

**AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE E SUA
INFLUÊNCIA SOBRE PROPRIEDADES
FÍSICAS E DE COLAGEM EM
PAINÉIS AGLOMERADOS**

LINA BUFALINO

2010

LINA BUFALINO

**AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE E SUA INFLUÊNCIA SOBRE
PROPRIEDADES FÍSICAS E DE COLAGEM EM PAINÉIS
AGLOMERADOS**

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 obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Lourival Marin Mendes

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2010

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

Bufalino, Lina.

Avaliação da permeabilidade e sua influência sobre propriedades físicas e de colagem em painéis aglomerados / Lina Bufalino. –

Lavras : UFLA, 2010.

80 p. : il.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2010.

Orientador: Lourival Marin Mendes.

Bibliografia.

1. Bagaço de cana de açúcar. 2. Cisalhamento na linha de cola. 3. Absorção de água. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD – 674.836

LINA BUFALINO

**AVALIAÇÃO DA PERMEABILIDADE E SUA INFLUÊNCIA SOBRE
PROPRIEDADES FÍSICAS E DE COLAGEM EM PAINÉIS
AGLOMERADOS**

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 obtenção do título de “Mestre”

APROVADA em 26 de fevereiro de 2010

Prof. Fábio Akira Mori

UFLA

Prof. José Tarcísio Lima

UFLA

Prof. Geraldo Bortoletto Júnior

ESALQ

Prof. Lourival Marin Mendes
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

Dedico esta dissertação à minha mãe que está no céu garantindo todas as minhas conquistas.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado forças para concluir este trabalho. Quanto às pessoas ao meu redor, em primeiro lugar, agradeço à minha mãe, que apesar de ter deixado este mundo uma semana antes de eu começar a caminhada do meu mestrado, tenho certeza que esteve ao meu lado durante o tempo todo. Eu sei que sem o apoio que tive dela a minha vida inteira, nunca teria conquistado tudo que tenho hoje. Agradeço também ao meu pai, por ter me proporcionado todas as chances de estudar na vida. Às minhas irmãs, Sílvia e Carla, e ao meu cunhado, Freddy, que sempre me apoiaram e acreditaram em mim, mesmo quando nem eu mesma podia fazer isso. Ao professor Lourival, não só pela orientação, mas também pelos conhecimentos compartilhados e pela amizade e calma, que foram tão importantes para realização do meu mestrado em uma época difícil da minha vida. Agradeço também pelos conhecimentos adquiridos, aos professores Akira, Paulo, Tarcísio e, em especial, ao Zé Reinaldo, pela adaptação do aparelho de permeabilidade. Ao Héber, por ter sido essencial para realização deste trabalho e de outras “maluquices científicas” de meu interesse. À Tata, pela ajuda nas questões estatísticas. Aos laboratoristas Wilson e Claret e ao doutorando Edi, pelo auxílio necessário para vencer os desafios da minha dissertação. Ao aluno de iniciação científica, Mário, por toda ajuda prestada. Agradeço também a todos os meus amigos pelo apoio e confiança. Às meninas da minha república: Kamila, Gabriela e Tuti. Às minhas amigas de infância Marília, Bruna e Flávia, que, apesar da distância, nunca deixaram de depositar muita fé em mim. Finalmente, sou grata a todas as pessoas tão maravilhosas que conheci na Ciência e Tecnologia da Madeira. Por toda amizade e companheirismo, agradeço, em especial, Meire, Zé Benedito, Xisto, Simone, Tati, Natália e Rafael. À Vânia e ao Allan, minha eterna gratidão pela união, amizade e todas as conquistas realizadas.

SUMÁRIO

RESUMO	i
ABSTRACT	ii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
3 REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1 Painéis de madeira	4
3.2 Painéis de resíduos agrícolas	4
3.3 Painéis aglomerados	4
3.3.1 Material lignocelulósico	5
3.3.1.1 Bagaço de cana-de-açúcar: matéria-prima de estudo.....	7
3.3.2 Densidade aparente e razão de compactação	9
3.3.3 Adesivos	10
3.3.4 Estrutura do colchão e geometria das partículas.....	12
3.3.5 Variáveis do ciclo de prensagem	13
3.4 Permeabilidade da madeira.....	13
3.4.1 Permeabilidade em coníferas	16
3.4.2 Permeabilidade em folhosas	17
3.4.3 Madeira sólida x painéis aglomerados.....	17
4 MATERIAL E MÉTODOS	21
4.1 Material.....	21
4.2 Manufatura dos painéis em laboratório.....	21

4.3 Teste de permeabilidade	22
4.3.1 Obtenção e preparo dos corpos de prova	22
4.3.2 Adaptação do permeâmetro	26
4.3.3 Determinação da permeabilidade.....	28
4.4 Ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola	30
4.4.1 Obtenção e preparo dos corpos de prova	30
4.4.2 Determinação da resistência da linha de cola	32
4.5 Determinação das propriedades físicas dos painéis	33
4.6 Plano experimental e análise estatística dos dados	33
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
5.1 Densidade aparente	36
5.2 Permeabilidade.....	37
5.3 Permeabilidade x resistência ao cisalhamento na linha de cola.....	48
5.4 Permeabilidade x absorção de água	52
6 CONCLUSÕES	59
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60
ANEXOS	60

RESUMO

BUFALINO, Lina. **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.

Este trabalho objetivou determinar a permeabilidade e avaliar seu efeito sobre propriedades físicas e de colagem nos seguintes painéis aglomerados: painéis de bagaço de cana-de-açúcar produzidos em laboratório com diferentes variáveis de processamento, painéis comerciais de bagaço de cana-de-açúcar e painéis comerciais de madeira. Para obtenção da permeabilidade, foi utilizado o método do rotâmetro adaptado, ou seja, o fluxo utilizado foi o ar atmosférico para determinação da permeabilidade a gases dos painéis. A resistência ao cisalhamento na linha de cola foi obtida em amostras de painel unidas com adesivo PVA. A densidade e absorção de água após 2 e 24 horas dos painéis foram determinadas segundo a norma American Society for Testing and Material - ASTM (1999). O delineamento foi inteiramente casualizado, composto por 13 tratamentos e 4 repetições. As médias de permeabilidade dos painéis foram agrupadas para realização de contrastes de interesse. As correlações lineares entre a permeabilidade e resistência ao cisalhamento na linha de cola e absorção após 2 e 24 horas de imersão em água foram verificadas. Foi possível concluir que: A permeabilidade média obtida para os painéis aglomerados foi de $5,62 \text{ cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{s}$; ocorreu uma alta variação entre os valores de permeabilidade dos painéis comerciais; a permeabilidade em painéis aglomerados pode ser influenciada por fatores como tamanho de partículas na superfície e densidade aparente; em geral, foi possível observar que o tipo, teor, posicionamento e combinação entre resinas não exerceram influência sobre a permeabilidade dos painéis de laboratório; os painéis manufaturados em laboratório exibiram decréscimo da resistência ao cisalhamento na linha de cola com o aumento da permeabilidade. A tendência contrária foi observada para os painéis comerciais; para os painéis manufaturados em laboratório, aumentos nos valores de permeabilidade ocasionaram aumentos de absorção de água. Já para os painéis comerciais não foi possível observar uma influência clara da permeabilidade sobre absorção de água.

Palavras-chave: bagaço de cana-de-açúcar, absorção de água, cisalhamento na linha de cola

Comitê Orientador: Lourival Marin Mendes - UFLA (Orientador), Fábio Akira Mori- UFLA e José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA

ABSTRACT

BUFALINO, Lina. **Evaluation of permeability and its influence on physical and gluing properties of particleboards.** 2010. 80 p. Dissertation (Master in Wood Science and Technology) – Federal University of Lavras, Lavras.

This work aimed to determine the permeability and evaluate its effect on physical and gluing properties of the following particleboards: sugar cane bagasse panels produced in laboratory using different processing variables, commercial sugar cane bagasse panels and commercial wood panels. The rotameter method with adaptations was used to obtain the permeability values, which means that the atmospheric air was used to determine the gas permeability of the panels. The glue line shear strength was obtained in panel samples glued together with PVA adhesive. The density and water absorption after 2 and 24 hours were determined according to American Society for Testing and Material - ASTM (1999). The experimental design was entirely randomized, made up of 13 treatments and 4 repetitions. The permeability means were adequately grouped to allow specific statistics contrasts. The linear correlations between permeability and the glue line shear strength and water absorption after 2 and 24 hours were verified. It was possible to conclude that: The mean permeability obtained for the panels was $5,62 \text{ cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{s}$; it occurred a high variation between the permeability values of commercial particleboards; the permeability of particleboards may be affected by factors such as size of the particles in the surface and apparent density; in general, it was possible to observe that the type, content, position and combination of resins did not affect the permeability of laboratorial particleboards; the laboratorial particleboards exhibited decrease of glue line shear strength with permeability increase. The opposite condition was observed for commercial panels; for the laboratorial particleboards, increases in the permeability values caused higher water absorptions after 2 and 24 hours, while for commercial particleboard it was not possible to observe a clear influence of the permeability on water absorption.

Key-words: sugar cane bagasse, water absorption, glue line shear strength

Guidance Committee: Lourival Marin Mendes - UFLA (Major Professor), Fábio Akira Mori- UFLA and José Reinaldo Moreira da Silva - UFLA

1 INTRODUÇÃO

Os painéis de madeira aglomerada, comercialmente denominados de “aglomerados”, são produzidos a partir de partículas de um material lignocelulósico, incorporadas por um adesivo sintético e posteriormente reconstituídas numa matriz randômica através de temperatura e pressão (Iwakiri, 2000). A madeira é a principal matéria-prima para a produção de aglomerados em todo o mundo, sendo que no Brasil destacam-se os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, presentes nos extensos plantios florestais do país.

No entanto, teoricamente, painéis aglomerados podem ser produzidos com qualquer outro material lignocelulósico. Mendes et al. (2009) afirmam que a agroindústria brasileira oferece muitos tipos de resíduos lignocelulósicos potenciais para a produção deste tipo de painel como sabugo de milho, casca de arroz, casca de café, casca de amendoim, caule da bananeira, casca de coco, caule de mandioca, casca de mamona e bagaço de cana. Este último, em função das suas características químicas e morfológicas, é considerado o mais promissor para a substituição da madeira como matéria-prima para produção de painéis aglomerados. Assim, a viabilidade técnica de utilização do bagaço de cana para este fim já vem sendo estudada por alguns pesquisadores (Okino et al., 1997; Teixeira et al., 1997; Widyorini et al., 2005; Battistele et al., 2008; Mendes et al., 2009).

A grande maioria dos trabalhos sobre painéis aglomerados, porém, tratam principalmente de absorção de água, inchamento em espessura, flexão estática, compressão e ligação interna, sendo que outras propriedades relevantes como, por exemplo, relativas à qualidade para acabamento e colagem, foram pouco estudadas até o momento. Essas, no entanto, são de suma importância, uma vez que esses produtos são destinados principalmente a usos internos e intermediários como móveis, portas, pisos e divisórias, motivo pelo qual frequentemente passam por processos de acabamento, os quais podem ser

pinturas com vernizes ou tintas diretamente na superfície ou algum tipo de produto de revestimento como lâminas naturais, “finish foil” e papel melamínico. Além disso, painéis aglomerados frequentemente são colados entre si para a formação de objetos de interesse para uso final.

Uma possível maneira de se avaliar o potencial de acabamento e colagem de painéis aglomerados é através da avaliação de sua permeabilidade, visto que, segundo Déon (1989), esta é uma propriedade que indica aproximadamente a aptidão que um corpo sólido tem de se deixar penetrar por um produto. Portanto, sua determinação auxiliaria na previsão do comportamento e mobilidade de adesivos e produtos para acabamento em painéis aglomerados.

Outra importância do conhecimento da permeabilidade em painéis aglomerados trata-se da sua possível influência sobre a sorção e a dessorção de água desses produtos, já que esta propriedade causa alterações de umidade em materiais à base de matérias primas lignocelulósicas e, conseqüentemente, pode afetar suas propriedades físicas e mecânicas. Dessa forma, a entrada de água pela estrutura porosa de painéis aglomerados sob condições ambientais de umidade mais severas poderia ser intensificada por maiores valores de permeabilidade.

Assim, a falta de informação a respeito da permeabilidade em painéis aglomerados, bem como de sua influência sobre outras propriedades, ressalta a importância de se iniciar estudos a esse respeito.

2 OBJETIVOS

- **Geral:** Determinar a permeabilidade e avaliar sua influência sobre propriedades físicas e de colagem nos seguintes painéis aglomerados: painéis de bagaço de cana-de-açúcar produzidos em laboratório com diferentes variáveis de processamento, painéis comerciais de bagaço de cana-de-açúcar e painéis comerciais de madeira.

- **Específicos**
 1. Determinar e avaliar a permeabilidade média em painéis aglomerados;
 2. Comparar painéis comerciais com painéis de laboratório quanto à permeabilidade e verificar o efeito da densidade dos mesmos sobre esta propriedade;
 3. Verificar o efeito das seguintes variáveis de processamento sobre a permeabilidade de painéis aglomerados produzidos em laboratório:
 - Tipo e teor de resina;
 - Combinação e posicionamento de resinas;
 - Tipo de colchão;
 4. Comparar a diferença de permeabilidade entre os painéis comerciais;
 5. Determinar a resistência ao cisalhamento na linha de cola em amostras coladas de painéis aglomerados e correlacionar esta propriedade com a permeabilidade em painéis aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar produzidos em laboratório;
 6. Determinar a absorção de água de painéis aglomerados e correlacionar esta propriedade com a permeabilidade em painéis aglomerados de laboratório e comerciais.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Painéis de madeira

Painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos de elementos obtidos a partir da redução da madeira sólida, os quais são posteriormente reconstituídos através de ligação adesiva. Dentre os diversos tipos existentes, os compensados multilaminados, painéis de partículas orientadas, chapas duras, painéis de fibras de média densidade, painéis madeiramento, painéis isolantes e painéis de madeira aglomerada são os principais exemplos. Suas diferenças se dão de acordo com o elemento de madeira, tipo de aglomerante ou resina e variáveis de processo utilizadas.

3.2 Painéis de resíduos agrícolas

Painéis de resíduos agrícolas são produzidos a partir de algum material lignocelulósico oriundo de produção agrícola. Segundo Youngquist et al. (1993), eles estão inseridos em categorias similares a algumas das utilizadas para painéis de madeira, sendo que podem ser classificados como painéis de fibra de média densidade, chapas duras, painéis isolantes de baixa densidade ou aglomerados.

3.3 Painéis aglomerados

Aglomerado é um termo genérico para painéis manufaturados com partículas de materiais lignocelulósicos (geralmente madeira) combinados com uma resina sintética ou outro aglomerante adequado. A união entre os componentes é feita através de calor e pressão em uma prensa quente (Maloney, 1966).

3.3.1 Material lignocelulósico

De acordo com Kelly (1977), a qualidade das partículas de madeira utilizadas para a produção de painéis aglomerados é avaliada por propriedades como densidade, acidez, teor de extrativos e trabalhabilidade. Dentre estas, a densidade é a mais estudada, sendo que madeiras que apresentam baixos valores para essa propriedade são consideradas como mais apropriadas para a produção de aglomerados.

As madeiras de espécies do gênero *Pinus* são as mais utilizadas para a produção de aglomerados no Brasil, já que, além de apresentarem baixa densidade, estão disponíveis em grande escala nas plantações florestais existentes no país (Iwakiri, 2005). A demanda crescente por madeira de *Pinus*, porém, torna necessária a utilização de espécies alternativas de reflorestamento, tais como as pertencentes ao gênero *Eucalyptus*, que também são amplamente cultivadas no Brasil e possuem potencial para produção de painéis aglomerados (Iwakiri et al., 2000).

No entanto, apesar da maior utilização da madeira para produção desses painéis no Brasil e no mundo todo, diversos países têm buscado a sua substituição, pelo menos parcial, por resíduos agrícolas, de forma a promover preservação florestal e reutilização de materiais que eventualmente se tornariam um problema ambiental. Deve-se ressaltar, ainda, que essa prática pode ser especialmente interessante em locais onde há escassez de fontes fornecedoras de madeira.

A China, por exemplo, é um dos países que mais vem se destacando nesta tecnologia. A criação do “Programa de Proteção das Florestas Anuais”, com intuito de promover restauração e proteção de florestas nacionais, somada com a demanda crescente por produtos reconstituídos e, ainda, com a diminuição da oferta de madeira, incentivaram o governo do país a desenvolver programas que encorajem a substituição da madeira por outros produtos para

diversos fins ao longo dos últimos 10 anos, conforme apresentado na FIGURA 1 (Xu et al., 2004).

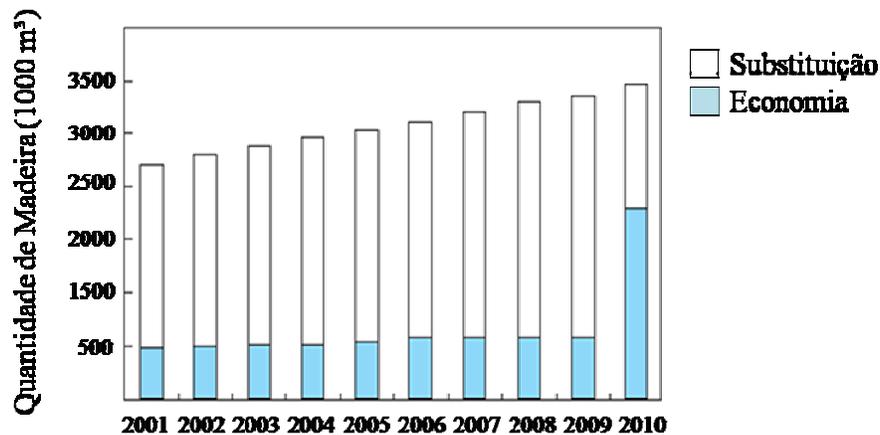


FIGURA 1 Economia e substituição de madeira por outros produtos na China de 2001 a 2010 (Xu et al., 2004).

De acordo com os mesmos autores, a produção de painéis agrícolas se apresenta como o principal interesse para utilização desses resíduos, já que a maioria deles apresenta tecidos fibrosos e possui propriedades celulósicas atrativas similares às da madeira para esse fim.

No Brasil, essa prática também poderia ser bastante vantajosa devido à grande quantidade e variedade de resíduos agroindustriais que são gerados no país. Assim, atualmente, pesquisadores brasileiros vêm realizando trabalhos para verificar a viabilidade de utilização de alguns desses subprodutos para a produção de painéis aglomerados, principalmente em mistura com partículas de madeira. Como exemplo, pode-se citar a casca de arroz, cuja potencialidade para produção de painéis aglomerados, em mistura com partículas de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, foi verificada por Pauleski et al. (2007) e Melo et al. (2009). A qualidade de aglomerados feitos de madeira de paricá

(*Schizolobium amazonicum* Huber Ducke) combinada com fibras de coco foi verificada por Colli (2007). Já painéis aglomerados de casca de amendoim e casca de arroz em mistura com embalagens plásticas e cartonadas, ao invés de madeira, foram estudados por Caraschi et al. (2009).

3.3.1.1 Bagaço de cana-de-açúcar: matéria-prima de estudo

O bagaço é um resíduo fibroso e lignocelulósico originado nas indústrias sucro-alcooleiras durante a obtenção do caldo da cana-de-açúcar. Seu destino geralmente é a queima nas caldeiras para geração de energia nas próprias indústrias, mas vários outros produtos podem ser obtidos de seu processamento como, por exemplo, alcalóides, cogumelos e ração animal enriquecida com proteínas (Pandey et al., 2000).

Outra possibilidade para agregar valor ao bagaço de cana-de-açúcar é a sua utilização para produção de painéis aglomerados. Segundo Widyorini et al. (2005), dentre as inúmeras matérias-primas não lenhosas que apresentam potencial para esta finalidade, o bagaço de cana é considerado o mais promissor para substituição da madeira, já que estes materiais lignocelulósicos apresentam características químicas e anatômicas similares. Quimicamente, o bagaço de cana é formado por aproximadamente 50% de α -celulose, 25% de hemiceluloses, 22,6% de lignina e 2,4% de cinzas (Pandey et al., 2000). Já a madeira de folhosas é composta por aproximadamente 45% de β -celulose, 30% de hemiceluloses, 20% de lignina e 3% de extrativos, enquanto que a madeira de coníferas apresenta em torno de 42% de β -celulose, 27% de hemiceluloses, 28% de lignina e 5% de extrativos (Klock et al., 2005).

Em alguns países, a produção comercial de painéis aglomerados de bagaço de cana já é uma realidade. Segundo Atchison & Lengel (1985), citados por Youngquist et al. (1996), a primeira planta de produção de painéis aglomerados desse resíduo foi construída em 1920 pela indústria Celotex,

Lousiana, Estados Unidos. Desde então, mais de 20 plantas deste tipo foram construídas por todo o mundo. Como exemplo, pode-se citar a empresa Taboplan na Venezuela em 1958 (Smith, 1976; citado por Golbabaie, 2006). De acordo com Wei et al. (2004), o bagaço de cana também já é bastante utilizado para produção comercial de painéis aglomerados na China.

No Brasil, até o momento, painéis aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar ainda não foram produzidos em escala comercial. Alguns pesquisadores, porém, têm avaliado a qualidade desses produtos manufaturados em escala laboratorial. Battistele et al. (2008) confeccionaram painéis aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar misturado com bambu em diferentes proporções e obtiveram melhores resultados para painéis puros de bagaço de cana. Okino et al. (1997) verificaram a influência da acetilação de partículas de bagaço de cana na qualidade de painéis aglomerados e encontraram efeitos positivos e negativos sobre as propriedades físicas e mecânicas, respectivamente. Mendes et al. (2009) compararam diferentes tipos e teores de resina para a produção de aglomerados de bagaço de cana, mas concluíram que são necessários ajustes nas variáveis de processamento para enquadrar os painéis dentro dos mínimos exigidos por norma. Já Teixeira et al. (1997) verificaram que painéis aglomerados de bagaço de cana possuem resistência natural moderada a fungos apodrecedores.

Deve-se ressaltar ainda que, atualmente, o Brasil é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar. Em 2008, a área cultivada no país foi de 8.141.135 ha e a produção correspondente foi de 648.921.280 t (Food And Agricultural Organization Of United Nations - FAO, 2010). De acordo com Cordeiro (2008), o bagaço gerado pela extração do caldo corresponde a aproximadamente 30% da cana moída, sendo que cerca de 90% desse montante é utilizado para queima em caldeiras para geração de vapor nas usinas brasileiras. Assim, a consequente geração de bagaço em grande quantidade,

trata-se, claramente, de um problema de impacto ambiental que poderia ser minimizado pela utilização desse resíduo para produção de painéis aglomerados, produto de maior valor agregado em relação a combustíveis para caldeiras.

3.3.2 Densidade aparente e razão de compactação

A densidade aparente do painel é definida pela razão entre sua massa e o respectivo volume em uma dada umidade, geralmente a de equilíbrio.

De acordo com Vital et al. (1972), a densidade pode ser considerada como uma medida da compactação das partículas individuais de um painel e depende principalmente da densidade do material lignocelulósico utilizado e da pressão aplicada durante o processo de prensagem. Os fatores que podem causar aumento da densidade do painel são o aumento do peso da matéria-prima no colchão, aumento da compressão do colchão, ou ambos.

Normalmente, o aumento da densidade aparente em painéis aglomerados resulta em melhoras de suas propriedades mecânicas como resistência à flexão estática, compressão paralela, ligação interna e outras. Para as propriedades físicas, porém, o efeito da densidade do painel é mais variável. A maioria dos trabalhos na literatura aponta influência negativa do aumento da densidade sobre propriedades como absorção de água e inchamento em espessura, sendo esta tendência atribuída à maior superfície de contato das partículas com a água e maior liberação das tensões geradas durante o processo de prensagem (Iwakiri et al., 2004). No entanto, Gatchell et al. (1966) enfatizam que o aumento da densidade do painel pode resultar em um aumento na eficiência do uso do adesivo devido à adição ou melhora de colagens adesivas em função da maior área de contato entre partículas, o que pode resultar em uma diminuição dos inchamentos em espessura. A ocorrência da diminuição da absorção de água em painéis aglomerados com o aumento da densidade é frequentemente

explicada pela maior compactação das partículas do painel, fator responsável pela geração de uma barreira física à entrada de água.

A razão de compactação do painel é definida pela razão entre a densidade do painel e a densidade da madeira utilizada para sua produção. A faixa ideal para esta propriedade varia de 1,3 a 1,6 (Kelly, 1977; Moslemi, 1974; Tsoumis, 1991; Maloney, 1993).

Os efeitos da razão de compactação sobre as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados são similares aos causados pela variação da densidade aparente, pois o aumento da primeira causa o aumento proporcional da segunda, desde que mantido o mesmo material lignocelulósico.

3.3.3 Adesivos

A uréia-formaldeído é o adesivo mais utilizado para produção de aglomerados. Segundo Pizzi (1994), esse produto apresenta as seguintes vantagens:

- a) solubilidade inicial em água, ou seja, sua diluição para comercialização é viável e, conseqüentemente, seu custo pode ser reduzido;
- b) dureza após a cura;
- c) não inflamável;
- d) ausência de cor dos polímeros após a cura;
- e) fácil adaptabilidade a uma variedade de condições de cura.

No entanto, apesar do seu menor custo em comparação com os adesivos fenólicos e resorcínicos, os adesivos à base de uréia são bem mais sensíveis às condições de alta umidade pois, nestes casos, pode ocorrer deterioração da colagem causada pela hidrólise das ligações amino-metilênicas. Além disso, trata-se de um produto que não apresenta resistência à fervura. Dessa forma, o adesivo uréia-formaldeído é caracterizado como de baixa durabilidade (Marra, 1992; Pizzi, 1994).

A inclusão de emulsão de parafina na composição de painéis aglomerados produzidos com uréia-formaldeído pode amenizar os problemas causados por condições de alta umidade. De acordo com Kelly (1977), a parafina possui efeito inibidor sobre a absorção de água líquida, resultando em uma diminuição de inchamentos do painel. Brito et al. (2006) avaliaram a qualidade de painéis manufaturados com 100% de partículas de *Pinus elliotti* Emgelm. de 12 anos de idade, uréia-formaldeído a 8% e parafina a 1% e encontraram valores de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão de 51,04 e 53,83%, respectivamente. Já Iwakiri et al. (2001) produziram painéis aglomerados sem parafina utilizando 5 espécies de pinus diferentes e 8% de uréia-formaldeído. Os autores encontraram valores de absorção de água após 24 horas variando de 78,69 a 93,81%, ou seja, consideravelmente superiores aos do trabalho citado anteriormente.

As faixas de viscosidade e tempo de gelatinização ideais para a utilização do adesivo uréia-formaldeído na produção de aglomerados são de 100 a 145 cP e 3 a 12 minutos, respectivamente. Para o ciclo de prensagem recomenda-se temperatura e pressão nas faixas de 150 a 200°C e de 2 a 35 Kgf/cm², respectivamente. O teor de umidade de partículas de produtos colados com uréia-formaldeído é de 7 a 8% para o miolo e 10 a 12% para a superfície. Os teores de resina utilizados (sólidos) devem ser de 6 a 8% para miolo do painel e 10 a 11% para as superfícies (Pizzi, 1994).

O adesivo melamina-formaldeído está entre os mais utilizados para produção de painéis de aglomerados, visto que a maior resistência a água em relação ao adesivo uréia-formaldeído trata-se de sua principal vantagem. No entanto, adesivos à base de melamina apresentam um custo mais elevado em relação à uréia-formaldeído. Por esta razão, adesivos melamina-uréia-formaldeído, que têm seu custo reduzido pela mistura com uréia-formaldeído, são frequentemente utilizados (Pizzi, 1994). No & Kim (2007), compararam a

qualidade de painéis produzidos com uréia-formaldeído e melamina-uréia-formaldeído e verificaram que a segunda resina proporcionou aos painéis melhores propriedades físicas, maior resistência a água e menor emissão de formaldeído.

De acordo com Iwakiri (2005), a resina melamina-uréia-formaldeído apresenta temperatura de cura na faixa de 65 a 130°C.

Quanto ao teor de resina, 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. 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, sendo que o adesivo em excesso aumenta o custo do painel e permanece entre as partículas sem função específica.

3.3.4 Estrutura do colchão e geometria das partículas

Segundo Moslemi (1974), as partículas podem ser distribuídas de maneiras distintas para formação de três tipos diferentes de colchão:

- Homogêneo: sem diferenciação em camadas;
- Multicamadas: com partículas menores na superfície e maiores no miolo;
- Graduado: o tamanho das partículas decresce gradualmente do miolo até a superfície.

O mais utilizado é o segundo tipo, multicamadas, com 3 camadas. De acordo com Kelly (1977), partículas grandes podem ser satisfatoriamente coladas a teores de resina mais baixos, já que a área superficial é drasticamente reduzida à medida que o tamanho de partículas aumenta. No entanto, a utilização

de partículas menores na superfície dos painéis resulta em qualidade estética mais satisfatória.

3.3.5 Variáveis do ciclo de prensagem

A função da prensa quente na produção de aglomerados é consolidar o colchão até a espessura e densidade desejadas, seguido da polimerização do adesivo entre partículas adjacentes. A temperatura utilizada na prensagem facilita a cura do adesivo e permite a diminuição do tempo de prensagem. Para tanto, o mais utilizado é o sistema de pratos aquecidos que entram em contato com a superfície. Já o tempo de prensagem é necessário para que o miolo do colchão também atinja a temperatura necessária para a cura do adesivo, pois o aquecimento não é uniforme ao longo da espessura do painel. Além disso, é necessário que o painel seja prensado por tempo suficiente até a umidade em excesso evaporar do colchão. A pressão é de importância inferior em relação às duas outras variáveis quando existem anteparos que a interrompem, logo após o alcance da consolidação inicial do colchão (Kelly, 1977).

3.4 Permeabilidade da madeira

Segundo Siau (1971), a porosidade pode ser conceituada como a fração de volume vazio de um sólido. A permeabilidade, por outro lado, é a facilidade com que os fluidos são transportados através da estrutura de um sólido poroso sob a influência de gradiente de pressão.

O fluxo constante de fluidos através de materiais porosos está descrito pela lei de Darcy, a qual pode ser determinada, de forma geral, pela Equação 1. A FIGURA 2 esquematiza os componentes da lei de Darcy

$$k = \frac{\text{fluxo}}{\text{gradiente}} = \frac{VL}{tA\Delta P} \quad (\text{Equação 1})$$

Onde,

K = permeabilidade ($\text{cm}^3/\text{cm} \cdot \text{atm} \cdot \text{s}$)

V = volume do líquido que flui através da amostra (cm^3)

L = comprimento da amostra na direção do fluido (cm)

t = tempo de fluxo (s)

A = área da seção transversal da amostra perpendicular à direção do fluxo (atm)

ΔP = diferença de pressão (atm)

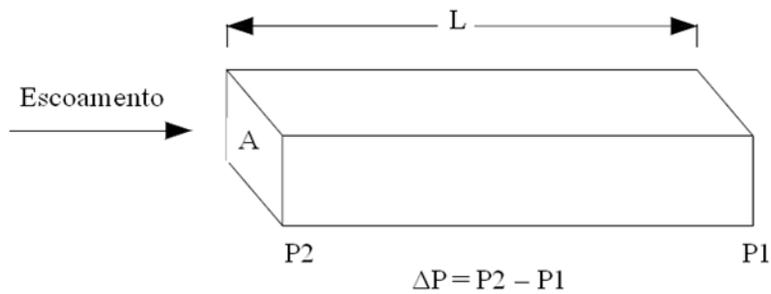


FIGURA 2 Esquema representativo dos componentes da lei de Darcy (Siau, 1971).

Geralmente, na Equação 1, assume-se a condutividade como constante, sendo esta chamada de permeabilidade. Para tanto, as pressuposições da lei de Darcy são:

- a) o fluxo é viscoso e linear. Dessa forma, a velocidade linear e a taxa de fluxo volumétrico são diretamente proporcionais à pressão diferencial aplicada;
- b) o fluido é homogêneo e incompressível;

- c) o meio poroso é homogêneo;
- d) não existe interação do fluido com o substrato;
- e) a permeabilidade é independente do comprimento da amostra na direção do fluxo.

No entanto, essas pressuposições muitas vezes são violadas quando a lei de Darcy é aplicada para o fluxo de gases e líquidos aquosos através da madeira. Sobre a pressuposição “a”, fluxo viscoso geralmente ocorre quando as aberturas capilares são tão pequenas quanto na madeira. Nestes casos, existe uma alta taxa de área superficial para volume e, sob essas condições, as altas velocidades de fluxo necessárias para turbulência são improváveis, mas o fluxo não linear pode ocorrer a velocidades relativamente mais baixas quando o fluido se move de uma capilaridade grande para uma pequena como, por exemplo, de um lume de traquédeo para uma abertura de pontuação. No caso da pressuposição “b”, líquidos são essencialmente incompressíveis, mas a alta compressibilidade de gases deve ser levada em consideração. Sobre as pressuposições c e d, deve-se considerar que a madeira possui uma estrutura extremamente complexa e não homogênea. Além disso, quando a água flui através da madeira, existem forças de ligações de hidrogênio exercidas por sítios de sorção de hidroxilas na superfície da parede celular.

Quando a lei de Darcy é aplicada a um fluxo gasoso, a expansão do gás conforme ele se move através da amostra causa mudanças contínuas no gradiente e na taxa de fluxo volumétrica. Para levar isto em consideração, a Equação de Darcy é escrita da seguinte forma:

$$K_g = \frac{Q_g L P}{A \Delta P} \quad (\text{Equação 2})$$

Onde,

K_g = permeabilidade a gases superficial (cm^3 (gases) / $\text{cm} \cdot \text{atm} \cdot \text{s}$)

Q = taxa de fluxo volumétrico (cm^3/s)

L = comprimento da espécie na direção do fluxo (cm)

P = pressão na qual a taxa de fluxo é medida (atm)

A = área transversal da amostra perpendicular à direção do fluxo (cm^2)

\bar{P} = pressão média na amostra (atm)

O autor ressalta que a medida de permeabilidade a gases é muito mais simples em relação à permeabilidade a líquidos, pois os problemas associados com as forças capilares são eliminados.

3.4.1 Permeabilidade em coníferas

Segundo Panshin & Zeeuw (1970), o volume da madeira de coníferas é constituído por mais de 90% de traqueídeos longitudinais. Estes se tratam de células relativamente longas (3 a 5 mm), prismáticas, com 4 a 6 lados, e extremidades fechadas. As paredes celulares localizadas entre traqueídeos longitudinais possuem pares de pontoações do tipo areoladas. De acordo com Sjostrom (1981), a condução de água em uma árvore é possível devido à presença dessas pontoações, sendo que o transporte entre lumes de células adjacentes ocorre através de suas membranas, as quais consistem de lamela média e parede primária, tendo havido um recesso na formação da parede secundária.

Dessa forma, a permeabilidade longitudinal das madeiras de coníferas é controlada quase que exclusivamente por essas estruturas. No alburno verde, essas pontoações permitem facilmente a passagem de fluidos e partículas pequenas suspensas neles. Durante a secagem, no entanto, essas pontoações frequentemente se tornam aspiradas, resultando numa redução considerável da

permeabilidade. No caso do cerne, durante a sua formação, também ocorre aspiração das pontoações, além de incrustação por extrativos, fatores estes que diminuem a permeabilidade do cerne em relação ao alborno (Comstock & Côté, 1968; Comstock, 1970).

3.4.2 Permeabilidade em folhosas

A principal diferença entre a madeira de folhosas e coníferas é a presença de vasos na primeira, correspondentes aos poros no plano transversal. Vasos são estruturas tubulares de comprimento indeterminado, formados pelo alinhamento longitudinal de células denominadas elementos de vasos. Estes perdem total ou parcialmente a parede transversal para formação das placas de perfuração, estruturas que permitem comunicação entre as células. Entre vasos, há ainda comunicação através de pontoações areoladas (Panshin & Zeeuw, 1970). Behr et al. (1969), citados por Siau (1971), verificaram que os vasos são os principais meios para propagação de fluxos em madeiras de folhosas.

3.4.3 Madeira sólida x painéis aglomerados

Segundo Rayirath (2009), a importância da fluidez de líquidos ou gases através da estrutura porosa da madeira é amplamente reconhecida em processos como polpação, preservação e secagem, já que estes são consideravelmente afetados pela facilidade com que os fluidos se movem através de espaços internos na madeira sob gradiente de pressão estático ou dinâmico.

No entanto, no caso de painéis aglomerados, a aplicação de produtos preservantes contra agentes xilófagos é feita juntamente com a resina por aspersão durante sua homogeneização com as partículas. Dessa forma, a relevância do estudo da permeabilidade nestes produtos é diferente daquela para madeira sólida e está relacionada, dentre outros fatores, com a facilidade ou

dificuldade de aplicação de produtos de revestimento, sendo que, teoricamente, painéis muito permeáveis causariam a absorção excessiva destes (FIGURA 3).

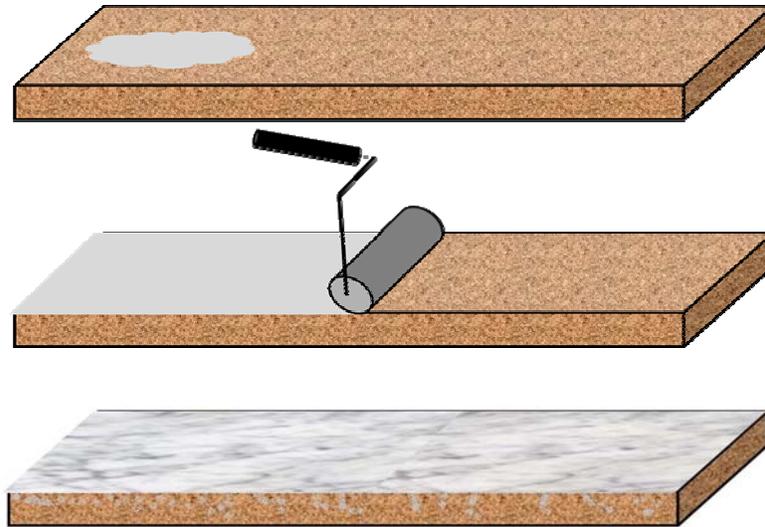


FIGURA 3 Esquema da problemática de aplicação de produtos de revestimentos em painéis muito permeáveis.

De acordo com Nemli et al. (2004), painéis particulados com sobrecamadas ou revestimentos como pinturas, envernizamento, lâminas, papéis de impregnação, “finish foil” e outros, apresentam características vantajosas em relação aos painéis “crus” (sem revestimentos), pois a aplicação desses produtos causa a supressão parcial da absorção de água e umidade do ambiente pelos painéis, tornando-os mais aptos para aplicações finais. Assim, a determinação da permeabilidade em painéis aglomerados auxiliaria na definição da quantidade e qualidade (como, por exemplo, no que se refere à viscosidade) de produtos de revestimentos a serem utilizados.

Pizzi (1994) apresenta 4 teorias que descrevem o fenômeno de adesão na madeira: Mecânica, da Difusão, Eletrônica e da Adesão Específica. No caso, a permeabilidade da madeira poderia influenciar significativamente a primeira, visto que esta descreve a formação de “ganchos” de adesivo responsáveis pela união de dois corpos porosos, após a penetração e solidificação do adesivo. Serpa et al. (2003) estudaram as espécies *Pinus elliotti* e *Eucalyptus grandis* para comparar a resistência da linha de cola por ensaio de cisalhamento e verificaram que a madeira da região próxima à medula apresentou maior resistência em relação à madeira próxima a casca. Os autores atribuíram o fato à maior densidade e menor permeabilidade da madeira próxima à casca.

Assim, madeiras mais permeáveis tendem, normalmente, a serem mais fáceis de colar em relação a madeiras menos permeáveis. Esta mesma analogia pode ser estendida para painéis aglomerados, fator importante visto que estes produtos são frequentemente colados entre si para produção de objetos de interesse.

Segundo Iwakiri (2005), a linha de cola formada entre dois substratos pode ser: faminta, sendo a quantidade de adesivo na linha de cola insuficiente; normal, quando a ligação entre os substratos é adequada; e pré-endurecida, quando o adesivo não é suficientemente absorvido antes da cura. Tanto a primeira quanto a última condição afetam negativamente o desempenho da junta colada.

Além dos fatores acabamento e colagem, o estudo da permeabilidade em aglomerados pode ainda ser importante se esta propriedade estiver relacionada com a facilidade desses painéis absorverem água do ambiente através de sua estrutura porosa. Este fenômeno, quando em excesso, pode afetar negativamente as propriedades mecânicas e causar instabilidade dimensional do painel aglomerado, resultando até, em alguns casos, na desclassificação do produto para o uso final. Este problema pode ser ainda mais relevante se o painel for

usado em condições de umidade um pouco mais severas por tempo prolongado. Hann et al. (1963) utilizaram o ensaio de envelhecimento acelerado para avaliar o efeito da exposição de painéis de madeira aglomerada de Douglas-Fir a condições variáveis de temperatura e umidade relativa sobre propriedades como módulo de ruptura e elasticidade em flexão estática, ligação interna e inchamento em espessura. Os autores verificaram que, durante a exposição contínua à umidade relativa de 90%, todos os painéis apresentaram decréscimo em resistência mecânica e aumento de espessura, especialmente durante o primeiro ano. A deterioração do adesivo e as falhas na estrutura do painel devido ao estresse de inchamento e encolhimento foram mencionadas como causas para os resultados obtidos no trabalho.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Material

Foi utilizado bagaço de cana obtido da usina alcooleira Monte Alegre do município de Areado, Minas Gerais, para a manufatura de painéis de aglomerados em laboratório.

Painéis aglomerados comerciais de bagaço de cana-de-açúcar produzidos na China e painéis aglomerados de madeira de eucalipto provenientes de duas indústrias brasileiras, A e B, foram utilizados para comparação com os painéis de laboratório.

4.2 Manufatura dos painéis em laboratório

Os painéis foram manufaturados na Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (UEPAM) da Universidade Federal de Lavras.

O bagaço de cana-de-açúcar foi processado em moinho martelo para a geração de partículas do tipo “sliver” de dois tamanhos diferentes, sendo que as peneiras de abertura de 6,14 e 1,72 mm foram utilizadas respectivamente para produção de partículas maiores e menores. O material foi seco a temperatura de $103 \pm 2^\circ\text{C}$ em uma estufa de circulação forçada de ar até atingir a umidade de 3% (base peso seco das partículas). O controle da umidade das partículas foi realizado com auxílio de um medidor de infravermelho.

As resinas uréia-formaldeído (teor de sólidos de 52%) e melamina-uréia-formaldeído (teor de sólidos de 54%) foram utilizadas tanto isoladamente quanto simultaneamente em diferentes camadas dos painéis. Foram produzidos aglomerados com dois teores de resina, 9 e 12%, os quais também foram aplicados isoladamente ou combinados entre si em diferentes camadas dos painéis. Em todos os painéis, foi adicionada parafina na proporção de 1% (base peso seco das partículas), tendo sido aplicada juntamente com as resinas nas

partículas de bagaço de cana-de-açúcar por meio de aspersão em um encolador do tipo tambor rotatório. A densidade pré-determinada para todos os painéis foi de $0,7 \text{ g/cm}^3$.

Uma caixa formadora com as dimensões de 480 mm de comprimento X 480 mm de largura foi utilizada para a produção de dois tipos de colchões de 15 mm de espessura: homogêneos e multicamadas de três camadas, sendo que nos primeiros foram utilizadas as partículas de bagaço maiores (obtidas na peneira de malha de 6,14 mm) e nos segundos as partículas menores (obtidas na peneira de malha de 1,72 mm) foram posicionadas na capa e as partículas maiores no miolo em uma proporção de 20/60/20 % da massa total do painel.

A pré-prensagem foi feita em uma prensa manual, enquanto que a prensagem foi feita em uma prensa hidráulica, com controle de temperatura e pressão. As variáveis do ciclo de prensagem foram: temperatura de 150°C , pressão de 40 Kgf/cm^2 e tempo de 8 minutos.

4.3 Teste de permeabilidade

4.3.1 Obtenção e preparo dos corpos de prova

Com o auxílio de uma serra circular, foi retirada uma amostra retangular próxima ao centro de dimensões $35 \times 9,5 \times 1,5 \text{ cm}$ de todos os painéis manufaturados em laboratório ($48 \times 48 \times 1,5 \text{ cm}$) e comerciais ($244 \times 122 \times 1,5 \text{ cm}$). Destas amostras, foram obtidos 4 corpos de prova de dimensões nominais de $2 \times 2 \times 1,5 \text{ cm}$ para a determinação da permeabilidade. A FIGURA 4 esquematiza a obtenção dos corpos de prova para a realização deste teste.

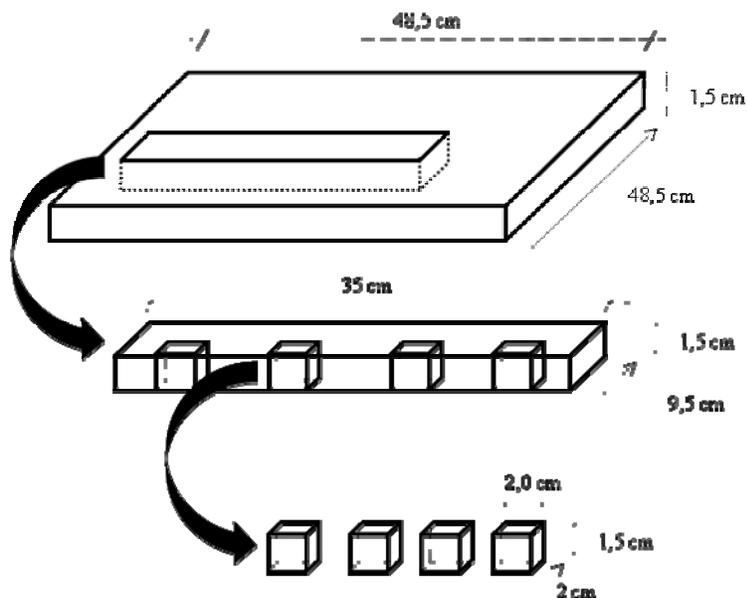


FIGURA 4 Esquema ilustrativo da obtenção de corpos de prova nos painéis para determinação da permeabilidade.

Os corpos de prova foram então mantidos em câmara de climatização (temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $60 \pm 5\%$) até atingirem massa constante.

Em seguida, foram determinadas as medidas reais da espessura e dos lados dos corpos de prova com o auxílio de um paquímetro de precisão de 0,01 mm.

Para a determinação da permeabilidade foi necessário impermeabilizar as laterais dos corpos de prova, correspondentes à espessura dos painéis, de forma a garantir que o fluxo de ar entrasse somente por suas superfícies transversais. Para tanto, foi utilizado um adesivo estrutural base epóxi de média fluidez (Compound Adesivo: Vedacit®). O produto foi anteriormente preparado pela mistura dos componentes A (resina epóxi) e B (poliamino-amida) na proporção de 1:1,5 (FIGURAS 5 e 6).



FIGURA 5 Componentes B e A.



FIGURA 6 Componentes misturados.

Anteriormente à aplicação do adesivo, as superfícies transversais dos corpos de prova foram cobertas com etiqueta adesiva de tamanho equivalente às suas áreas com intuito de evitar escoamento do produto nesta região. Para uma prevenção ainda maior, durante a aplicação, as superfícies foram pressionadas contra duas peças de madeira de tamanho adequado utilizando um parafuso tipo morsa. Foram feitas duas demãos com intervalo de 24 horas entre elas, sendo que as laterais foram lixadas antes da segunda aplicação. Após 7 dias, tempo necessário para a cura completa da resina epóxi, conforme recomendação do fabricante, as etiquetas foram retiradas. A FIGURA 7 ilustra a metodologia para preparação dos corpos de prova.

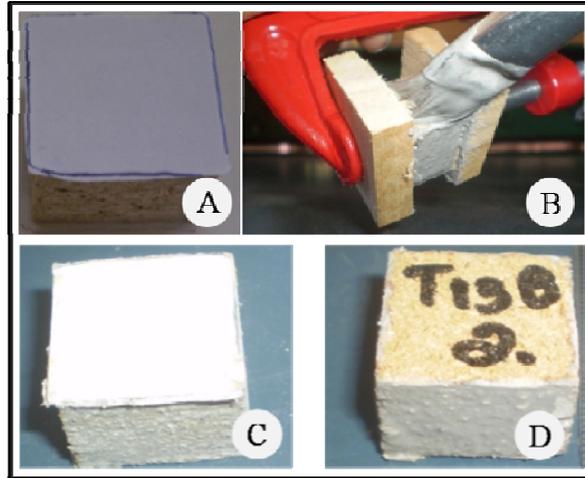


FIGURA 7 Sequência de preparação dos corpos de prova: A) recobrimento da superfície com etiqueta adesiva; B) impermeabilização das laterais do corpo-de-prova; C) corpo de prova após aplicação da resina epóxi; D) corpo de prova preparado para teste.

O material foi novamente conduzido para câmara de climatização (temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $60 \pm 5\%$) até atingir a umidade de equilíbrio.

Os corpos de prova foram encapados com borracha de câmara de pneu de bicicleta (tamanho PO-27/28) de 2,5 cm de comprimento. Com o auxílio de um estilete, foi feita uma fissura em cada um dos quatro ângulos da área para evitar que a borracha impermeabilizasse a superfície receptora de fluxo (FIGURA 8).



FIGURA 8 Corpo de prova encapado com destaque para as fissuras na borracha.

4.3.2 Adaptação do permeâmetro

A permeabilidade dos painéis aglomerados foi determinada em um permeâmetro pelo método do rotâmetro, o qual utiliza o fluxo de ar atmosférico através de um corpo sólido de forma a medir sua permeabilidade a gases.

Para tanto, adaptações foram realizadas no equipamento proposto por Silva et al. (2006) para ensaios de permeabilidade da madeira a gases. Os autores propõem que, de forma geral, os rotômetros sejam ligados a um conjunto de rolhas, as quais acoplam o corpo de prova cilíndrico e se ligam a bomba de vácuo.

Neste trabalho, o equipamento foi adaptado sem o conjunto de rolhas, sendo que entre a bomba de vácuo e os rotômetros foi incluído um sistema composto por dois tubos de PVC de 3/4". Estes foram moldados para encaixe de corpos de prova retangulares utilizando alta temperatura e uma peça de madeira com formato prismático com uma extremidade circular de área igual à do tubo e outra retangular de 2 X 2 cm (FIGURA 9).



FIGURA 9 Molde de madeira e tubo de PVC adaptado para encaixe dos corpos de prova retangulares.

Os dois tubos de PVC foram conectados a luvas soldáveis de redução 1/2'' para 3/4'' dotadas de rosca, tendo os tubos sido conectados ao diâmetro maior e conectores de metal de tamanho apropriado rosqueados ao diâmetro menor após revestimento com fita veda rosca. Estes foram diretamente ligados às mangueiras de 1/2'' que levam aos rotâmetros e à bomba de vácuo (FIGURA 10).



FIGURA 10 Conexão entre o tubo de PVC e a mangueira de borracha ligada aos fluxômetros.

Um suporte de madeira para acoplamento dos tubos de PVC foi desenvolvido para facilitar as operações.

O método do permeâmetro utiliza três rotâmetros acoplados de forma paralela. Neste trabalho, as vazões de volume de ar medidas por cada um deles correspondem às seguintes faixas: 10 a 100 l/h, 10 a 180 l/h e 100 a 1100 l/h.

A FIGURA 11 apresenta uma vista geral do sistema como um todo adaptado para determinação da permeabilidade de corpos de prova retangulares.

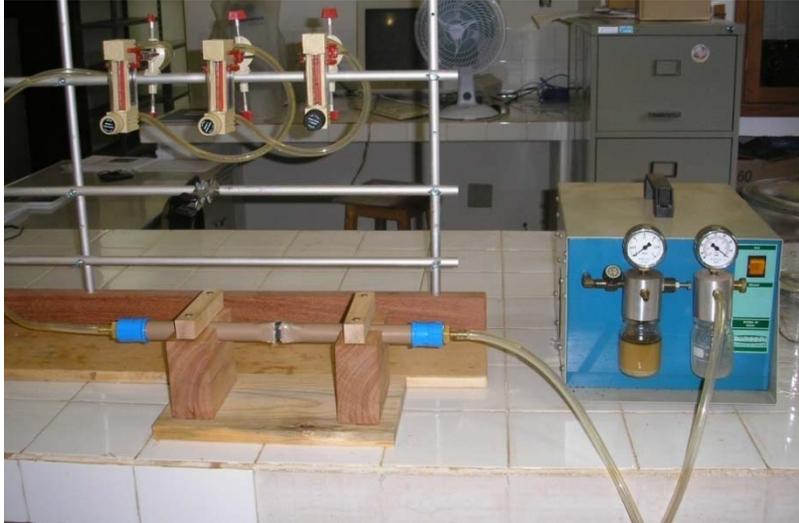


FIGURA 11 Sistema adaptado para determinação da permeabilidade pelo método do rotâmetro em corpos de prova retangulares.

4.3.3 Determinação da permeabilidade

Para determinação da permeabilidade, os corpos de prova foram encaixados entre os tubos de PVC e uma camada de cola quente foi aplicada na região entre estes e a borracha com intuito de garantir a ocorrência de vácuo (FIGURA 12).

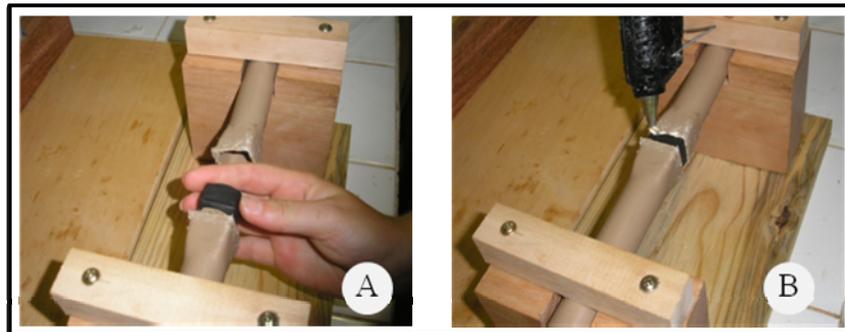


FIGURA 12 Sistema de acoplamento de corpos de prova sobre suporte de madeira: A) encaixe corpo de prova; B) aplicação de cola quente.

A bomba de vácuo foi então ligada de forma a forçar a passagem do fluxo de ar através dos corpos de prova. Os valores obtidos foram da pressão exercida pela bomba (atm) e da vazão volumétrica do ar atmosférico (l/h) apontada pelos rotâmetros. No caso deste trabalho, somente o primeiro rotâmetro precisou ser utilizado.

A permeabilidade ao ar foi determinada pela equação proposta por Siau (1971). Para tanto, foi utilizada a pressão atmosférica de 0,9119 atm, valor correspondente à média dos meses de Janeiro entre os anos de 1961 e 1990 em Lavras, Minas Gerais (Brasil, 1992).

Para todas as amostras, o tempo de fluxo considerado foi de 1 minuto devido à estabilização praticamente instantânea do rotâmetro.

A permeabilidade de cada amostra foi determinada pela seguinte equação:

$$K_g = \frac{QLP}{A\Delta P\bar{P}}$$

Onde,

K_g = permeabilidade superficial a gases (cm³ (gases) /cm*atm*s)

Q = taxa de fluxo volumétrico (cm³/s)

L = comprimento da espécie na direção do fluxo (cm)

P = pressão na qual a taxa de fluxo é medida (atm)

A = área transversal da amostra perpendicular à direção do fluxo (cm²)

\bar{P} = pressão média na amostra (atm)

4.4 Ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola

4.4.1 Obtenção e preparo dos corpos de prova

Com o auxílio de uma serra circular, foi retirada uma amostra retangular de dimensões 35 X 9,5 X 1,5 cm de regiões próximas ao centro dos painéis manufaturados em laboratório (48 X 48 X 1,5 cm) e dos painéis comerciais (244 X 122 X 1,5 cm). Destas amostras, foram obtidas peças de dimensões nominais de 25 X 5,0 X 1,5 cm, posteriormente cortadas ao meio (FIGURA 13).

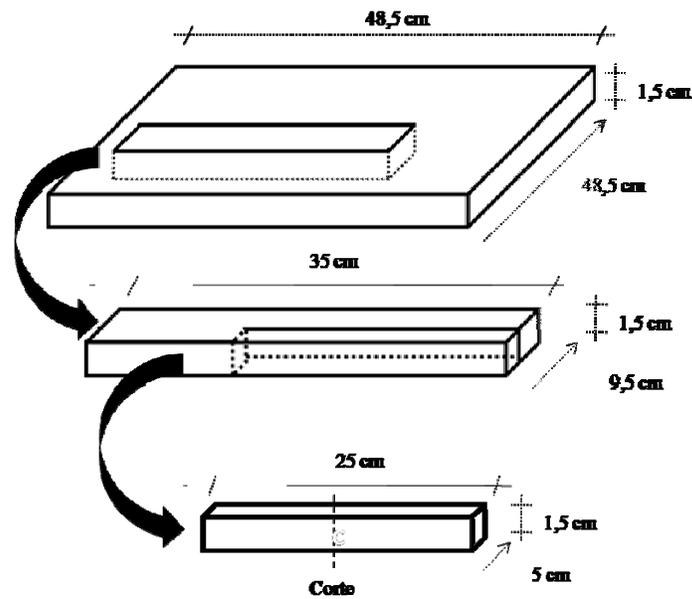


FIGURA 13 Esquema ilustrativo da obtenção de peças nos painéis para determinação da resistência ao cisalhamento na linha de cola.

Para o ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola, foi utilizado adesivo PVA diluído em 20% de água. O mesmo apresentou teor de sólidos de 44,4% e viscosidade de 3184 cP.

Em cada uma das duas amostras de painel de 12,5 x 5 x 1,5 cm, foram aplicados 150 g/m² (linha simples) do adesivo sobre a superfície. A outra peça foi colada e pressionada sobre essa, tendo o conjunto sido mantido sob peso durante 24 horas, tempo de cura mínimo recomendado pelo fabricante.

A resistência ao cisalhamento na linha de cola foi determinada de acordo com a norma ASTM (1994) para madeira sólida com adaptações. Para tanto, os corpos de prova foram obtidos com o uso de serra circular, sendo que, primeiramente, o conjunto de peças coladas foram cortadas ao meio, resultando em dois corpos de prova por painel com dimensões finais nominais de 5 X 5 X 3 cm (1,5 cm da espessura de cada painel). Para possibilitar o encaixe no aparato de ensaio de cisalhamento, dois sulcos foram feitos em lados contrários e opostos dos corpos de prova, com largura de 0,5 cm e espessura equivalente à da linha de cola, 1,5 cm (FIGURA 14).

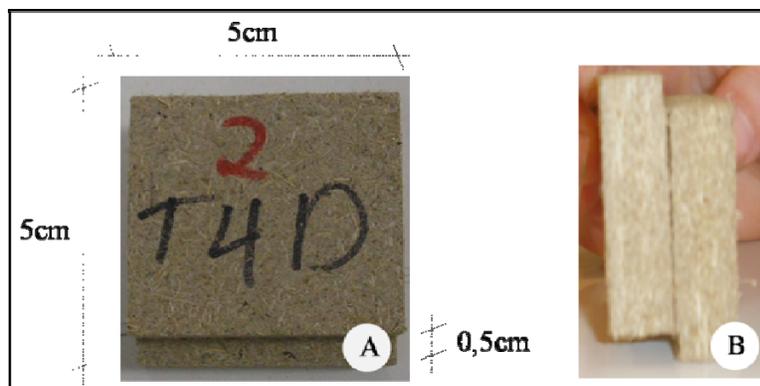


FIGURA 14 Corpo de prova para ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola: A) vista frontal com respectivas dimensões; B) vista lateral.

Os corpos de prova foram então mantidos em câmara de climatização (temperatura de $20 \pm 1^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $60 \pm 5\%$) até atingirem massa constante.

4.4.2 Determinação da resistência da linha de cola

Os testes mecânicos foram conduzidos em máquina universal de ensaio (EMIC DL-30000), utilizando o aparato para cisalhamento na linha de cola. Anteriormente, as áreas correspondentes à tensão na linha de cola dos corpos de prova foram medidas utilizando um paquímetro de precisão de 0,01 mm (FIGURA 15).

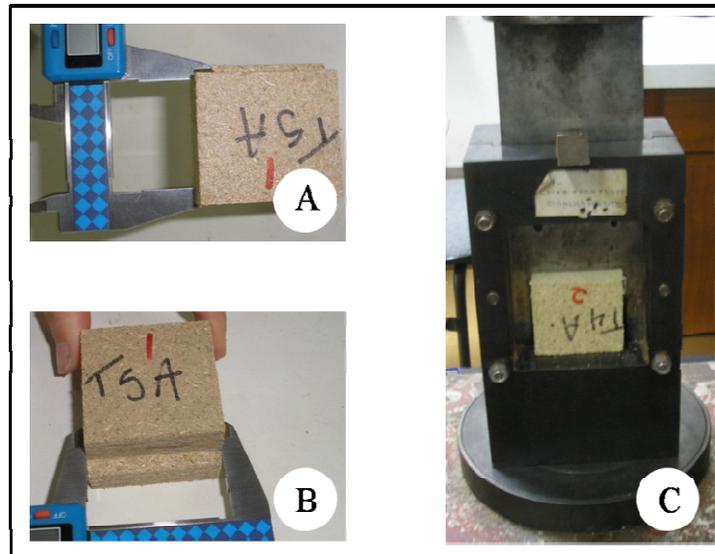


FIGURA 15 Ensaio de resistência ao cisalhamento na linha de cola: A) medida do lado 1; B) medida do lado 2; C) Corpo de prova sendo ensaiado.

4.5 Determinação das propriedades físicas dos painéis

A densidade aparente e absorção de água após 2 e 24 horas de imersão dos painéis aglomerados foram determinadas de acordo com a norma ASTM 1037 (ASTM, 1999).

4.6 Plano experimental e análise estatística dos dados

O delineamento foi inteiramente casualizado, composto por 13 tratamentos estruturados conforme a TABELA 1. Para cada tratamento foram produzidos quatro painéis, correspondentes às repetições. A permeabilidade e resistência ao cisalhamento na linha de cola para cada repetição foram determinadas pela média de 4 e 2 corpos de prova respectivamente.

TABELA 1 Plano experimental

Tratamentos	Adesivo		Colchão
	Tipo	Teor (%)	
L1	UF	9	Homogêneo
L2	MUF		
L3	UF	9	
L4	MUF		
L5	MUF/UF/MUF	9	3 camadas
L6	UF/MUF/UF		
L7	UF	12 C / 9 M / 12C	
L8	MUF		
L9	UF	9 C / 12 M / 9 C	
L10	MUF		
C1	Painéis de bagaço de cana – China		
C2	Painéis de madeira de <i>Eucalyptus</i> - Brasil (empresa A)		
C3	Painéis de madeira de <i>Eucalyptus</i> - Brasil (empresa B)		

L_x: painéis produzidos em laboratório; C_x: painéis comerciais; UF: Uréia-Formaldeído; MUF: Melamina-Uréia-Formaldeído; C/M/C: capa/miolo/capa.

Os dados de permeabilidade foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas por contrastes realizados entre grupos de interesse pelo teste de Scheffé. Para tanto, foi utilizado o programa SISVAR. A FIGURA 16 esquematiza a ordem de realização dos contrastes.

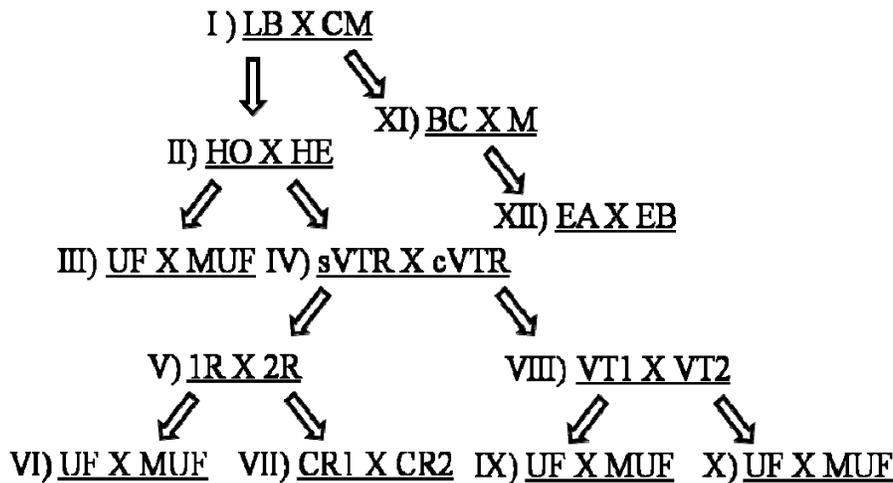


FIGURA 16 Histograma para realização de contrastes

LB: painéis de laboratório; CM: painéis comerciais; HO: colchão homogêneo; HE: colchão heterogêneo; UF: uréia-formaldeído; MUF: melamina-uréia-formaldeído; sVTR: sem variação no teor de resina; cVTR: com variação no teor de resina; 1R: uma resina; 2R: duas resinas; CR1: combinação entre resinas 1 (MUF/ UF/ MUF); CR2: combinação entre resinas 2 (UF/MUF/UF); VT1: variação no teor de resina 1 (12/9/12); VT2: variação no teor de resina 2 (9/12/9); BC: painéis de bagaço de cana; M: painéis de madeira; EA: painéis de madeira da empresa A; EB: painéis de madeira da empresa B.

Na TABELA 2 estão apresentados os coeficientes utilizados para realização dos contrastes entre grupos de médias de interesse. O coeficiente 0 é utilizado quando a média do respectivo tratamento não é incluída no contraste.

TABELA 2 Coeficientes para realização dos contrastes

Tratamento/Contraste	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
L1	3	8	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L2	3	8	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
L3	3	-2	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
L4	3	-2	0	1	1	-1	0	0	0	0	0	0
L5	3	-2	0	1	-1	0	1	0	0	0	0	0
L6	3	-2	0	1	-1	0	-1	0	0	0	0	0
L7	3	-2	0	-1	0	0	0	1	1	0	0	0
L8	3	-2	0	-1	0	0	0	1	-1	0	0	0
L9	3	-2	0	-1	0	0	0	-1	0	1	0	0
L10	3	-2	0	-1	0	0	0	-1	0	-1	0	0
C11	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
C12	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	1
C13	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1

Os dados de umidade, densidade, resistência ao cisalhamento na linha de cola e absorção de água dos painéis comerciais foram submetidos à análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Foi verificada a correlação estatística entre a permeabilidade e a resistência ao cisalhamento na linha de cola e as absorções de água após 2 e 24 horas dos painéis produzidos em laboratório, utilizando o modelo linear $y = ax + b$. No caso da absorção de água, os tratamentos foram separados em dois grupos: produzidos com uréia-formaldeído e com melamina-uréia-formaldeído na capa. Esta medida foi tomada para eliminar a questão da influência do tipo de resina sobre a absorção de água no painel, possibilitando, assim, a análise apenas do efeito da estrutura física do painel sobre esta propriedade.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Densidade aparente

Na TABELA 3, estão apresentadas as médias de densidade dos painéis comparadas pelo teste de Scott-Knott.

TABELA 3 Médias dos valores de densidade dos painéis.

Tratamento	Densidade (g/cm ³)
L1	0,65 a
L2	0,65 a
L3	0,66 a
L4	0,66 a
L5	0,64 a
L6	0,63 a
L7	0,64 a
L8	0,65 a
L9	0,66 a
L10	0,66 a
C1	0,71 b
C2	0,66 a
C3	0,63 a
Média	0,66
F calculado	6,26*
CV (%)	2,49%

CV: coeficiente de variação; e*: estatisticamente significativo; e^{ns}: estatisticamente não significativo.

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

As médias de densidade aparente real dos tratamentos correspondentes aos painéis de laboratório variaram de 0,63 a 0,66 g/cm³, sendo um pouco inferiores ao valor pré-estabelecido de 0,70 g/cm³. Isto pode ser atribuído principalmente à perda de partículas durante o processo de confecção dos

painéis. Apenas os painéis do tratamento C1 apresentaram densidade aparente média estatisticamente superior aos demais.

5.2 Permeabilidade

A média geral dos valores de permeabilidade de todos os tratamentos, o coeficiente de variação do teste e o valor de F calculado da análise de variância estão apresentados na TABELA 4.

TABELA 4 Parâmetros estatísticos do teste de permeabilidade.

Parâmetro	Valor
Média	5,62 (cm ³ /cm*atm*s)
CV	40%
F calculado	5,57*

e*: estatisticamente significativo a 5% de significância; CV: coeficiente de variação

O valor de 5,62 cm³/atm*s é inferior aos encontrados na literatura para permeabilidade na direção longitudinal da madeira. Brisolari (2008), após desobstrução dos poros, determinou valores mínimos de permeabilidade longitudinal a gás de 16,22, 39,19, 258,57 e 251,99 cm³/cm*atm*s para as madeiras de *Araucaria angustifolia* (alburno), *Araucaria angustifolia* (cerne), *Eucalyptus citriodora* (alburno) e *Pinus elliottii* (alburno), respectivamente. Silva (2007) verificou que a permeabilidade a gás longitudinal média para amostras de *Eucalyptus citriodora* (alburno), *Eucalyptus grandis* (alburno), *Eucalyptus grandis* (cerne) e *Pinus elliotti* foi de 611,91, 681,53, 24,58 e 141,71 cm³/cm*atm*s, respectivamente.

Assim, provavelmente, as diferenças relativas à estrutura física do painel aglomerado em relação à da madeira foram responsáveis pelos valores de permeabilidade relativamente baixos encontrados neste trabalho. De acordo com Comstock (1967), o fluxo de fluidos longitudinal pelos capilares da madeira

pode ser considerado similar ao fluxo através de uma combinação de tubos perfeitamente arredondados, combinados em série e paralelamente. Dessa forma, enquanto que na madeira existe um caminho pré-definido para transporte de fluidos, em painéis aglomerados toda a estrutura vegetal foi reduzida para posterior reconstituição em um novo produto, sendo que o trajeto seguido pelo fluxo de ar é variável e definido pela disposição das partículas.

Existem duas possibilidades para explicar a obtenção de valores de permeabilidade para painéis aglomerados inferiores em comparação aos encontrados na literatura para madeira sólida na direção longitudinal. A primeira está relacionada com a própria superfície do painel, pois, mesmo que o fluxo de ar atinja toda a área receptora, possivelmente apenas poucos orifícios permitem a entrada do fluido. A segunda se relaciona com a estrutura interna do painel, visto que parte do fluxo pode ter sido barrada em alguma região ao longo da espessura das amostras, onde não haja interconexão entre os espaços vazios, sendo que apenas parte do fluxo consegue atingir a superfície oposta. Esses fatores podem, ainda, terem ocorrido em conjunto, conforme esquematizado na FIGURA 17.

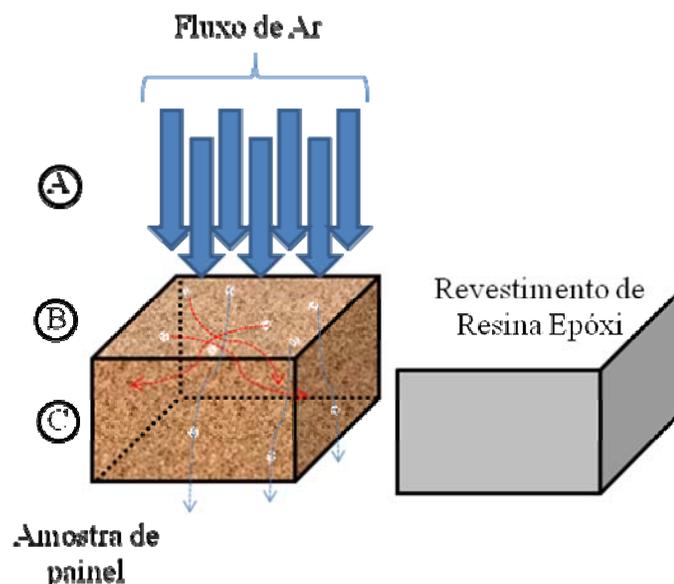


FIGURA 17 Esquema ilustrativo da ocorrência de permeabilidade em painéis aglomerados

A) O fluxo de ar atinge toda a superfície receptora da amostra; B) A existência de poucos espaços vazios permite a entrada de apenas parte do fluxo; C) Ao penetrar na estrutura do painel, apenas uma parte do fluxo consegue atingir a superfície oposta (representada pelas linhas azuis), enquanto que a outra parte (representada pelas linhas vermelhas) fica retida devido à falta de conexão entre os espaços vazios de uma superfície à outra.

No entanto, se o valor médio de permeabilidade a gás dos painéis aglomerados encontrado nesse trabalho for comparado aos valores de permeabilidade transversal de diversas espécies de madeira sólida apresentados na literatura, o primeiro foi, na maioria dos casos, superior, considerando que amostras impermeáveis de madeira ao fluxo transversal são frequentes. Os valores de permeabilidade transversal a gás determinados por Brisolari (2008) para o alburno de *Araucaria angustifolia* e de *Pinus elliotti* variaram de 3,77 a 143,11 $\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{s}$ e de 0 a 84,21 $\text{cm}^3/\text{cm}^2 \cdot \text{atm} \cdot \text{s}$, respectivamente. O autor não obteve, porém, leitura da permeabilidade transversal a gás para o cerne de

Araucaria angustifolia, cerne de *Eucalyptus citriodora* e alburno de *Eucalyptus citriodora*. Silva (2007) verificou que apenas a espécie *Pinus elliotti* apresentou permeabilidade transversal média a gás de $23,52 \text{ cm}^3/\text{cm} \cdot \text{atm} \cdot \text{s}$, sendo que tanto o alburno quanto o cerne de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus citriodora* mostraram-se totalmente impermeáveis na direção longitudinal.

A comparação entre a permeabilidade superficial de painéis aglomerados e a permeabilidade transversal da madeira sólida, em relação à permeabilidade longitudinal da mesma, é mais adequada, visto que as partículas que compõem as superfícies de painéis aglomerados encontram-se entrelaçadas basicamente na direção perpendicular à entrada do fluxo de ar (FIGURA 18).

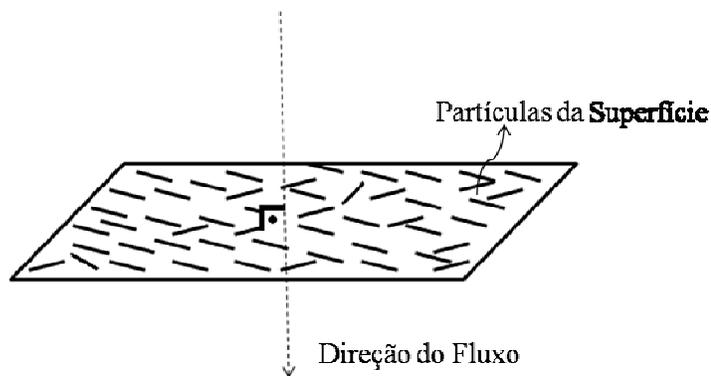


FIGURA 18 Direção do fluxo em relação às partículas da superfície dos painéis aglomerados.

Na literatura, não foram encontrados valores de permeabilidade para painéis aglomerados.

Uma porcentagem considerável dos corpos de prova, 20%, apresentou permeabilidade igual a $0 \text{ cm}^3/\text{cm} \cdot \text{atm} \cdot \text{s}$. Nesses casos, a causa pode ter sido a completa impermeabilidade da superfície das amostras. No entanto, de forma análoga ao discutido acima, é possível ainda que o fluxo de ar tenha entrado pela estrutura porosa dos painéis, tendo, porém, sido totalmente barrado em alguma

região ao longo da espessura dos corpos de prova. De acordo com Siau (1971), um sólido deve ser poroso para ser permeável. Isso não significa, porém, necessariamente, que todos os sólidos porosos são permeáveis, pois a permeabilidade somente pode existir se os espaços vazios estiverem interconectados.

Plath & Schnitzer (1974), citados por Kelly (1977), encontraram gradiente vertical de densidade em forma de “U” em painéis aglomerados de três camadas que foram pré-prensados, assim como aqueles dos tratamentos de laboratório do presente trabalho. Portanto, é provável que o fluxo de ar, no caso de corpos de prova impermeáveis, tenha sido retido na própria superfície das amostras ou logo abaixo desta, devido à maior densificação do painel nesta região. É importante ressaltar ainda que praticamente todos os tratamentos, com exceção de L1 e C2, apresentaram amostras impermeáveis, mesmo aqueles em que a maioria das amostras apresentou valores relativamente altos de permeabilidade, como o tratamento L2. Esse fato parece ter sido o principal causador do alto coeficiente de variação encontrado para o teste (40%), visto que aparentemente as repetições de alguns tratamentos tiveram sua média subestimada em função da presença de poucos corpos de prova impermeáveis.

De forma geral, é possível que os menores valores de permeabilidade encontrados para os painéis aglomerados em relação à madeira sólida influenciem para que os primeiros sejam mais difíceis de colar, devido à menor formação de “ganchos” de adesivo, e mais fáceis de aplicar produtos de acabamento, sem haver absorção excessiva destes. No entanto, estudos mais detalhados sobre este assunto são necessários para confirmar estas hipóteses.

Tendo em vista o F calculado significativo para os dados de permeabilidade, as médias dessa propriedade determinadas para cada tratamento, assim como o resultado estatístico de todos os contrastes aplicados estão apresentados na TABELA 5.

TABELA 5 Permeabilidade média dos tratamentos e resultado estatístico dos contrastes aplicados.

Permeabilidade (cm ³ /cm*atm*s)												
<u>L1</u>	<u>L2</u>	<u>L3</u>	<u>L4</u>	<u>L5</u>	<u>L6</u>	<u>L7</u>	<u>L8</u>	<u>L9</u>	<u>L10</u>	<u>C1</u>	<u>C2</u>	<u>C3</u>
8,38	7,69	2,87	4,79	10,45	6,16	3,54	6,09	4,83	5,38	0,23	9,01	4,64
Contrastes												
I) LB x C ^{ns}												
II) Ho x He*												
III) UF X MUF ^{ns}												
IV) sVTR x cVTR ^{ns}												
V) 1R x 2 R*												
VI) UF x MUF ^{ns}												
VII) CR1 x CR2*												
VIII) VT1 x VT2 ^{ns}												
IX) UF x MUF ^{ns}												
X) UF x MUF ^{ns}												
XI) BC x M*												
XII) EA x EB*												

LB: painéis de laboratório; CM: painéis comerciais; HO: colchão homogêneo; HE: colchão heterogêneo; UF: uréia-formaldeído; MUF: melamina-uréia-formaldeído; sVTR: sem variação no teor de resina; cVTR: com variação no teor de resina; 1R: uma resina; 2R: duas resinas; CR1: combinação de resinas 1 (MUF/ UF/ MUF); CR2: combinação de resinas 2 (UF/MUF/UF); VT1: variação no teor de resina 1 (12/9/12); VT2: variação no teor de resina 2 (9/12/9); BC: painéis de bagaço de cana; M: painéis de madeira; EA: painéis de madeira da empresa A; EB: painéis de madeira da empresa B.
e*: estatisticamente significativo; e^{ns}: estatisticamente não significativo.

Os valores de permeabilidade dos tratamentos variaram de 0,23 a 10,45 cm³/cm*atm*s, sendo que os tratamentos C1 e L5 apresentaram a menor e maior média, respectivamente.

O contraste I (LB x C), realizado entre painéis manufacturados em laboratório e comerciais, não foi estatisticamente significativo. É importante ressaltar, porém, que a média apresentada por todos os painéis de laboratório foi 6,02 cm³/cm*atm*s. Já no segundo grupo, ocorreu um valor muito baixo, correspondente ao tratamento C1 (0,23 cm³/atm*s) e um consideravelmente alto, correspondente ao tratamento C2 (9,01 cm³/atm*s). Assim, apesar da visível diferença entre os valores de permeabilidade dos tratamentos, ao agrupar os tratamentos C1, C2 e C3 em painéis comerciais, o valor médio de permeabilidade se aproximou do valor médio dos painéis manufacturados em laboratório, de forma a resultar em um contraste não significativo.

Os contrastes III,VI, IX e X, realizados entre painéis produzidos com resina uréia-formaldeído e melamina-formaldeído (UF x MUF), não foram estatisticamente significativos, independentemente da subdivisão a que pertenciam. Por estes resultados, pode-se inferir que a permeabilidade provavelmente não foi influenciada pela resina dos painéis aglomerados.

O grupo de painéis que foram confeccionados com apenas um teor de resina em toda a sua composição, 9%, apresentaram média de permeabilidade estatisticamente igual aos painéis nos quais o teor de resina aplicado foi variável, 9 e 12%, independente de estes estarem na capa ou no miolo do colchão. Assim, o contraste IV (sVTR x cVTR) não foi significativo, sendo este resultado diferente do esperado, pois o teor de resina 12%, independentemente do seu posicionamento, supostamente causaria decréscimo da permeabilidade em função da maior disponibilidade de adesivo por partícula e consequente maior aderência entre estas de forma a resultar em uma diminuição dos espaços vazios. O menor teor de resina foi, portanto, suficiente para limitar a

permeabilidade, o que indica que as condições de aplicação de produtos de acabamento seriam similares a um custo mais baixo de produção de painéis aglomerados.

Finalmente, o contraste número VIII (VT1 x VT2), aplicado para comparação entre painéis com dois tipos de variação no teor de resina diferentes, 9/12/9 e 12/9/12 (para capa/miolo/capa), também não se apresentou significativo.

Os resultados não significativos encontrados para os contrastes IV (sVTR x cVTR) e VIII (VT1 x VT2) indicam que o menor teor de resina, 9%, já foi suficiente para limitar a permeabilidade dos painéis, fator positivo para condições de acabamento.

Os contrastes II, V, VII, XI e XII foram significativos. O valor de F calculado para cada contraste, bem como as estimativas de contraste e seus coeficientes de divisão, estão apresentados na TABELA 6.

TABELA 6 Parâmetros estatísticos dos contrastes significativos.

Contraste	F calculado	\hat{Y}	CD	\hat{Y}/CD	Variância
II) <u>Ho</u> x <u>He</u>	7,53	40,41	16	2,52	0,85
V) <u>1R</u> x <u>2R</u>	14,78	-8,94	2	-4,47	1,35
VII) <u>CR1</u> x <u>CR2</u>	6,79	4,29	1	4,29	2,71
XI) <u>BC</u> x <u>M</u>	21,50	-13,2	2	-6,60	2,03
XII) <u>EA</u> x <u>EB</u>	7,05	4,37	1	4,37	2,71

HO: colchão homogêneo; HE: colchão heterogêneo; 1R: uma resina; 2R: duas resinas; CR1: combinação de resinas 1 (MUF/ UF/ MUF); CR2: combinação de resinas 2 (UF/MUF/UF); BC: painéis de bagaço de cana; M: painéis de madeira; EA: painéis de madeira da empresa A; EB: painéis de madeira da empresa B. \hat{Y} : estimativa de contraste; CD: coeficiente de divisão dado pela multiplicação entre os valores do coeficiente negativo e positivo em módulo.

Os painéis de colchão homogêneo (Ho) apresentaram permeabilidade significativamente maior em relação aos painéis de 3 camadas (He), tendo a média do primeiro grupo sido superior em $2,52 \text{ cm}^2/\text{atm}\cdot\text{s}$. Este resultado provavelmente está relacionado à diferença na geometria das partículas que compõem a superfície dos painéis. A explicação mais provável é que as partículas maiores na superfície geram espaços vazios maiores entre si quando comparadas com partículas menores que compõem os colchões heterogêneos de 3 camadas, resultando em valores superiores de permeabilidade.

Além dos espaços vazios, a taxa de área superficial por volume das partículas menores compactadas na superfície dos painéis de 3 camadas é maior e, portanto, também pode ter contribuído para o decréscimo da permeabilidade, visto que o caminho a ser percorrido pelo fluxo de ar até a superfície oposta pode ser mais longo e com maior possibilidade de falta de interconexão entre espaços vazios.

Assim, possivelmente, painéis multicamadas com partículas menores compondo a superfície apresentam maior facilidade de aplicação de produtos de acabamentos sem absorção excessiva destes.

Os painéis manufaturados com apenas um tipo de resina apresentaram permeabilidade significativamente menor em relação aos painéis manufaturados com dois tipos de resina, tendo a média do primeiro grupo sido inferior em $4,47 \text{ cm}^2/\text{atm}\cdot\text{s}$. Este resultado provavelmente ocorreu devido à alta permeabilidade apresentada pelos painéis do tratamento L5, pertencente ao segundo grupo.

Os painéis manufaturados com a combinação entre resinas 1 (CR1) apresentaram permeabilidade estatisticamente maior em relação aos painéis manufaturados com a combinação entre resinas 2 (CR2), tendo a média do tratamento L5 (MUF/ UF/ MUF) sido superior em $4,29 \text{ cm}^2/\text{atm}\cdot\text{s}$ em relação à média do tratamento L6 (UF/MUF/UF). O tratamento L5 apresentou

permeabilidade de $10,45 \text{ cm}^2/\text{atm}\cdot\text{s}$, sendo esta a maior média encontrada no experimento. Considerando que a maioria dos contrastes que compararam tipos de resina (III, VI, IX e X) não foram estatisticamente significativos, este resultado não era esperado. No entanto, apesar de não haver uma explicação óbvia para este fato, é possível que tenha ocorrido algum problema relativo à formação do colchão ou processo de prensagem nos painéis do tratamento L5, ocasionando má acomodação das partículas e conseqüente geração de espaços vazios em excesso, fator que pode ter contribuído para a determinação deste alto valor de permeabilidade.

Os dois contrastes realizados dentro do grupo de painéis comerciais foram significativos. É importante mencionar que as variáveis de processamento desses painéis como espécies e procedência dos materiais lignocelulósicos, tipo e teor de resina e variáveis do ciclo de prensagem, são desconhecidas. Outra questão importante está relacionada aos processos de acabamento de superfície, principalmente o lixamento, visto que este pode causar entupimento dos espaços vazios e, conseqüentemente, interferir nos valores de permeabilidade dos painéis aglomerados. No entanto, ainda assim é possível fazer algumas inferências sobre os resultados.

Os painéis comerciais de bagaço de cana (BC) apresentaram permeabilidade significativamente menor em relação aos painéis comerciais de madeira (M), tendo a média do primeiro grupo sido inferior em $6,60 \text{ cm}^2/\text{atm}\cdot\text{s}$. Dois fatores podem ter influenciado este resultado. O primeiro está relacionado à densidade, visto que o tratamento C1 foi o único que apresentou diferença estatística para esta propriedade. Um painel mais denso possui maior massa de material lignocelulósico por unidade de volume e, portanto, menor quantidade de espaços vazios para a passagem do fluxo de ar. O segundo fator refere-se à razão de compactação do painel, pois, apesar dos valores dessa propriedade serem desconhecidos para os painéis comerciais, o bagaço de cana é um material

de densidade mais baixa em relação à madeira que, portanto, gera colchões altos (fato observado durante a manufatura dos painéis de laboratório), o que resulta em menores quantidades de espaços vazios após o processo de prensagem. Assim, a maior densidade e provável maior razão de compactação dos painéis de bagaço de cana podem ter causado diminuição de espaços vazios e, conseqüentemente, valores inferiores de permeabilidade em relação aos painéis de madeira de eucalipto.

Os painéis comerciais de madeira da empresa A apresentaram permeabilidade significativamente maior em relação aos painéis comerciais da empresa B, tendo a média do tratamento C2 sido superior em $4,37 \text{ cm}^2/\text{atm}\cdot\text{s}$ comparada à do tratamento C3. Deve-se ressaltar que, apesar das médias de densidade desses tratamentos terem sido estatisticamente iguais pelo teste de Scott Knott, o perfil de densidade dos painéis não é conhecido, sendo que a densidade máxima encontrada na superfície dos painéis do tratamento C2 pode ser superior em relação à dos painéis do tratamento C3, contribuindo para uma considerável redução da permeabilidade média dos painéis. Além disso, como dito anteriormente, não se sabe precisamente a espécie de eucalipto, parte do tronco de onde a madeira foi retirada e variáveis do ciclo de prensagem utilizadas pelas empresas para produção dos painéis. Assim, existe uma alta possibilidade das empresas terem utilizado madeiras de eucalipto de densidades diferentes, visto à grande variedade apresentada pelo gênero para esta propriedade. Além da espécie, dentro de uma mesma árvore, podem ocorrer variações de densidade básica de acordo com a variação vertical do tronco. Tomazello Filho (1985) verificou que variações na altura do tronco resultaram em variações de densidade básica de $0,346$ a $0,434 \text{ g/cm}^3$ e de $0,395$ a $0,594 \text{ g/cm}^3$ nas espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*, respectivamente. Dessa forma, a razão de compactação dos painéis oriundos das empresas A e B, propriedade determinada pela relação entre a densidade do

painel sobre a densidade da madeira, provavelmente não é a mesma, podendo ser menor para a primeira. Este fato possivelmente contribuiu para diminuição dos espaços vazios dos painéis do tratamento C2. A pouca influência que fatores como tipo e teor de resina parecem ter tido sobre a permeabilidade dos painéis aglomerados reforça ainda mais essa teoria, visto que esta propriedade parece estar mais relacionada com a estrutura física dos painéis. Portanto, a princípio, é possível inferir, pelos resultados dos contrastes realizados entre os tratamentos de painéis de laboratório, que maiores valores de densidade aparente e a razão de compactação, além de diferentes gradientes de densidade, podem ocasionar menores valores de permeabilidade em painéis aglomerados e, conseqüentemente, facilitar a aplicação de produtos de revestimento.

5.3 Permeabilidade x resistência ao cisalhamento na linha de cola

Os valores médios de resistência ao cisalhamento na linha de cola dos painéis aglomerados e o resultado do teste de média para comparação entre tratamentos estão apresentados na TABELA 7.

TABELA 7 Resistência ao cisalhamento na linha de cola.

Tratamento	Cisalhamento (MPa)
L1	0,54 a
L2	0,67 a
L3	0,84 a
L4	0,76 a
L5	0,49 a
L6	0,36 a
L7	0,52 a
L8	0,64 a
L9	0,60 a
L10	0,58 a
C1	2,60 b
C2	2,88 c
C3	2,23 c
Média	1,00
F calculado	25,90*
CV (%)	29,17

e*: estatisticamente significativo; e^{ns}: estatisticamente não significativo.
Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Os valores variaram de 0,36 MPa a 2,88 MPa. Os painéis de laboratório apresentaram médias de resistência ao cisalhamento estatisticamente iguais entre si e inferiores aos painéis comerciais. Visto que o contraste de médias de permeabilidade entre painéis comerciais e manufaturados em laboratório não foi significativo, uma possibilidade para este resultado está relacionada com a qualidade de superfície dos painéis comerciais no que se refere à geometria de partículas, densidade de superfície e possível lixamento das faces.

A equação de correlação entre permeabilidade e resistência ao cisalhamento na linha de cola para os painéis aglomerados manufaturados em

laboratório, bem como seus parâmetros estatísticos, estão apresentados na TABELA 8.

TABELA 8 Equação de correlação entre permeabilidade e resistência ao cisalhamento na linha de cola.

Equação	F calculado	R²
$Y = 0,9168 X - 0,0437$	6,36*	0,44

R²: coeficiente de determinação; CC: coeficiente de correlação; e*: estatisticamente significativo; e^{ns}: estatisticamente não significativo.

A equação se mostrou significativa, ou seja, há uma tendência de diminuição da resistência ao cisalhamento na linha de cola com o aumento da permeabilidade para os painéis aglomerados manufaturados em laboratório (FIGURA 19).

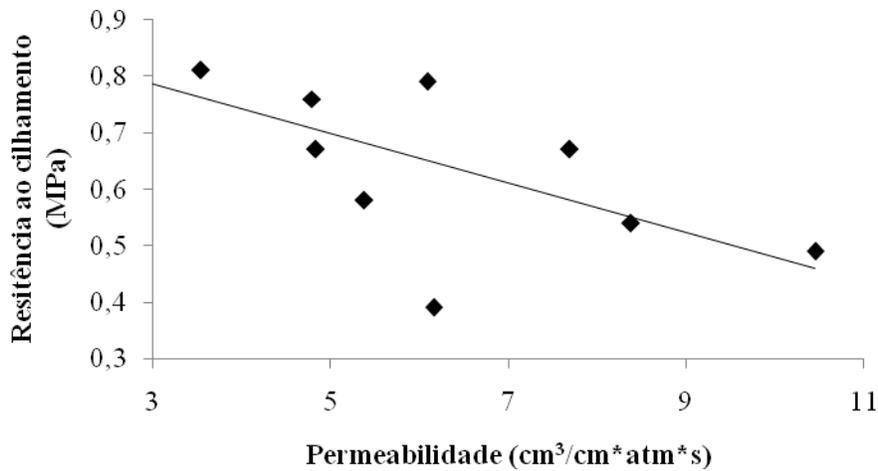


FIGURA 19 Correlação entre permeabilidade e a resistência ao cisalhamento na linha de cola para painéis de laboratório.

Este resultado sugere que o desempenho da colagem entre duas peças de painéis aglomerados pode ser prejudicado por altos valores de permeabilidade. A explicação mais provável é que a alta permeabilidade pode causar absorção excessiva do adesivo, levando à formação de linha de cola faminta entre os dois substratos.

No entanto, é possível observar que para os painéis comerciais a tendência foi contrária. O contraste de permeabilidade entre painéis comerciais de bagaço de cana e de madeira foi significativo, tendo a média do primeiro sido inferior. Mesmo assim, o tratamento C1 apresentou resistência ao cisalhamento na linha de cola inferior em relação aos tratamentos C2 e C3, referentes aos painéis de eucalipto. Possivelmente, a permeabilidade extremamente baixa do tratamento C1 foi responsável por esse resultado. Pizzi (1994) ressalta que certa quantidade de penetração de adesivo nas primeiras camadas do substrato, desde que não excessiva, é desejável. Quando este seca, os espaços vazios de uma dada região ao longo do comprimento dos substratos colados ficam impregnados com adesivo. Segundo o mesmo autor, como é visível sob o microscópio, certa quantidade de “ganchos conectores” de adesivo é formada, a qual pode contribuir de forma positiva para a resistência da junta.

Além da teoria mecânica de adesão, porém, a teoria da adesão específica dos materiais pode ter a maior resistência de colagem entre dois painéis aglomerados de madeira em relação à mesma condição em painéis de bagaço de cana. De acordo com Pizzi (1994), a interação química entre a cola utilizada e o substrato é o principal fator que garante a resistência da linha de cola. Assim, possivelmente, as partículas de madeira podem se apresentar como mais eficientes para interação química com a cola em relação às partículas de bagaço de cana.

Após a realização deste teste, foi possível observar ainda que todos os corpos de prova dos painéis de bagaço de cana do tratamento C1 cisalharam

exatamente na linha de cola, enquanto que os corpos de prova dos painéis comerciais de madeira de eucalipto apresentaram alta falha do substrato, sugerindo maior resistência de colagem dos mesmos (FIGURAS 20 e 21).



FIGURA 20 Corpo de prova do tratamento C1 cisalhado exatamente na linha de cola após ensaio.



FIGURA 21 Corpos de prova dos tratamentos C2 e C3 com falhas no substrato após ensaio.

5.4 Permeabilidade x absorção de água

Os valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas para os painéis manufacturados em laboratório divididos em dois grupos, de acordo com a resina que compõe a superfície, estão apresentados nas TABELAS 9 e 10.

TABELA 9 Médias de absorção de água após 2 e 24 dos tratamentos contendo uréia-formaldeído na superfície.

UF		
Tratamento	AA2h (%)	AA24h (%)
L1	9,98	41,58
L3	4,96	29,02
L6	8,58	34,97
L7	10,65	23,71
L9	4,94	25,76

UF: uréia-formaldeído; AA2h: absorção de água após 2 horas de imersão; AA24h: absorção de água após 24 horas de imersão.

TABELA 10 Médias de absorção de água após 2 e 24 dos tratamentos contendo melamina-uréia-formaldeído na superfície.

MUF		
Tratamento	AA2h (%)	AA24h (%)
L2	7,30	27,29
L4	4,94	20,53
L5	15,07	64,42
L8	7,89	38,34
L10	5,42	25,94

MUF: uréia-formaldeído; AA2h: absorção de água após 2 horas de imersão; AA24h: absorção de água após 24 horas de imersão.

Os valores de absorção de água após 2 e 24 horas variaram de 4,94 a 10,65% e de 23,71 a 41,58%, respectivamente, para os painéis aglomerados compostos por uréia-formaldeído na superfície. No grupo de tratamentos correspondentes a painéis compostos por melamina-uréia-formaldeído na superfície, a absorção de água após 2 horas variou de 4,94 a 15,07%, enquanto que após 24 horas, essa propriedade variou de 20,53 a 64,42%. Estes valores foram inferiores em relação aos encontrados na literatura. Brito et al. (2006) avaliaram a absorção de água de painéis manufacturados com 100% de partículas de *Pinus elliotti* Engelm. de 12 anos de idade, uréia-formaldeído a 8% e parafina a 1%, e encontraram absorção de água média após 2 e 24 horas de imersão de 51,04 e 53,83%, respectivamente. Batista et al. (2007)

confeccionaram painéis aglomerados de três camadas de *Pinus elliottii* Engelm. produzidos com 1% de parafina e 6% de uréia-formaldeído e encontraram valores de absorção de água de 150,6 e 168,9% após 2 e 24 horas, respectivamente. Portanto, os valores de absorção de água obtidos para os painéis manufaturados com bagaço de cana neste trabalho foram satisfatórios.

Um fato interessante que se pode observar é que os painéis do tratamento L5, que apresentaram o maior valor de permeabilidade do experimento, também exibiram as maiores absorções de água após 2 e 24 horas.

As equações de correlação entre permeabilidade e absorção de água após 2 e 24 horas para os painéis aglomerados, bem como seus parâmetros estatísticos estão apresentados na TABELA 11.

TABELA 11 Equações de correlação entre permeabilidade e absorção de água após 2 e 24 horas.

Condição	Equação	Fc	R²
UF - AA2h	$Y = 4,6136 X + 0,6861$	2,7888 ^{ns}	0,48
UF - AA24 h	$Y = -11,3376 X + 6,78031$	10,2372*	0,77
MUF - AA2h	$Y = -0,3562 X + 1,0505$	14,5778*	0,83
MUF - AA24h	$Y = 19,0593 X + 3,9915$	3,47388 ^{ns}	0,53

UF: uréia-formaldeído na superfície; MUF: melamina-uréia-formaldeído na superfície; AA2h: absorção de água após 2 horas de imersão; AA24h: absorção de água após 24 horas de imersão.

Fc: F calculado da equação; R²: coeficiente de determinação; CC: coeficiente de correlação; e*: estatisticamente significativo; e^{ns}: estatisticamente não significativo.

Para 24 horas, a equação não foi significativa. No entanto, a tendência de aumento da absorção de água com o aumento da permeabilidade pode ser claramente observada na FIGURA 22. Já os painéis de laboratório produzidos com uréia-formaldeído na superfície apresentaram equação de correlação linear significativa entre permeabilidade e absorção de água após 24 horas de imersão (FIGURA 23).

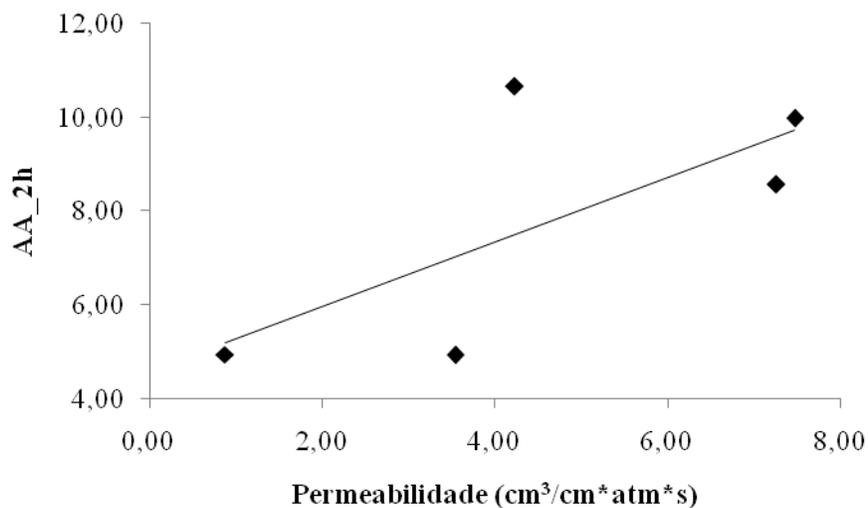


FIGURA 22 Correlação entre permeabilidade e absorção de água após 2 horas para painéis com superfície composta por uréia-formaldeído.

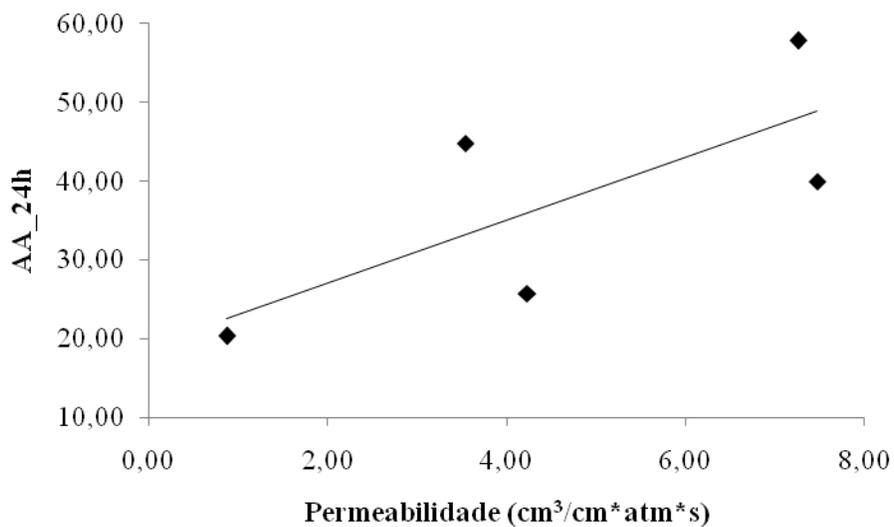


FIGURA 23 Correlação entre permeabilidade e absorção de água após 24 horas para painéis com superfície composta por uréia-formaldeído.

Os painéis de laboratório produzidos com melamina-uréia-formaldeído na superfície apresentaram equação de correlação linear significativa entre permeabilidade e absorção de água após 2 horas de imersão, conforme apresentado na FIGURA 24. Já para 2 horas, a equação não foi significativa. No entanto, a tendência de aumento da absorção de água com o aumento da permeabilidade pode ser claramente observada na FIGURA 25.

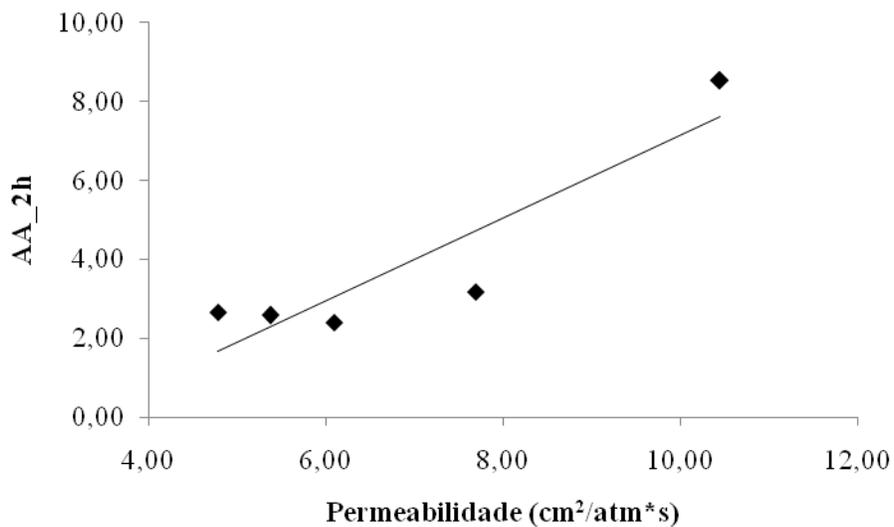


FIGURA 24 Gráfico de correlação entre permeabilidade e absorção de água após 2 horas para painéis com superfície composta por melamina-uréia-formaldeído.

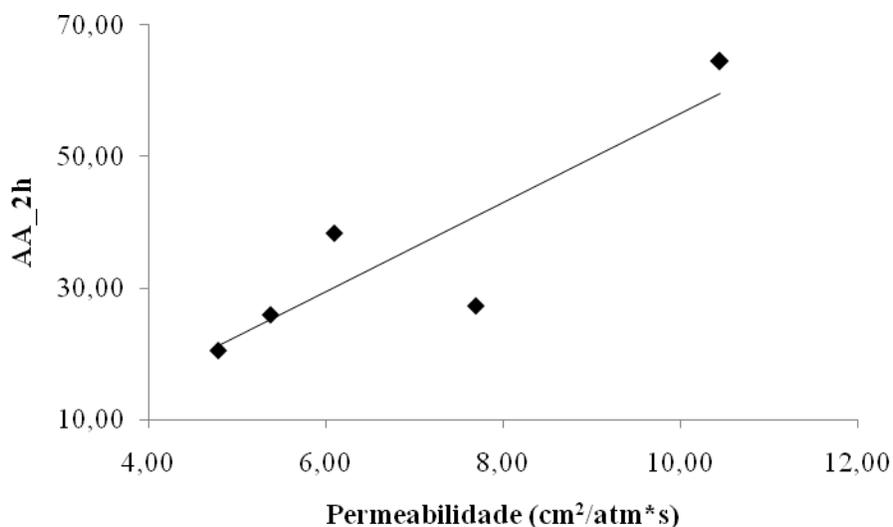


FIGURA 25 Gráfico de correlação entre permeabilidade e absorção de água após 24 horas para painéis com superfície composta por melamina-uréia-formaldeído.

Os resultados encontrados nesse trabalho sugerem influência significativa do aumento da permeabilidade sobre a absorção de água dos painéis de laboratório. Dessa forma, altos valores de permeabilidade, além de possivelmente afetarem de forma negativa a aplicação de produtos de revestimento sobre os painéis, ainda podem ser prejudiciais para as propriedades físicas desses produtos, principalmente em condições ambientais de umidade mais severas. Ao absorver muita água, o painel pode apresentar alta instabilidade dimensional e diminuição da resistência mecânica.

Os valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas para os painéis comerciais estão apresentados na TABELA 12.

TABELA 12 Médias de absorção de água após 2 e 24 dos painéis comerciais.

Tratamento	AA2h (%)	AA24h (%)
C1	9,44 a	33,85 a
C2	10,43 a	34,39 a
C3	14,13 b	45,17 b
Média	11,33	37,80
F calculado	19,69*	5,80*
CV (%)	9,81	14,03

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

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si pelo teste de Scott-Knott a 5% de significância.

Para os painéis comerciais, não foi possível observar nenhuma relação entre permeabilidade e absorção de água, visto que o tratamento C3 apresentou permeabilidade intermediária e, ainda assim, maiores valores de absorção de água após 2 e 24 horas. É importante mencionar, porém, que é amplamente conhecido que o tipo e teor de resina, além da presença e teor de parafina, podem afetar significativamente a absorção de água de painéis aglomerados. Como esses fatores de produção dos painéis comerciais são desconhecidos, a dificuldade em relacionar permeabilidade e absorção de água para este grupo era esperada.

6 CONCLUSÕES

- A permeabilidade média obtida para os painéis aglomerados foi de $5,62 \text{ cm}^3/\text{cm}^2\cdot\text{atm}\cdot\text{s}$, sendo esse valor respectivamente menor e maior em relação aos encontrados na literatura para permeabilidade longitudinal e transversal da madeira sólida;
- Ao agrupar os painéis em produzidos em laboratório e comerciais, não foi observada diferença estatisticamente significativa entre as médias de permeabilidade, mas no segundo grupo ocorreu uma alta variação entre os valores dessa propriedade;
- Os painéis do tratamento C1 (comerciais de bagaço de cana-de-açúcar) apresentaram densidade aparente superior em relação aos demais e o menor valor de permeabilidade do experimento;
- A permeabilidade em painéis aglomerados está relacionada com a estrutura física dos mesmos, podendo ser influenciada por fatores como tamanho de partículas na superfície e densidade aparente;
- Na maioria dos contrastes realizados nesse trabalho, foi possível observar que o tipo, teor, posicionamento e combinação entre resinas não exerceram influência sobre a permeabilidade dos painéis;
- A resistência ao cisalhamento na linha de cola nos painéis comerciais foi consideravelmente superior em relação aos painéis de laboratório;
- Os painéis manufaturados em laboratório exibiram decréscimo da resistência ao cisalhamento na linha de cola com o aumento da permeabilidade. A tendência contrária foi observada para os painéis comerciais;
- Para os painéis manufaturados em laboratório, aumentos nos valores de permeabilidade ocasionaram aumentos de absorção de água. Já para os painéis comerciais não foi possível observar uma influência clara da permeabilidade sobre absorção de água.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIAL. **ASTM D 1037:** standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. West Conshohocken, 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D-905:. standard test method for strenght properties of adhesive bonds in shear by compression loading. **Annual Book of A.S.T.M. Standards**, West Conshohocken v.15.06, p.20-26, 1994.

ATCHISON, J. E.; LENGEL, D. E. Rapid growth in the use of bagasse as a raw material for reconstituted panel board. In: INTERNATIONAL PARTICLE BOARD COMPOSITE MATERIALS SYMPOSIUM, 19., 1985, Pullman. **Proceending...** Pullman: Washington State University, 1985. p. 145-193.

BATISTA, D. C.; BRITO, E. O.; SETUBAL, V. G.; GÓES, L. G. Fabricação de aglomerados de três camadas com madeira de *Pinus elliottii* Engelm. e casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Cerne**, Lavras, , v. 13, n. 2, p. 178-187, mar. 2007.

BATTISTELE, R. A. G.; MARCILIO, C.; LAHR, F. A. R. Emprego do bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e das folhas caulinares do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteous* na produção de chapas de partículas. **Minerva**, São Carlos, v. 5, n. 3, p. 297-305, 2008.

BEHR, E. A.; SACHS, I. B.; KUKACHKA, B. F.; BLEW, J. O. Microscopic examination of pressure-treated wood. **Forest Products Journal**, Madison, v. 19, n. 8, p. 31-40, Ago. 1969.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. Secretaria Nacional de Irrigação. Departamento Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas: 1961 – 1990**. Brasília, 1992. 84 p.

BRISOLARI, A. **Estudo da molhabilidade em madeiras tropicais ou de reflorestamento por medida de ângulo de contato e permeabilidade**. 2008. 98 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharias de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos.

- BRITO, E. O. ; SAMPAIO, L. C.; OLIVEIRA, J. N.; BATISTA, D. C. Chapas de madeira aglomerada utilizando partículas oriundas de madeira maciça e de maravalhas. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 72, n. 3, p. 17-21, dez. 2006.
- CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; CHAMMA, P. V. C. Avaliação de painéis produzidos a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 47-53, out. 2009.
- COLLI, A. **Caracterização da Madeira de Paricá (*Schyzolobium amazonicum* Huber ex Ducke) e propriedades de chapas de partículas aglomeradas com diferentes proporções de fibras de coco**. 2007. 50 p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- COMSTOCK, G. L. Directional permeability of softwoods. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 1, n. 4, p. 283-289, Apr./Jun. 1970.
- COMSTOCK, G. L. Longitudinal permeability of wood to gases and non swelling liquids. **Forest Products Journal**, Madison, v. 17, n. 10, p. 41-46, Out. 1967.
- COMSTOCK, G. L.; CÔTÉ, W. A. Factors affecting Permeability and Pit aspiration in coniferous sapwood. **Wood Science and Technology**, New York, v. 2, p. 279-271, 1968.
- CORDEIRO, G. C.; TOLEDO FILHO, R. D.; FAIRBAIRN, E. M. R.; TAVARES, L. M. M. Pozzolanic activity and filler effect of sugar cane bagasse ash in Portland cement and lime mortars. **Cement & Concrete Composites**, Barking, v. 30, p. 410-418, Jan. 2008.
- DÉON, G. **Manual de preservação das madeiras em climas tropical**. Tradução de Antônio C. Mascarenhas. Salvador: Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, 1989. 111 p. Título original: Manual of wood preservation in tropical climates.
- FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF UNITED NATIONS. Fevereiro de 2010. Disponível em: <<http://www.fao.org>>. Acesso em: 23 jan. 2010.
- GATCHELL, G. J.; HEEBINK, B. G.; HEFTY, F. V. Influence Of component variables on the properties of particleboards for exterior use. **Forest Products Journal**, Madison, v. 16, n. 4, p. 46-59, Apr. 1966.
- GOLBABAIE, M. **Applications of biocomposites in Building Industry**. Guelph: University of Guelph, 2006.

HANN, R. A.; BLACK, J. M.; BLOMQUIST, R. F. How durable is a particleboard? Part II: The effect of temperature and humidity. **Forest Products Journal**, Madison, v. 13, n. 5, p. 169-174, maio 1963.

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

IWAKIRI, S.; CRUZ, C. R.; OLANDOSKI, D. P.; BRAND, M. A. Utilização de resíduos de serraria na produção de chapas de madeira aglomerada de *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus citriodora* e *Eucalyptus pilularis*. **Floresta e Ambiente**, Seropedica, v. 7, n. 1, p. 251-256, jan./dez. 2000.

IWAKIRI, S.; SHIMIZU, J.; SILVA, F. C.; DEL MENEZZI, C. H. S.; PUEHRINGER, A.; VENSON, I.; LARROCA, C. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Grevillea robusta* A. Cunn. Ex R. BR. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 28, n. 6, p. 883-887, ago. 2004.

IWAKIRI, S.; SILVA, J. R. M.; MATOSKI, S. L. S.; LEONHADT, G.; CARON, J. Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, Seropedica, v. 8, n. 1, p. 137-142, jan./dez. 2001.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison: FPL, 1977. v. 10, 66 p.

KLOCK, U.; MUÑIZ, G. I. B.; HERNANDEZ, J. A.; ANDRADE, A. S.; COSTA, A. P. **Química da Madeira**. 3. ed. rev. Curitiba: UFPR, 2005. 80 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.

MALONEY, T.M. **Modern particleboard and dry process fiberboard manufacturing**. 2. ed. São Francisco: M. Freeman, 1993. 689p.

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

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

MARRA, G. G. **Binders for particle boards** In: SYMPOSIUM ON ADHESIVES FOR THE WOOD INDUSTRY US, 2., 1960, Madison. **Proceedings...** Madison: Forest products Laboratory, 1960.

MELO, R. R.; SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; STANGERLIN, D. M. Propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de madeira e casca de arroz. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.19, n. 4, p.449-460, out./dez. 2009.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; SANTOS, R. C.; BUFALINO, L. The adhesive effect on the properties of particleboards made from sugar cane bagasse generated in the distiller. **Revista Ciência Agrícola**, 2010. No prelo.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. London: Illinois University , 1974. 245 p.

NEMLI, G.; ORS, Y.; KALAYCIOGLU, H. The choosing of suitable decorative surface coating material types for interior end use applications of particleboard. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 19, n. 5, p. 307-312, May 2004.

NO, B. Y.; KIM, M. G. Evaluation of melamine-modified urea-formaldehyde resins as particleboard binders. **Journal of Applied Polymer Science**, New York, v. 106, n. 6, p. 4148-4156, dez, 2007.

OKINO, E. Y. A.; ANDAHUR, J. P. V.; SANTANA, M. A. E.; SOUZA, M. R. Resistência físico-mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 52, p. 35-42, dez, 1997.

PANDEY, A.; SOCCOL, C. R.; NIGAM, P.; SOCCOL, V. T. Biotechnological potential of agro-industrial residues. I: sugarcane bagasse. **Bioresource Technology**, Essex , v. 74, n. 1, p. 69-80, Ago. 2000.

PANSHIN, A. J.; ZEEUW, C. **Textbook of wood technology**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 1970. 205 p.

- PAULESKI, D. T.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; RIZZATTI, E. Características de compósitos laminados manufaturados com polietileno de alta densidade (pead) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 157-170, 2007.
- PIZZI, A; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. 247 p.
- PLATH, L.; SCHNITZLER., E. The density profile, a criterion for evaluating particleboard. **Holz Roh-Werkst**, v. 32, n. 11, p. 443-449, 1974
- RAYIRATH, P. **Some aspects of western hemlock air permeability**. 1996. 104 p. Dissertação (Master of Science Forestry) – The University of British Columbia, Vancouver.
- SERPA, P. N.; VITAL , B. R.; DELLA LUCIA , R. M.; PIMENTA, A. S. Avaliação de algumas propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 27, n. 5, p. 723-733, set./out. 2003.
- SIAU, J. F. **Flow in Wood**. Syracuse: Syracuse University, 1971. 131 p.
- SILVA, M. R. **Determinação da permeabilidade em madeiras brasileiras de florestas plantadas**. 2007. 135 p. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharias de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos.
- SILVA, M. R.; MACHADO, G. O.; PAWLICKA, A.; JÚNIOR, C. C. Proposta de um equipamento alternativo para determinação da permeabilidade em madeiras brasileiras. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 10., São Pedro, 2006. **Resumos...** São Pedro: IBRAMEN, 2006.
- SJOSTROM, S. Wood chemistry: fundamentals and applications. **Sugar Tech**, Guangxi, v. 6, n. 4, p. 281-284, 1981.
- SMITH, W. W. History and description of current (bagasse fiberboard) operation of Tablopan (de Venezuela S. A.). **Tappi C. A. Report**, p. 87-91, 1976.
- TEIXEIRA, D. E.; COSTA, A. F.; SANTANA, M. A. E. Aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar: resistência natural ao ataque de fungos apodrecedores. **Scientia forestalis**, Piracicaba, n. 52, p. 29-34, dez. 1997.

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

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494p.

VITAL, B. R.; LEHMANN, W. F.; BOONE, R. S. How species and board density affect properties of exotic hardwood particleboards. **Forest Products Journal**, Madison, v. 24, n. 12, p. 37-45, Dez. 1972.

WEI, Y. A.; LU, J. J.; SUN, W. D. New development in sugar-based products and cane by-products utilization in China. **Sugar Tech**, Guangxi, v. 6, n. 4, p. 281-284, Sept. 2004.

WIDYORINI, R.; XU, J.; UMEMURA, K.; KAWAI, S. Manufacture and properties of binderless particleboard from bagasse I: effects of raw material type, storage methods, and manufacturing process. **Journal of Wood Science**, v. 51, n. 6, p. 648-654, Dez. 2005.

XU, B. X.; ZHOU, D.; WU, Q.; VLOSKI, R. P. Agri-Based composites in China: opportunities and challenges. **Forest Products Journal**, Madison, v. 54, n. 5, p. 8-15, May 2004.

YOUNGQUIST, J. A.; ENGLISH, B. E.; SPELTER, H.; CHOW, P. Agricultural Fibers in composition panels. In: INTERNATIONAL PARTICLEBOARD/COMPOSITE MATERIALS SYMPOSIUM, 27., 1993, Pullman. **Proceedings...** Pullman: Washington State University, 1993. p. 30-31.

YOUNGQUIST, J. A.; KRZYSIK, A. M.; ENGLISH, B. W.; HENRY N. SPELTER, H. S.; CHOW, P. **Agricultural fibers for use in building components**. Madison: Forest Products Society, 1996. p.123-134.

ANEXOS

ANEXO A	Página
TABELA 1A Dados para cálculo da permeabilidade I.....	68
TABELA 2A Dados para cálculo da permeabilidade II.....	74

TABELA 1A Dados para cálculo de permeabilidade I.

Tratamento	Amostra	Lado1(cm)	Lado 2 (cm)	Área (cm ²)
1	A1	2,099	2,063	4,330237
1	A2	2,142	2,088	4,472496
1	A3	2,183	2,098	4,579934
1	A4	2,083	2,143	4,463869
1	B2	2,086	1,994	4,159484
1	B3	2,09	2,01	4,2009
1	B4	2,087	2,062	4,303394
1	C2	2,108	2,114	4,456312
1	C3	2,072	2,054	4,255888
1	C4	2,068	2,127	4,398636
1	D1	2,068	2,042	4,222856
1	D2	1,976	2,077	4,104152
1	D3	2,068	2,066	4,272488
1	D4	2,068	2,044	4,226992
2	A1	2,071	2,06	4,26626
2	A2	2,077	2,022	4,199694
2	A3	2,105	2,071	4,359455
2	A4	2,077	2,091	4,343007
2	B1	2,112	2,042	4,312704
2	B2	2,000	2,113	4,2260
2	B3	2,167	2,111	4,574537
2	B4	2,088	2,094	4,372272
2	C1	2,119	2,051	4,346069
2	C2	2,099	2,071	4,347029
2	C3	2,071	2,066	4,278686
2	C4	2,087	2,059	4,297133
2	D1	2,043	1,98	4,04514
2	D2	2,09	2,021	4,22389
2	D3	2,02	2,109	4,26018
2	D4	2,026	2,078	4,210028
3	A1	2,061	1,995	4,111695
3	A2	1,985	2,082	4,13277

Continuação...

3	A3	2,062	1,998	4,119876
3	A4	2,001	2,066	4,134066
3	B1	2,06	2,121	4,36926
3	B3	2,106	2,085	4,39101
3	B4	2,097	2,106	4,416282
3	C1	2,019	2,013	4,064247
3	C2	2,042	2,058	4,202436
3	C3	2,062	2,042	4,210604
3	C4	2,05	2,04	4,182
3	D 2	1,834	2,037	3,735858
3	D3	2,089	2,076	4,336764
3	D4	2,072	2,098	4,347056
4	A1	2,045	2,064	4,22088
4	A2	2,064	2,062	4,255968
4	A3	2,065	2,034	4,20021
4	A4	2,049	2,06	4,22094
4	B1	2,074	2,029	4,208146
4	B2	1,997	2,058	4,109826
4	B3	2,063	2,072	4,274536
4	B4	2,051	2,003	4,108153
4	C1	2,053	1,968	4,040304
4	C2	2,056	1,969	4,048264
4	C3	1,945	2,02	3,9289
4	C4	2,065	1,938	4,00197
4	D1	2,057	2,104	4,327928
4	D 2	2,068	2,104	4,351072
4	D3	2,067	2,084	4,307628
4	D4	2,088	2,109	4,403592
5	A1	2,046	2,04	4,17384
5	A2	2,043	2,057	4,202451
5	A3	2,067	2,037	4,210479
5	A4	2,029	2,033	4,124957
5	B1	2,067	2,048	4,233216

Continuação...

5	B2	2,066	2,072	4,280752
5	B3	2,08	2,064	4,29312
5	B4	2,065	2,086	4,30759
5	C1	2,044	2,005	4,09822
5	C2	2,037	1,999	4,071963
5	C3	2,063	2,012	4,150756
5	C4	2,053	2,017	4,140901
5	D1	2,036	1,945	3,96002
5	D2	1,972	1,997	3,938084
5	D3	1,973	2,015	3,975595
5	D4	2,029	1,961	3,978869
6	A1	2,053	2,056	4,220968
6	A2	2,053	2,022	4,151166
6	A3	2,047	2,022	4,139034
6	A4	2,098	2,052	4,305096
6	B1	2,054	2,074	4,259996
6	B2	2,044	2,074	4,239256
6	B3	2,058	2,078	4,276524
6	B4	2,037	2,065	4,206405
6	C1	2,049	2,058	4,216842
6	C2	2,062	2,027	4,179674
6	C3	2,067	2,006	4,146402
6	C4	2,068	2,011	4,158748
6	D1	2,088	2,048	4,276224
6	D2	2,05	2,098	4,3009
6	D3	2,101	2,097	4,405797
6	D4	2,054	2,105	4,32367
7	A1	2,036	2,029	4,131044
7	A3	2,045	2,111	4,316995
7	B1	2,056	2,013	4,138728
7	B2	2,073	2,012	4,170876
7	B3	2,068	2,081	4,303508
7	B4	2,074	2,041	4,233034

Continuação...

7	C1	2,045	2,069	4,231105
7	C2	2,104	2,092	4,401568
7	C3	2,129	2,084	4,436836
7	C4	2,046	2,064	4,222944
7	D1	2,075	2,139	4,438425
7	D2	2,137	2,093	4,472741
7	D3	2,079	2,146	4,461534
7	D4	2,079	2,158	4,486482
8	A1	2,115	2,037	4,308255
8	A2	2,111	2,166	4,572426
8	A3	2,117	2,15	4,55155
8	A4	2,117	2,009	4,253053
8	B1	2,087	2,042	4,261654
8	B2	2,088	2,039	4,257432
8	B3	2,085	2,076	4,32846
8	B4	2,077	2,043	4,243311
8	C1	2,000	1,997	3,994
8	C2	2,000	2,006	4,012
8	C3	2,052	2,014	4,132728
8	C4	2,002	2,107	4,218214
8	D1	2,021	1,992	4,025832
8	D2	2,054	1,99	4,08746
8	D3	2,057	2,014	4,142798
8	D4	2,06	2,02	4,1612
9	A1	1,993	1,828	3,643204
9	A2	1,97	2,011	3,96167
9	A3	2,012	2,128	4,281536
9	A4	2,013	2,068	4,162884
9	B1	2,034	2,103	4,277502
9	B2	2,043	2,056	4,200408
9	B3	2,06	2,101	4,32806
9	B4	2,081	2,098	4,365938
9	C1	2,038	2,035	4,14733

Continuação...

9	C2	2,044	2,022	4,132968
9	C3	2,076	2,038	4,230888
9	C4	2,027	2,056	4,167512
9	D1	2,046	2,029	4,151334
9	D2	2,048	2,061	4,220928
9	D3	2,106	2,059	4,336254
9	D4	2,097	2,079	4,359663
10	A1	2,034	2,007	4,082238
10	A2	1,999	2,085	4,167915
10	A3	1,995	2,058	4,10571
10	A4	2,03	1,998	4,05594
10	B1	2,044	2,104	4,300576
10	B2	2,092	2,107	4,407844
10	B3	2,099	2,096	4,399504
10	B4	2,054	2,095	4,30313
10	C1	2,122	2,087	4,428614
10	C2	2,095	2,099	4,397405
10	C3	2,019	2,078	4,195482
10	C4	2,083	2,068	4,307644
10	D1	2,066	2,001	4,134066
10	D2	2,16	2,005	4,3308
10	D3	2,01	2,053	4,12653
10	D4	2,011	2,133	4,289463
11	A1	2,107	2,003	4,220321
11	A2	2,089	2,102	4,391078
11	A3	2,081	1,947	4,051707
11	A4	2,036	2,079	4,232844
11	B1	2,131	2,052	4,372812
11	B2	2,058	2,116	4,354728
11	B3	2,061	2,098	4,323978
11	B4	2,105	2,099	4,418395
11	C1	1,999	2,001	3,999999
11	C2	2,051	2,022	4,147122

Continuação...

11	C3	2,037	2,021	4,116777
11	C4	2,027	2,053	4,161431
11	D1	2,044	2,084	4,259696
11	D2	2,073	2,065	4,280745
11	D3	2,076	2,099	4,357524
11	D4	2,066	2,079	4,295214
12	A1	2,094	2,055	4,30317
12	A2	2,044	2,078	4,247432
12	A3	2,07	2,085	4,31595
12	A4	2,082	2,089	4,349298
12	B1	2,061	2,107	4,342527
12	B2	2,059	2,052	4,225068
12	B3	2,062	2,074	4,276588
12	B4	2,058	2,068	4,255944
12	C1	2,074	2,061	4,274514
12	C2	2,071	2,087	4,322177
12	C3	2,099	2,037	4,275663
12	C4	2,094	2,058	4,309452
12	D1	2,102	2,074	4,359548
12	D2	2,099	2,079	4,363821
12	D3	2,029	2,088	4,236552
12	D4	2,082	2,124	4,422168
13	A1	2,102	2,04	4,28808
13	A2	2,11	2,062	4,35082
13	A3	2,106	2,077	4,374162
13	A4	2,04	2,096	4,27584
13	B1	1,997	2,089	4,171733
13	B2	2,092	2,039	4,265588
13	B3	2,086	2,035	4,24501
13	B4	2,043	2,124	4,339332
13	C1	2,137	2,072	4,427864
13	C2	2,067	2,072	4,282824
13	C3	2,067	2,071	4,280757

Continuação...

13	C4	2,064	2,084	4,301376	1,525
13	D1	2,092	2,061	4,311612	1,516
13	D2	2,099	2,051	4,305049	1,512
13	D3	2,082	2,087	4,345134	1,513
13	D4	2,065	2,09	4,31585	1,514

TABELA 2A Dados para cálculo de permeabilidade II.

Tratamento	Amostra	P _{lavras}	P _{vácuo}	Tempo	Q1	Kg
1	A1	0,9119	0,2039	1	11,11	8,86
1	A2	0,9119	0,2105	1	11,11	8,50
1	A3	0,9119	0,2171	1	9,72	7,26
1	A4	0,9119	0,3553	1	15,28	13,04
1	B2	0,9119	0,0921	1	15,28	12,09
1	B3	0,9119	0,1447	1	12,50	9,83
1	B4	0,9119	0,3487	1	5,56	4,85
1	C2	0,9119	0,2632	1	8,33	6,95
1	C3	0,9119	0,2632	1	8,33	7,28
1	C4	0,9119	0,1842	1	11,11	8,96
1	D1	0,9119	0,2632	1	8,33	7,50
1	D2	0,9119	0,3289	1	6,94	6,74
1	D3	0,9119	0,3158	1	6,94	6,34
1	D4	0,9119	0,1711	1	11,11	9,31
2	A1	0,9119	0,3355	1	6,94	6,19
2	A2	0,9119	0,0658	1	16,67	12,99
2	A3	0,9119	0,3947	1	4,17	3,81
2	A4	0,9119	0,1447	1	12,50	9,60
2	B1	0,9119	0,2105	1	11,11	8,88
2	B2	0,9119	0,1908	1	11,11	9,13
2	B3	0,9119	0,1776	1	11,11	8,40
2	B4	0,9119	0,1711	1	11,11	8,93
2	C1	0,9119	0,1842	1	11,11	8,47
2	C2	0,9119	0,1184	1	13,89	10,42
2	C3	0,9119	0,0789	1	15,28	11,60
2	C4	0,9119	0,0789	1	16,67	12,65
2	D1	0,9119	0,3750	1	5,56	5,30
2	D2	0,9119	0,5000	1	0,00	0,00
2	D3	0,9119	0,4079	1	4,17	3,89
2	D4	0,9119	0,3487	1	5,56	4,87
3	A1	0,9119	0,2171	1	9,72	8,33
3	A2	0,9119	0,3684	1	5,56	5,26

Continuação...

3	A3	0,9119	0,5263	1	0,00	0,00
3	A4	0,9119	0,1184	1	13,89	10,67
3	B1	0,9119	0,5000	1	0,00	0,00
3	B3	0,9119	0,4408	1	0,00	0,00
3	B4	0,9119	0,4605	1	0,00	0,00
3	C1	0,9119	0,2368	1	9,72	8,86
3	C2	0,9119	0,1316	1	0,00	0,00
3	C3	0,9119	0,3947	1	4,17	4,09
3	C4	0,9119	0,3487	1	5,56	5,18
3	D 2	0,9119	0,2763	1	2,78	2,63
3	D3	0,9119	0,5263	1	0,00	0,00
3	D4	0,9119	0,5526	1	0,00	0,00
4	A1	0,9119	0,5000	1	0,00	0,00
4	A2	0,9119	0,5132	1	0,00	0,00
4	A3	0,9119	0,5132	1	0,00	0,00
4	A4	0,9119	0,5197	1	0,00	0,00
4	B1	0,9119	0,2039	1	11,11	8,97
4	B2	0,9119	0,4079	1	4,17	4,05
4	B3	0,9119	0,5066	1	4,17	4,53
4	B4	0,9119	0,4211	1	2,78	2,76
4	C1	0,9119	0,3750	1	2,78	2,71
4	C2	0,9119	0,3816	1	4,17	4,02
4	C3	0,9119	0,1053	1	15,28	12,53
4	C4	0,9119	0,0921	1	13,89	11,50
4	D1	0,9119	0,3158	1	6,94	6,08
4	D 2	0,9119	0,3158	1	6,94	5,93
4	D3	0,9119	0,2500	1	9,72	7,78
4	D4	0,9119	0,3092	1	6,94	5,73
5	A1	0,9119	0,1513	1	12,50	10,10
5	A2	0,9119	0,0658	1	15,28	11,97
5	A3	0,9119	0,2829	1	8,33	7,28
5	A4	0,9119	0,0921	1	13,89	11,24
5	B1	0,9119	0,3553	1	5,56	5,09

Continuação...

5	B2	0,9119	0,4145	1	4,17	4,03
5	B3	0,9119	0,2961	1	8,33	7,14
5	B4	0,9119	0,3816	1	4,17	3,79
5	C1	0,9119	0,1053	1	13,89	11,65
5	C2	0,9119	0,0724	1	15,28	12,60
5	C3	0,9119	0,0329	1	18,06	14,41
5	C4	0,9119	0,1053	1	15,28	12,14
5	D1	0,9119	0,0329	1	16,67	14,61
5	D2	0,9119	0,0395	1	16,67	14,56
5	D3	0,9119	0,0395	1	16,67	14,46
5	D4	0,9119	0,1184	1	13,89	12,09
6	A1	0,9119	0,3553	1	5,56	5,28
6	A2	0,9119	0,4079	1	4,17	4,17
6	A3	0,9119	0,0789	1	16,67	13,39
6	A4	0,9119	0,3947	1	4,17	3,95
6	B1	0,9119	0,3947	1	4,17	3,85
6	B2	0,9119	0,1184	1	2,78	2,15
6	B3	0,9119	0,4605	1	0,00	0,00
6	B4	0,9119	0,1711	1	9,72	7,49
6	C1	0,9119	0,2500	1	5,56	4,76
6	C2	0,9119	0,1842	1	12,50	10,02
6	C3	0,9119	0,2368	1	9,72	8,31
6	C4	0,9119	0,3026	1	6,94	6,12
6	D1	0,9119	0,1316	1	9,72	7,14
6	D2	0,9119	0,2434	1	9,72	7,75
6	D3	0,9119	0,3553	1	5,56	4,75
6	D4	0,9119	0,1513	1	12,50	9,39
7	A1	0,9119	0,2895	1	5,56	4,84
7	A3	0,9119	0,4803	1	0,00	0,00
7	B1	0,9119	0,1053	1	13,89	11,23
7	B2	0,9119	0,5395	1	0,00	0,00
7	B3	0,9119	0,5395	1	0,00	0,00
7	B4	0,9119	0,5526	1	0,00	0,00

Continuação...

7	C1	0,9119	0,0987	1	12,50	9,78
7	C2	0,9119	0,1711	1	4,17	3,20
7	C3	0,9119	0,3026	1	6,94	5,78
7	C4	0,9119	0,3026	1	0,00	0,00
7	D1	0,9119	0,3553	1	5,56	4,99
7	D2	0,9119	0,3421	1	4,17	3,62
7	D3	0,9119	0,3355	1	4,17	3,57
7	D4	0,9119	0,3421	1	5,56	4,74
8	A1	0,9119	0,1053	1	13,89	10,46
8	A2	0,9119	0,3421	1	5,56	4,66
8	A3	0,9119	0,3421	1	5,56	4,73
8	A4	0,9119	0,2632	1	8,33	7,14
8	B1	0,9119	0,4342	1	2,78	2,85
8	B2	0,9119	0,4342	1	2,78	2,87
8	B3	0,9119	0,3684	1	15,28	14,30
8	B4	0,9119	0,3553	1	5,56	5,24
8	C1	0,9119	0,2368	1	9,72	8,65
8	C2	0,9119	0,1513	1	12,50	10,53
8	C3	0,9119	0,3553	1	5,56	5,18
8	C4	0,9119	0,3816	1	4,17	3,96
8	D1	0,9119	0,2171	1	9,72	8,56
8	D2	0,9119	0,2961	1	8,33	7,58
8	D3	0,9119	0,4605	1	2,78	2,95
8	D4	0,9119	0,0395	1	16,67	13,18
9	A1	0,9119	0,3816	1	4,17	4,51
9	A2	0,9119	0,3684	1	4,17	4,15
9	A3	0,9119	0,0658	1	16,67	12,56
9	A4	0,9119	0,3289	1	5,56	4,84
9	B1	0,9119	0,3026	1	8,33	6,69
9	B2	0,9119	0,2566	1	9,72	7,70
9	B3	0,9119	0,4079	1	4,17	3,71
9	B4	0,9119	0,1579	1	12,50	9,15
9	C1	0,9119	0,4211	1	4,17	3,91

Continuação...

9	C2	0,9119	0,5000	1	0,00	0,00
9	C3	0,9119	0,2632	1	4,17	3,25
9	C4	0,9119	0,4276	1	2,78	2,61
9	D1	0,9119	0,0000	1	0,00	0,00
9	D2	0,9119	0,2237	1	9,72	8,28
9	D3	0,9119	0,0000	1	0,00	0,00
9	D4	0,9119	0,3092	1	6,94	5,89
10	A1	0,9119	0,3487	1	5,56	5,37
10	A2	0,9119	0,3158	1	6,94	6,27
10	A3	0,9119	0,4342	1	2,78	2,87
10	A4	0,9119	0,5000	1	4,17	4,73
10	B1	0,9119	0,3947	1	0,00	0,00
10	B2	0,9119	0,4737	1	0,00	0,00
10	B3	0,9119	0,3289	1	6,94	5,67
10	B4	0,9119	0,1579	1	12,50	9,43
10	C1	0,9119	0,1974	1	11,11	8,77
10	C2	0,9119	0,3158	1	6,94	5,93
10	C3	0,9119	0,2632	1	9,72	8,32
10	C4	0,9119	0,1579	1	12,50	9,74
10	D1	0,9119	0,4605	1	2,78	3,11
10	D2	0,9119	0,2829	1	4,17	3,59
10	D3	0,9119	0,2237	1	11,11	9,53
10	D4	0,9119	0,4276	1	2,78	2,73
11	A1	0,9119	0,5132	1	0,00	0,00
11	A2	0,9119	0,5724	1	0,00	0,00
11	A3	0,9119	0,5526	1	0,00	0,00
11	A4	0,9119	0,3816	1	0,00	0,00
11	B1	0,9119	0,3947	1	4,17	3,63
11	B2	0,9119	0,5592	1	0,00	0,00
11	B3	0,9119	0,5526	1	0,00	0,00
11	B4	0,9119	0,5658	1	0,00	0,00
11	C1	0,9119	0,5000	1	0,00	0,00
11	C2	0,9119	0,5132	1	0,00	0,00

Continuação...

11	C3	0,9119	0,5263	1	0,00	0,00
11	C4	0,9119	0,5658	1	0,00	0,00
11	D1	0,9119	0,5658	1	0,00	0,00
11	D2	0,9119	0,5592	1	0,00	0,00
11	D3	0,9119	0,5658	1	0,00	0,00
11	D4	0,9119	0,5526	1	0,00	0,00
12	A1	0,9119	0,1316	1	11,11	8,63
12	A2	0,9119	0,1447	1	11,11	8,81
12	A3	0,9119	0,1513	1	12,50	9,77
12	A4	0,9119	0,1316	1	12,50	9,64
12	B1	0,9119	0,1447	1	11,11	8,64
12	B2	0,9119	0,1513	1	11,11	8,89
12	B3	0,9119	0,1316	1	11,11	8,71
12	B4	0,9119	0,1711	1	11,11	8,87
12	C1	0,9119	0,1382	1	12,50	9,77
12	C2	0,9119	0,1316	1	11,11	8,58
12	C3	0,9119	0,1579	1	11,11	8,75
12	C4	0,9119	0,1447	1	11,11	8,64
12	D1	0,9119	0,1316	1	12,50	9,61
12	D2	0,9119	0,1316	1	12,50	9,65
12	D3	0,9119	0,1447	1	11,11	8,82
12	D4	0,9119	0,1382	1	11,11	8,43
13	A1	0,9119	0,2763	1	8,33	7,14
13	A2	0,9119	0,3289	1	5,56	4,88
13	A3	0,9119	0,2763	1	8,33	6,97
13	A4	0,9119	0,2368	1	6,94	5,80
13	B1	0,9119	0,2105	1	9,72	8,13
13	B2	0,9119	0,2368	1	8,33	6,91
13	B3	0,9119	0,1711	1	9,72	7,83
13	B4	0,9119	0,1316	1	9,72	7,55
13	C1	0,9119	0,4605	1	2,78	2,82
13	C2	0,9119	0,4079	1	0,00	0,00

Continuação...

13	C3	0,9119	0,4737	1	0,00	0,00
13	C4	0,9119	0,4605	1	0,00	0,00
13	D1	0,9119	0,4079	1	4,17	4,02
13	D2	0,9119	0,2237	1	5,56	4,55
13	D3	0,9119	0,3553	1	5,56	5,00
13	D4	0,9119	0,4211	1	2,78	2,72