados para cada tratamento químico realizado nas

partículas, para *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis*, no lenho inicial e tardio e no cerne e albúrnio, para as duas espécies, respectivamente.

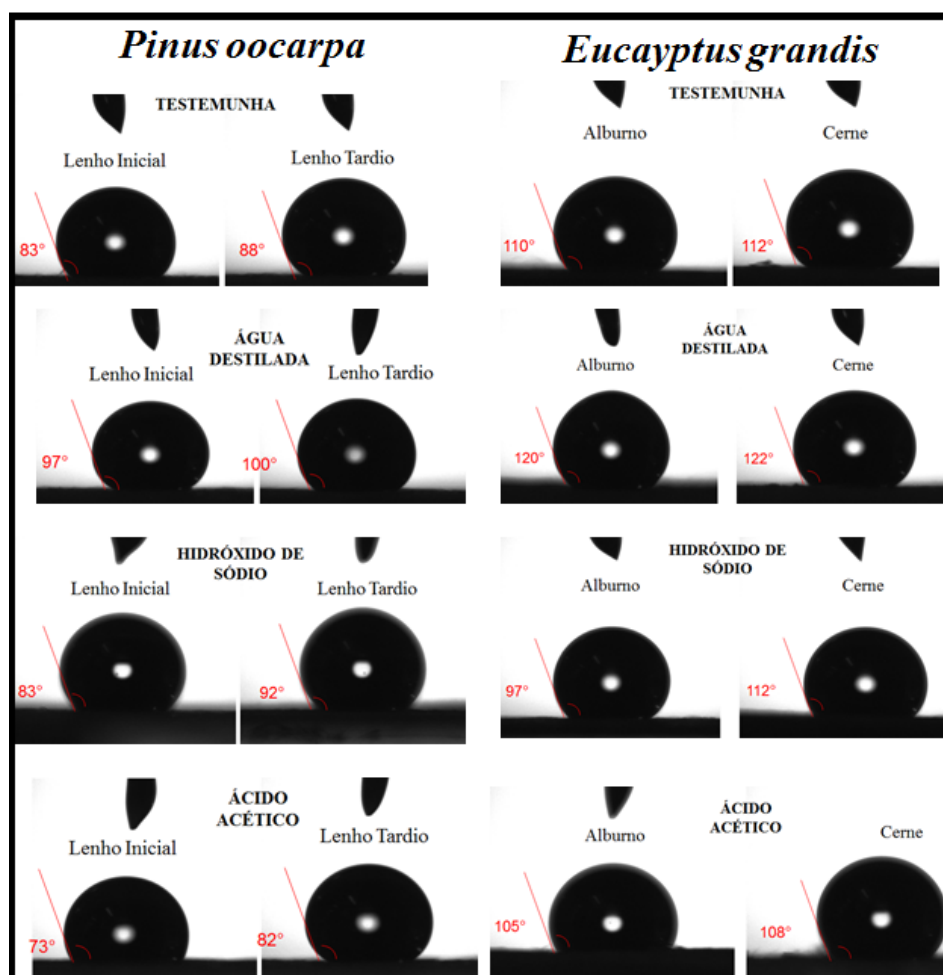


Figura 16 Imagens representativas das análises para *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis*, levando em consideração as posições de retirada das partículas, com seus respectivos ângulos de contato médio

Pode-se observar, na Figura 16, que os ângulos de contato de *Pinus oocarpa* são menores do que os de *Eucalyptus grandis*. Como foi visto na sessão que tratou da caracterização anatômica das madeiras utilizadas, as pontuações

presentes no *Eucalyptus grandis* são menores que as de *Pinus oocarpa*. Este fator pode ter resultado nos menores ângulos para *Pinus oocarpa*, possivelmente aliado à sua maior porosidade em função da menor densidade básica encontrada para esta espécie em relação ao *Eucalyptus grandis*.

Considerando apenas *Pinus oocarpa*, os ângulos, em todos os tratamentos para o lenho inicial, são inferiores aos do lenho tardio. Para *Eucalyptus grandis*, os ângulos do alburno são inferiores aos do cerne para todos os tratamentos químicos realizados nas partículas.

De acordo com Marra (1992), o alburno é a parte da árvore que apresenta as células ainda com funções fisiológicas. Depois que morrem, as células que já foram alburno são lentamente impregnadas com materiais estranhos, como óleos, ceras e compostos fenólicos derivados do decorrer de sua função vital. Estes componentes químicos mudam a coloração da madeira, a permeabilidade, a umidade de equilíbrio, sua contração e inchamento, sua massa específica e, conseqüentemente, as propriedades de colagem. Sendo assim, é de se esperar que o ângulo de contato seja maior no cerne, em função desse maior conteúdo de extrativos presente no mesmo.

Hse (1972), trabalhando com madeira de *Pinus* sp. e diferentes formulações de adesivo fenol-formaldeído, mediu os ângulos de contato no lenho inicial e tardio e encontrou valores médios de 78,2° para lenho inicial e 82,4° para lenho tardio. Este autor justificou que, segundo Leney (1960 citado por HSE, 1972), quando cortado, o lenho inicial expõe lúmens grandes que facilitam a penetração do adesivo; já no lenho tardio, além de apresentar pequenos lúmens, o corte das suas paredes espessas cria pequenas ranhuras na sua superfície. Assim, a diferença de espaços vazios e a rugosidade da superfície alteram o ângulo de contato e explicam a diferença encontrada para lenho inicial e tardio. Comparando os valores de ângulo encontrados por Hse (1972) e os do presente trabalho para o tratamento testemunha, em que não houve modificação

química da superfície, obteve-se, para lenho inicial, 83° e, para lenho tardio, 88°. Essa diferença pode ser devido à espécie de Pinus que o autor utilizou, às condições de realização do teste, ao tempo esperado para medição do ângulo, ao equipamento utilizado para a medição do ângulo e à procedência do adesivo fenol-formaldeído por ele utilizado.

Ainda sobre os tratamento químicos que as partículas receberam, Yasar et al. (2010) aplicaram os mesmos tratamentos a partículas de videira e estudaram a alteração da quantidade de grupos hidroxílicos presentes nas superfícies das partículas com os diferentes tratamentos. Estes autores constataram aumento dos grupos hidroxílicos para todos os tratamentos com os produtos químicos em relação às partículas sem tratamento químico. Pan, Lian e Zhou (2007) afirmam que o aumento dos grupos hidroxílicos nas superfícies das partículas após o tratamento químico tem efeito sobre as propriedades físicas e mecânicas das chapas produzidas. Neste contexto, é possível que a alteração da disponibilidade desses grupos cause alteração no ângulo de contato, sendo necessários maiores estudos para elucidar essa possível inter-relação.

4.4 Análise da quantidade de adesivo aplicado

4.4.1 Gramatura de adesivo

Na Tabela 13 observa-se o resumo do quadro da análise de variância para o estudo da variável gramatura (g/m²).

Tabela 13 Resumo do quadro da análise de variância da interação porcentagem de adesivo x grupo para a variável gramatura de adesivo aplicado (g/m²)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio
Adesivo	2	1165,37*
Grupo	3	42252,26*
Adesivo x Grupo	6	704,94 ^{ns}
Média = 46,98 g/m ²		
Coeficiente de variação = 39,38%		

e*: significativo; e^{ns}: não significativo

Como a interação da porcentagem de adesivo aplicado, que é de 6%, 9% e 12% com o grupo (1, 2, 3 e 4), não foi significativa, procedeu-se à análise dos dois fatores isoladamente, com teste de médias Scott-Knott o fator grupo e regressão para o fator teor de adesivo, uma vez que os fatores são qualitativos e quantitativos, respectivamente. Na Tabela 14 observam-se os valores médios de gramatura para cada grupo de adesivo criado, em que as médias são seguidas do resultado encontrado pelo teste de médias Scott-Knott, a 5% de significância.

Tabela 14 Valores médios de gramatura de adesivo aplicado (g/m²) por grupo analisado

Grupo	Gramatura média (g/m²)
1	8,7 (d)
2	24,0 (c)
3	54,7 (b)
4	98,9 (a)

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott, a 0,05 de significância

É possível observar que todos os grupos criados são diferentes entre si, possuindo valores maiores de gramatura o grupo 4, ou seja, o grupo 4 tem maior massa de adesivo por área de partícula. Quando se fala em gramatura de adesivo aplicado, tem-se logo a ideia de painéis laminados, já que, para particulados, a quantidade de adesivo aplicado ao painel é comumente medida em porcentagem

de adesivo base massa seca. De acordo com Iwakiri (2005), a gramatura usual de adesivo para painéis laminados varia em função da espessura da lâmina e do número de lâminas, mas costuma variar de 195 g/m² a 225g/m². Mesmo considerando o menor desses valores, ele se mostra muito superior ao encontrado para os painéis produzidos, em qualquer um dos grupos definidos ou das porcentagens de adesivo utilizados. Cabe ressaltar que o grupo 4, em que a partícula é quase que totalmente recoberta por adesivo, como pode ser visualizado na Figura 10, apresentou os maiores resultados de gramatura que, mesmo assim, corresponde a aproximadamente apenas 50% da menor gramatura comumente utilizada para laminados. Isso porque, apesar de a partícula ter sido toda recoberta, como acontece nos painéis laminados, a espessura dessa camada de adesivo foi muito inferior, visto que o processo de aspersão do adesivo nos painéis particulados é muito diferenciada da aplicação direta da camada de adesivo que ocorre nos laminados.

O Gráfico 3 representa o modelo de regressão para o fator porcentagem de adesivo e para a variável gramatura (g/m²) em cada grupo.

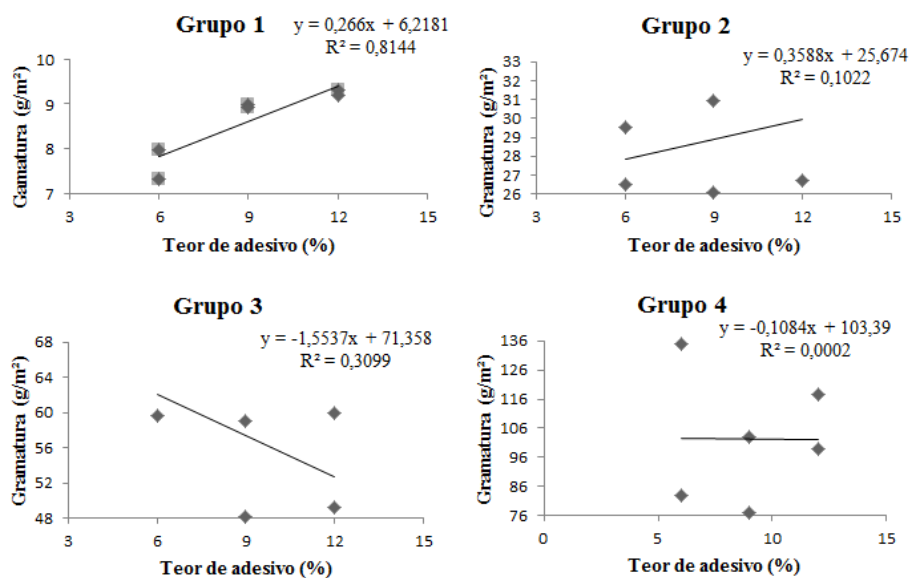


Gráfico 3 Regressão linear para o fator teor de adesivo para a variável gramatura (g/m^2)

Não é possível observar uma tendência clara de comportamento da variável gramatura em função do aumento no teor de adesivo, sendo os valores de r^2 baixos e muito variáveis. Essa questão pode ser atribuída à heterogeneidade da aplicação do adesivo pela pistola aspersora em âmbito laboratorial, o que causou uma deposição não homogênea do adesivo sobre as partículas analisadas.

É importante ressaltar que a viscosidade do adesivo utilizado se encontra pouco acima do recomendado para o adesivo formaldeído, como visto na Tabela 8. Essa maior viscosidade pode ter afetado a saída do adesivo pelo bico aspersor da encoladeira, causando esse problema de má distribuição, aliado ao próprio método de aplicação que já é, por si, só heterogêneo.

4.4.2 Quantidade efetiva de adesivo aplicado (QEA)

O resumo do quadro da análise de variância para o estudo da variável quantidade efetiva de adesivo aplicado (%) encontra-se na Tabela 15.

Tabela 5 Resumo do quadro da análise de variância da interação porcentagem de adesivo x grupo para a variável quantidade de adesivo aplicado (%)

Fonte de variação	Graus de liberdade	Quadrado médio
Adesivo	2	123,33 ^{ns}
Grupo	3	23857,42*
Adesivo x Grupo	6	126,81 ^{ns}
Média = 33,55%		
Coeficiente de Variação = 30,62%		

e*: significativo; e^{ns}: não significativo

Como a interação entre grupo e porcentagem de adesivo e o fator adesivo não foram significativos, procedeu-se à análise apenas para o fator grupo, aplicando teste de médias Scott-Knott, a 5% de significância, para diferenciar as médias, como se observa na Tabela 15.

Tabela 15 Médias da quantidade efetiva de adesivo aplicado por grupo, seguidas do resultado do teste Scott-Knott

Grupo	QEA (%)
1	5,6 (d)
2	16,8 (c)
3	37,0 (b)
4	73,6 (a)

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott, a 0,05 de significância

É possível observar que todos os grupos criados são diferentes entre si e o Grupo 4 possui valores maiores de quantidade efetiva de adesivo aplicado (%), ou seja, o grupo 4 tem maior percentual de massa de adesivo aplicado por partícula.

4.5 Parâmetros analisados no painel

4.5.1 Umidade média dos painéis

Na Tabela 16 são apresentados os valores médios da umidade dos painéis com seus respectivos desvios padrões e coeficientes de variação.

Tabela 16 Parâmetros estatísticos da variável umidade dos painéis

Porcentagem de adesivo	<i>Eucalyptus grandis</i>			<i>Pinus oocarpa</i>		
	Umidade média (%)*	Desvio padrão	CV (%)	Umidade média (%)*	Desvio padrão	CV (%)
6	14,8 (a) (A)	3,4	22,9	15,7 (a) (A)	4,3	27,3
9	14,2 (a) (A)	4,1	28,8	14,5 (a) (A)	3,8	26,2
12	14,8 (a) (A)	3,7	25,0	14,9 (a) (A)	3,2	21,4

* Valores na mesma coluna, seguidos de mesma letra minúscula e valores na mesma linha, seguidos de mesma letra maiúscula, não diferem entre si, pelo teste Scott-Knott, a 5% de significância

É possível observar que não houve diferença significativa para os painéis produzidos com os diferentes teores de adesivo e entre as diferentes espécies. Dada essa homogeneidade da umidade, os dados dos testes mecânicos são passíveis de comparação, uma vez que a umidade interfere nas diferentes resistências da madeira e de seus subprodutos.

4.5.2 Densidade e razão de compactação dos painéis

É possível observar, na Tabela 17, os valores médios de densidade real e calculada e de razão de compactação real e calculada, para os três teores de adesivo utilizados na fabricação dos painéis e para as duas espécies utilizadas. A Tabela contém, ainda, o resultado do teste de médias Scott-Knott, a 5% de significância.

Tabela 17 Valores reais e calculados de densidade e razão de compactação dos painéis produzidos com os diferentes teores de adesivo para as espécies *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis*, com seus respectivos coeficientes de variação e desvio padrão

Espécie	Adesivo (%)	DA _c (g/cm ³)	DA _r (g/cm ³)	RC _c	RC _r	Desvio padrão	CV (%)
<i>Eucalyptus grandis</i>	6	0,700 a	0,682 a	1,4A	1,3A	0,047	6,9
	9	0,700 a	0,719 a	1,4A	1,4A	0,045	6,3
	12	0,700 a	0,703 a	1,4A	1,3A	0,058	8,3
<i>Pinus oocarpa</i>	6	0,700 a	0,667 a	1,5A	1,4A	0,039	5,9
	9	0,700 a	0,704 a	1,5A	1,5A	0,033	4,7
	12	0,700 a	0,665 a	1,5A	1,4A	0,050	7,5

DA_c: densidade aparente calculada; DA_r: densidade aparente real; RC_c: razão de compactação calculada; RC_r: razão de compactação real; CV: coeficiente de variação; DP: desvio padrão

Pelos dados da Tabela 17, pode-se observar que os resultados de densidade e razão de compactação obtida como resultados para os painéis produzidos com os diferentes teores de adesivo e com ambas as espécies utilizadas não diferem dos valores calculados para os painéis. Isso mostra um bom controle na produção dos painéis, não tendo sido observada perda de material e/ou heterogeneidade na produção. Sendo assim, os painéis são comparáveis entre si, uma vez que possuem parâmetros de produção efetivamente iguais.

4.5.3 Tração perpendicular

O resumo do quadro da análise de variância para o estudo da variável tração perpendicular (MPa) encontra-se na Tabela 18.

Tabela 18 Resumo do quadro da análise de variância da interação espécie e teor de adesivo para a variável tração perpendicular (MPa)

Fonte de variação	Grau de liberdade	Quadrado médio
Espécie	1	44,1*
Teor de adesivo	2	131,65*
Espécie x teor de adesivo	2	0,65 ^{ns}
Média = 0,41 MPa		
Coeficiente de variação = 25,04%		

e*: significativo; e^{ns}: não significativo

Como a interação entre espécie e teor de adesivo não foi significativa, procedeu-se à análise de regressão para analisar a variável quantitativa teor de adesivo, como mostrado no Gráfico 4 e com teste de média Scott-Knott a 5% de significância, para a variável qualitativa espécie, como mostrado no Gráfico 5.

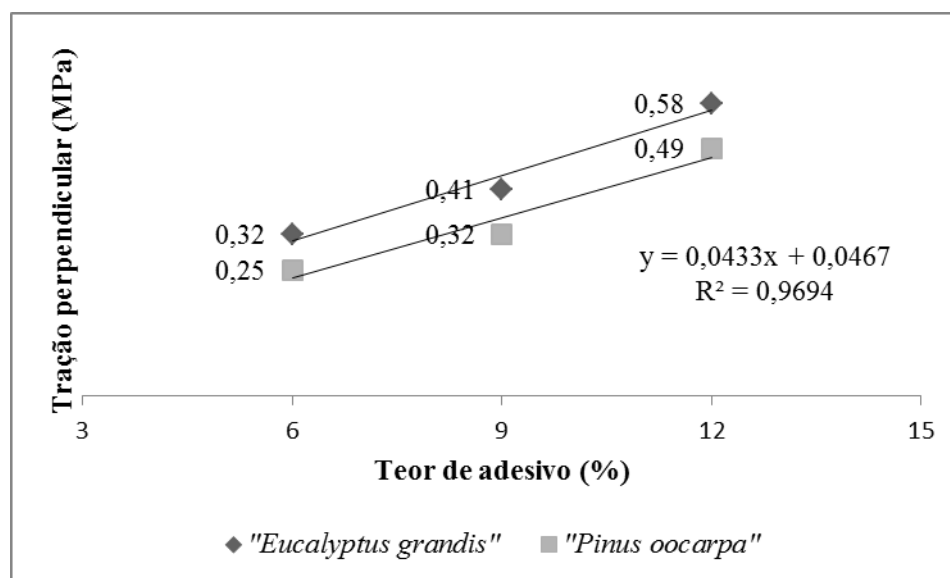


Gráfico 4 Análise gráfica da regressão para a variável independente, teor de adesivo e variável dependente tração perpendicular

É possível observar que o modelo linear se adequou aos dados, que apresentam comportamento crescente para a propriedade tração perpendicular (MPa) em função da adição de adesivo. O modelo apresentou um coeficiente de determinação aceitável ($r^2 = 96,9\%$).

A norma CSA 0437-0 (CSA, 1993) estabelece valor mínimo de tração perpendicular de 0,34 MPa. Sendo assim, comparando-se os diferentes teores de adesivo utilizados, 9% e 12% de adesivo na espécie *Eucalyptus grandis* e 12% de adesivo na espécie *Pinus oocarpa*, excederam a norma; já 6% de adesivo para *Eucalyptus grandis* e 9% para *Pinus oocarpa* ficaram bem próximos ao valor estabelecido e apenas 6% de adesivo com a espécie *Pinus oocarpa* resultou em valor muito abaixo da norma. Aparentemente, os teores de 6% e 9% não são suficientes para uma colagem eficiente em *Pinus oocarpa* e para *Eucalyptus grandis*; apenas 6% não foi eficiente o suficiente para que os valores de tração paralela superassem a norma consultada.

Gouveia, Vital e Santana (2003), trabalhando com madeira de *Eucalyptus grandis* e *Pinus ellioti* e três teores de adesivo fenólico, encontraram aumento dos valores da propriedade de tração perpendicular com o aumento no teor de adesivo, semelhante ao ocorrido no presente trabalho.

Paridah et al. (2009) produziram painéis aglomerados de kenaf e seringueira e encontraram valores baixos de tração perpendicular em comparação a trabalhos semelhantes realizados pelos mesmos autores. Eles atribuíram esse efeito, principalmente, à insuficiente cura do adesivo utilizado, em que o tempo e/ou temperatura devem ter sido insuficientes.

A análise gráfica do resultado de tração perpendicular (MPa) para *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis* e o resultado do teste de média Scott-Knott, a 5% de significância, encontram-se no Gráfico 5.

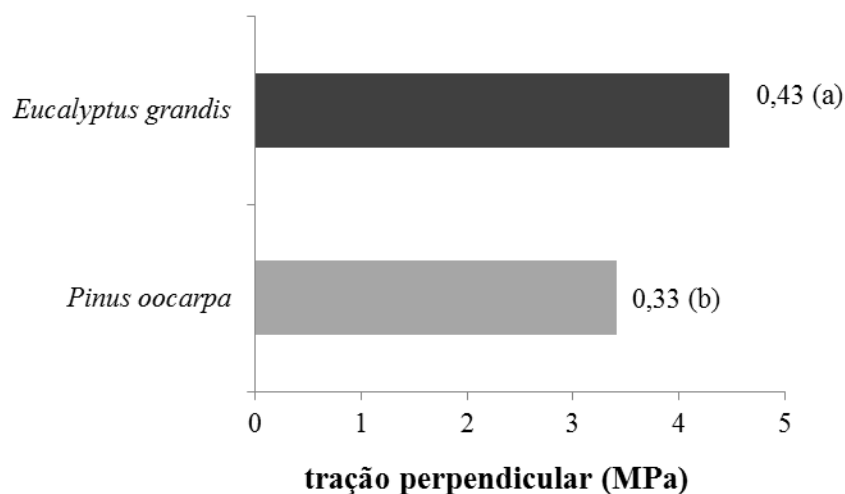


Gráfico 5 Análise gráfica do teste Scott-Knott, a 0,05 de significância, para a variável tração perpendicular (Kgf/cm²). Valores seguidos de mesma letra não diferem entre si, pelo teste de médias

É possível observar que o valor médio de tração perpendicular, comparando-se apenas as espécies, foi superior para *Eucalyptus grandis*. Isso pode indicar uma melhor qualidade da adesão entre a madeira de *Eucalyptus grandis* e o adesivo fenol-formaldeído utilizado neste estudo do que a interação do mesmo adesivo com o *Pinus oocarpa*.

Na literatura, os valores de tração perpendicular para *Eucalyptus grandis* variam bastante. Podem-se citar Cabral et al. (2006), Carneiro et al. (2004) e Iwakiri et al. (2004, 2008) que encontraram variação de 0,26 a 1,06; média de 0,57; 0,39 e 0,45 kgf/cm², respectivamente. O valor encontrado neste trabalho está de acordo com os comumente relatados.

Já Iwakiri et al. (2008) e Okino et al. (2008) encontraram, para *Pinus* sp., valores de 0,41 e 0,40 MPa, respectivamente, que são pouco superiores ao encontrado neste trabalho para *Pinus oocarpa*.

A norma CSA 0437-0 (CSA, 1993) estabelece valores mínimos de tração perpendicular de 0,34 MPa. Na comparação entre as espécies, *Eucalyptus grandis* atendeu à norma e *Pinus oocarpa* obteve valor médio muito próximo ao estabelecido.

5 CONCLUSÃO

As características anatômicas encontradas para *Pinus oocarpa* e *Eucalyptus grandis* estão de acordo com o encontrado na literatura para estas espécies. A densidade básica ponderada para *Pinus oocarpa* foi de 0,456 g/cm³ e, para *Eucalyptus grandis*, de 0,510 g/cm³. As espécies apresentaram teores de componentes químicos similares.

Para a quantidade de adesivo efetivamente aplicado e gramatura, a avaliação da influência dos teores de adesivo foi dificultada pela heterogeneidade de aplicação do adesivo causada pelo equipamento de aplicação aliada à alta viscosidade do adesivo utilizado.

Para a espécie *Pinus oocarpa* foi verificado menor ângulo de contato do adesivo com a superfície para o lenho inicial em relação ao lenho tardio. Para a espécie *Eucalyptus grandis*, menores ângulos de contato foram encontrados para o alburno. Os tratamentos químicos realizados nas partículas, para ambas as espécies estudadas, causaram modificações na superfície das partículas e alteraram o ângulo de contato encontrado, reduzindo-o, possivelmente, pela retirada dos extrativos presentes.

Os painéis OSB de *Pinus oocarpa* apresentaram menores valores de tração perpendicular em relação aos painéis de *Eucalyptus grandis*.

Os painéis de *Eucalyptus grandis* se adequaram à norma CSA 0437-0 (CSA, 1993), nos teores de 9% e 12% de adesivo. Já os painéis de *Pinus oocarpa* atingiram os valores de tração perpendicular desta norma apenas no teor de 12%.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1037-06a**: standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and panel materials. Philadelphia, 1996. 30 p.

ANDRADE, M. C. N. de et al. Análise química da madeira e casca de diferentes tipos de eucalipto antes e durante o cultivo de shiitake em toras. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 34, n. 1, jan./fev. 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rarv/v34n1/v34n1a18.pdf>>. Acesso em: 13 dez. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário estatístico da ABRAF**: ano base 2009. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF10-BR/controle.html>>. Acesso em: 23 nov. 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA TÉCNICA DE CELULOSE E PAPEL. **Normas técnicas ABCP**. São Paulo, 1974. 62 p.

BUFALINO, L. **Avaliação da permeabilidade e sua influência sobre propriedades físicas e de colagem em painéis aglomerados**. 2010. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CABRAL, C. P. T. et al. Propriedades de chapas tipo OSB, fabricadas com partículas acetiladas de madeiras de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus cloeziana* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 30, n. 4, p. 659-668, jul./ago. 2006.

CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. MDF produzido com fibras de pinus utilizando uréia-formaldeído. **Revista da Madeira**, São Paulo, n. 88, 2005. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=707&subject=E%20mais&title=MDF%20produzido%20com%20fibras%20de%20pinus%20utilizando%20ur%20E9ia-formalde%20do>. Acesso em: 10 fev. 2011.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. **OSB and waferboard: CSA 0437-0**. Ontario, 1993. 18 p.

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

CARVALHO, A. M. M. L. **Tecnologia da madeira**. Diamantina: UFVJM, 2005. 25 p. Apostila.

CHAN, C. M. **Polimer surface modificacion and characterization**. New York: Hanser, 1994. 54 p.

CHRISTIANSEN, A. W. Wood fiber. **Science**, New York, v. 22, n. 4, p. 441-442, 1990.

CLOUTIER, A. Oriented stranboard (OSB): raw material, manufacturing process, properties of wood-base fiber and particle materials. In: INTERNATIONAL SEMINAR ON SOLID WOOD PRODUCTS OF HIGH TECHNOLOGY, 1., 1998, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 1998. p. 173-185.

DELL-MENEZI, C. H. S.; SOUZA, M. R. de; GONÇALVES, J. C. Fabricação e avaliação tecnológica da chaa aglomerada de mistura de *Eucalyptus urophylla* T. S. Blake e *Pinus oocarpa* Schiede. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 20, n. 3, p. 371-379, maio/jun. 1996.

DOSSA, D. Importância sócio-econômica e ambiental. In: _____. **Cultivo do Pinus**. Colombo: EMBRAPA Florestas, 2005. Disponível em: <http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Pinus/CultivodoPinus/11_importancia_socio_economica.htm>. Acesso em: 10 out. 2009.

ECKELMAN, C. A. **Brief survey of wood adhesives**. Amsterdam: Forestry & Natural Resources, 1997. 10 p. (Report, 154).

EINSFELD, R. A. et al. Manufatura e características das chapas OSB (Oriented Strand Board). In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3., 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: IBRAMEN, 1998. p. 385-394.

FENGEL, D.; WEGENER, G. **Wood: chemistry, ultrastructure, reactions**. Berlin: W. Gruyter, 1989. 613 p.

FOELKEL, C. E. B. et al. Variações das características da madeira e propriedades da celulose sulfato de *Pinus oocarpa* em função da idade do povoamento florestal. **Boletim do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 10, p. 81-87, 1975.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. **Provides statistics on imports and exports of woods and paper**. Rome, 2009. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 20 dez. 2010.

FORD-ROBERTSON, F. C. **Terminology of forest science, technology practice and products**. Washington: Society of American Foresters, 1971. 349 p.

FRANKLIN, G. L. Preparation of thin sections of synthetic resins and woodresin composites, and a new macerating method for wood. **Nature**, London, v. 155, n. 3924, p. 51-52, 1945.

GARDNER, D. J. et al. Dynamic wettability of wood. **Langmuir**, Morgantown, v. 7, n. 11, p. 2498-2502, 1991.

GEIMER, R. L. **Flake alignment in particleboard as affected by machine variables and particle geometry**. Madison: USDA-Forest Service, 1976. 16 p. (Research Paper FPL, 275).

GINDL, M. Effects of surface ageing on wettability surface chemistry and adhesion of wood. **Holz as Roh-und Werlstoff**, Berlin, v. 62, n. 4, p. 273-280, 2004.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWIG, C. H. (Ed.). **Lignins: occurrence, formation, structure and reations**. New York: J. Wiley, 1971. p. 241-266.

GOMIDE, J. L.; DEMUNER, B. J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: método Klason modificado. **O Papel**, São Paulo, v. 47, n. 8, p. 36-38, 1986.

GOUVEIA, F. N.; VITAL, B. R.; SANTANA, M. A. E. Avaliação de três tipos de estrutura de colchão e três níveis de resina fenólica na produção de chapas de partículas orientadas: OSB. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 3, p. 365-370, maio/jun. 2003.

HANCOCK, W. V. The distribution of dihydroquercetin and leucocyanidin of tree. **Forest Products Journal**, Madison, v. 12, n. 9, p. 335-338, 1962.

HSE, C. Y. Wettability of souther pine. **Forest Products Journal**, Madison, v. 22, n. 1, p. 51-56, Jan. 1972.

INTERNATIONAL ASSOCIATION OF WOOD ANATOMISTS. Iawa list of microscopic features for hardwood identification. **Boletim IAWA**, Leiden, v. 10, n. 3, p. 221-332, 1989.

IWAKIRI, S. **A influência de variáveis de processamento sobre propriedades de chapas de partículas de diferentes espécies de Pinus**. 1989. 129 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1989.

_____. **Painéis de madeira**. Curitiba: FUPEF, 1998. 128 p. (Série Didática, 1/98).

_____. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

_____. Painéis de partículas orientadas “OSB”. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 41, p. 52-53, 1999.

IWAKIRI, S. et al. Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. **Floresta**, Curitiba, v. 38, n. 3, p. 487-493, jul./set. 2007.

_____. Produção de chapas de partículas strand com inclusão laminar COM-PLAY. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 10, n. 2, p. 30-35, ago./dez. 2003.

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

_____. Utilização de madeiras de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus dunnii* para produção de painéis de partículas orientadas, OSB. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p. 265-270, mar./abr. 2008.

JENNINGS, J. D. **Investigating the surface energy and bond performance of compression densified wood**. 2003. 160 p. Dissertation (Master in Wood Science) - Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State, Blacksburg, 2003.

KINLOCH, A. J. **Adhesion and adhesives: science and technology**. London: Chapman and Hall, 1987. 441 p.

KOLLMANN, F.; COTÉ JUNIOR, W. A. **Principles of wood science and technology I, solid wood**. New York: J. Wiley, 1986. 592 p.

KOLLMANN, F.; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, 1975. v. 2, 283 p.

LEHMANN, W. F. Resin efficiency in particleboard as influenced by density, atomization and resin content. **Forest Products Journal**, Madison, v. 20, n. 11, p. 48-57, Nov. 1970.

LIPTAKOVA, E. J.; KUDELA, J. Analysis of the wood wetting process. **Holzforschung**, Berlin, v. 48, n. 2, p. 139-144, Apr. 1994.

LIPTAKOVA, E. J.; SARVAS, J. Problems concerning the equilibrium state on the wood liquid phase boundary. In: _____. **Wood structure and properties**. Zvolen: Arbora, 1998. p. 109-114.

LIU, F. P.; RIALS, T. G. Value of surface energy of wood for surface composition. **Langmuir**, Morgantown, v. 14, n. 2, p. 536-541, 1998.

MALONEY, T. M. Family of wood composite materials. **Forest Products Journal**, Madison, v. 46, n. 2, p. 19-26, 1996.

_____. **Modern particleboard & dry process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1977. 672 p.

_____. _____. San Francisco: M. Freeman, 1993. 689 p.

MARCATI, C. R.; DELLA-LUCIA, R. M. Comportamento do angico-vermelho (*Piptadenia peregrina* Benth.) à adesão com PVA acetato de polivinila e resorcinol formaldeído. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 52-59, jan./jun. 1996.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding: principles in practice**. New York: V. N. Reinhold, 1992. 453 p.

MENDES, L. M. ***Pinus* spp. na produção de painéis de partículas orientadas, "OSB"**. 2001. 156 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.

MENDES, L. M.; ALBUQUERQUE, C. E. C. de. Aspectos técnicos e econômicos da indústria brasileira de chapas de fibras e partículas. **Revista da Madeira**, São Paulo, n. 53, p. 14-22, 2000.

MENDES, S. A. et al. Utilização de adesivos alternativas na produção de painéis OSB de clones de *Eucalyptus* spp. **Cerne**, Lavras, v. 13, n. 3, p. 257-263, jul./set. 2007.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Carbondale: Southern Illinois University, 1974. v. 1, 243 p.

OKINO, E. Y. A. et al. Propriedades de chapas OSB de *Eucalyptus grandis* e de *Cupressus glauca*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 36, n. 78, p. 123-131, jun. 2008.

_____. Resistência físico-mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 52, p. 35-42, set. 1997.

PAN, M.; LIAN, M.; ZHOW, D. Chemical characteristics of straw fiber and properties of straw fiberboards with different pretreatments. **Frontier of Forestry**, Beijing, v. 2, n. 2, p. 238-240, Apr. 2007.

PARIDAH, M. T. et al. Bonding properties and performance of multi-layered kenaf board. **Journal of Tropical Forest Science**, Wallingford, v. 21, n. 2, p. 113-122, Mar. 2009.

PAULA, J. E. de. Anatomia e dendrometria de *Mimosa artemisiana* e *Eucalyptus grandis*. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 30, n. 6, p. 745-757, jun. 1995.

PIZZI, A. Phenolic resin wood adhesives. In: _____. **Advanced wood adhesives technology**. New York: CRC, 1994. p. 89-151.

PRATA, J. G. **Estudo da viabilidade tecnologica do uso de espécies de pinus: tropicais para produção de painéis colados lateralmente: Edge Glued Panels - EGP**. 2010. 113 p. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

SAMPAIO, P. T. B.; RESENDE, M. D. V.; ARAÚJO, A. J. de. Estimativa de parâmetros genéticos e métodos de seleção para o melhoramento genético de *Pinus oocarpa* Schiede. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 5, p. 625-636, maio 2002.

SCHULTZ, J.; NARDIN, M. Theories and mechanisms of adhesion. In: PIZZI, A.; MITAL, K. L. (Ed.). **Handbook of adhesive technology**. New York: M. Dekker, 1994. p. 19-32.

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

SOBRAL FILHO, M. **The influence of wood furnish type on properties of oriented strand panels**. 1979. 93 f. Thesis (Ph.D. in Philosophy) - University of Idaho Graduate School, Idaho, 1979.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA. **Contribuição do grupo de trabalho “madeira e floresta” ao fórum de competitividade da cadeia produtiva da indústria de madeira e móveis do MDIC**. São Paulo, 2000. 33 p.

SZABO, T.; GAUDERT, P. C. L. Fast internal bond test for waferboard. **Forest Production Journal**, Madison, v. 28, p. 388-440, 1978.

TOMAZELLO, M.; BARRICHELO, L. E. C.; COSTA, J. C. da. Análise da madeira de compressão em *Pinus oocarpa* e *Pinus strobus* Var. *chiapensis*: composição química. **Boletim do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 31, p. 69-73, dez. 1985.

TOMAZELLO FILHO, M. Variação radial da densidade básica e da estrutura anatômica da madeira *Eucalyptus saligna* e *E. grandis*. **Boletim do Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais**, Piracicaba, n. 29, p. 37-45, abr. 1985.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A. Correlação canônica das características químicas e físicas de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 9, n. 1, p. 66-80, jan./jun. 2003.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 339 p.

VICK, C. B. Adhesive bonding of wood materials. In: FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook: wood as an engineering material**. Madison: USDA, 1999. p. 1-23.

VITAL, B. R. **Método de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: SIF, 1984. 21 p.

VITAL, B. R.; LEHMANN, B.; BOONE, R. S. How species and board densities affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, Madison, v. 24, n. 12, p. 37-45, 1974.

WALINDER, M. E. P.; JOHANSSON, I. Measurement of wood wettability by the Wihelmy ethod, part 1. **Holzforschung**, Berlin, v. 55, n. 1, p. 21-32, Jan. 2001.

WALKER, J. C. F. **Primary wood processing: principles and practice**. London: Chapman & Hall, 1993. 416 p.

WINISTORFER, P. M.; MCFARLAND, D. L.; RICHARD, C. S. Evaluating the performance of ten wax formulations and three application rates on properties of oriented strand board. In: WASHINGTON STATE UNIVERSITY INTERNATIONAL PARTICLEBOARD-COMPOSITE MATERIALS SYMPOSIUM, 26., 1992, Washington. **Proceedings...** Washington: Pulmann, 1992. p. 236-250.

YASAR, S. et al. The correlation of chemical characteristics and UFResin ratios to physical and mechanical properties of particleboard manufactured from vine prunings. **Scientific Research and Essays**, Victoria, v. 5, n. 8, p. 737-741, Apr. 2010.