UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS

# APROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE CANA DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS

**RICARDO PEDRESCHI**

**2009**

# Livros Grátis

http://www.livrosgratis.com.br

Milhares de livros grátis para download.

**RICARDO PEDRESCHI**

# APROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE CANA DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS

Tese 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 Madeira, como Matéria-Prima, para a obtenção do título de "Doutor".

Orientador

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2009

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

Pedreschi, Ricardo.
Aproveitamento do bagaço de cana da indústria sucroalcooleira na produção de painéis aglomerados / Ricardo Pedreschi. – Lavras: UFLA, 2009.
49 p. : il.

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Lavras, 2009.
Orientador: Lourival Marin Mendes.
Bibliografia.

1. Bagaço de cana-de-açúcar. 2. Aglomerado. 3. Propriedades físico-mecânicas. 4. Aproveitamento de resíduos. 5. Agregação de valor. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.
CDD – 674.836

**RICARDO PEDRESCHI**

# APROVEITAMENTO DO BAGAÇO DE CANA DA INDÚSTRIA SUCROALCOOLEIRA NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS AGLOMERADOS

Tese 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 Madeira, como Matéria-Prima, para a obtenção do título de "Doutor".

APROVADA em 30 de outubro de 2009

| | |
|---|---|
| Prof. Dr. Lourival Marin Mendes | UFLA |
| Prof. Dr. Paulo Fernando Trugilho | UFLA |
| Prof. Dr. Francisco Carlos Gomoes | UFLA |
| Prof. Dr. Fábio Akira Mori | UFLA |
| Profa. Dra. Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho | UFV |

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

**Dedico**

À memória de minha querida mãe, Maria Amélia e à memória de meus avós, pelo carinho e amor que sempre me deram.

**Homenageio**

Ao meu pai, Octavio, pois sempre tento seguir seu exemplo de honestidade e perseverança; ao meu irmão Paulo César por estar sempre presente e à minha Madrinha Lea, por todo o carinho e dedicação.

**Ofereço**

À Sílvia, minha esposa e cúmplice, por dividir comigo responsabilidades e trabalho.

Ao Rafael e à Amanda, meus filhos e razão de minha alegria.

Até hoje não se tem certeza de onde viemos...

Os filósofos ainda querem entender quem somos....

E existem umas duzentas teorias sobre  para onde vamos ...

Os economistas querem explicar a crise...

E os cientistas como o cérebro funciona...

Como podemos ver:

NÃO SÃO AS RESPOSTAS QUE MOVEM O MUNDO,

SÃO AS PERGUNTAS

**(campanha publicitária canal futura – 2009)**

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelas oportunidades, por tudo e por todas as pessoas que tem colocado no meu caminho.

A todas as pessoas que, de alguma forma, auxiliaram ou contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

A meu sogro Jaime F. Pimenta e minha sogra Maria Aparecida T. Pimenta, pelo apoio em todos os sentidos e pelo incentivo constante.

**Agradeço:**

Ao professor Lourival Marin Mendes, pelos ensinamentos, orientação e amizade.

Ao professor Fábio Akira Mori, pela atenção.

À equipe de docentes do Programa de Pós Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira (CTM).

À equipe de docentes do departamento de Engenharia Florestal.

Aos meus queridos familiares pelo carinho e incentivo.

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade oferecida.

Ao pessoal do UEPAM. Em especial ao Heber Lúcio Alvarenga e ao Rafael Farinassi Mendes, pela dedicação na confecção dos painéis e ajuda no cálculo de dados e testes.

Aos colegas em geral pela convivência e amizade.

Enfim, a todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO


| | Página |
|---|---|
| LISTA DE FIGURAS | i |
| LISTA DE TABELAS | ii |
| RESUMO | iii |
| ABSTRACT | v |
| 1 INTRODUÇÃO | 01 |
| 2 OBJETIVOS | 03 |
| 2.1 Geral | 03 |
| 2.2 Específicos | 03 |
| 3 REFERENCIAL TEÓRICO | 04 |
| 3.1 Mercado de painéis aglomerados | 04 |
| 3.2 Painéis aglomerados - definição | 05 |
| 3.3 Propriedades dos painéis aglomerados | 06 |
| 3.4 Bagaço de cana-de-açúcar | 11 |
| 3.4.1 Pesquisas realizadas utilizando bagaço de cana na produção de painéis aglomerados | 13 |
| 4 MATERIAL E MÉTODOS | 16 |
| 4.1 Matéria-prima | 16 |
| 4.2 Manufatura dos painéis | 18 |
| 4.3 Determinação da densidade básica do material | 20 |
| 4.4 Determinação das propriedades físico-mecânicas | 20 |
| 4.5 Análise estatística | 22 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 23 |
| 5.1 Densidade e razão de compactação | 24 |
| 5.2 Propriedades Físicas | 24 |
| 5.2.1 Absorção de água | 26 |
| 5.2.2 Inchamento em espessura | 29 |
| 5.2.3 Taxa de não retorno em espessura | 31 |
| 5.3 Propriedades Mecânicas | 31 |
| 5.3.1 Módulo de elasticidade e módulo de ruptura na flexão estática | 31 |
| 5.3.2 Ligação interna | 33 |
| 5.3.3 Compressão paralela a superfície do painel | 36 |
| 6 CONCLUSÕES | 38 |
| 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 40 |
| ANEXOS | 44 |

## LISTA DE FIGURAS


| | | Página |
|---|---|---|
| FIGURA 1 | A) Pré-prensagem; B) Prensagem à quente..... | 20 |
| FIGURA 2 | Esquema de distribuição dos corpos-de-prova nos painéis (unidades em mm)..... | 21 |
| FIGURA 3 | Máquina de ensaio – EMIC DL - 30000..... | 22 |

## LISTA DE TABELAS


| | | Página |
|---|---|---|
| TABELA 1 | Planejamento experimental ..... | 19 |
| TABELA 2 | Valores médios da densidade aparente e razão de compactação dos painéis..... | 23 |
| TABELA 3 | Valores médios de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão..... | 25 |
| TABELA 4 | Valores médios de Inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão..... | 27 |
| TABELA 5 | Valores médios de Taxa de não retorno em espessura..... | 30 |
| TABELA 6 | Valores médios de Módulo de elasticidade e Módulo de ruptura..... | 31 |
| TABELA 7 | Valores médios de ligação interna..... | 34 |
| TABELA 8 | Valores médios de compressão paralela..... | 36 |

## RESUMO

PEDRESCHI, Ricardo. **Aproveitamento do bagaço de cana da indústria sucroalcooleira na produção de painéis aglomerados**. 2009. 49 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados. O planejamento experimental se constituiu de treze tratamentos, visando o efeito da constituição dos painéis em camadas, os tipos e teores de adesivos e suas associações nas camadas dos painéis, a comparação das propriedades físico-mecânicas, com painéis produzidos em escala industrial com bagaço de cana, provenientes da China e, também, com os produzidos em escala industrial com madeira de eucalipto no Brasil. Para cada tratamento foram avaliados quatro painéis com densidade nominal de 0,70 g/cm³. De acordo com os resultados pode-se concluir que: os painéis homogêneos se mostraram estatisticamente iguais ou superiores aos painéis produzidos em camadas. Para as propriedades Módulo de elasticidade, Módulo de ruptura e Absorção de água não foram observadas diferenças estatística entre os adesivos MUF (Melamina Uréia-formaldeido) e UF (Uréia-formaldeido) e nas demais propriedades, o adesivo MUF mostrou-se estatisticamente superior. De maneira geral, os painéis homogêneos e com o adesivo MUF foram os que apresentaram melhores resultados, quando, comparados aos painéis produzidos em escala laboratorial. Este tratamento atendeu a todos os valores exigidos pelas normas, com exceção do Módulo de elasticidade. O melhor tratamento obtido com os painéis de bagaço de cana produzidos em laboratório e os painéis produzidos em escala industrial da China mostraram-se, estatisticamente iguais aos produzidos industrialmente com madeira de eucalipto no Brasil, com relação às propriedades analisadas.



Palavras-chave: bagaço de cana-de-açúcar, madeira de eucalipto, aglomerados, propriedades físico-mecânicas.


---


Comitê orientador: Lourival Marin Mendes– UFLA (Orientador), Fábio Akira Mori - UFLA

## ABSTRACT

PEDRESCHI, Ricardo. **Utilization of sugarcane bagasse from sugar/alcohol industry for particleboard production**. 2009. 49 p. Thesis (Doctor of Science and Wood Technology) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

The objective of this study was to evaluate the use of bagasse in the production of particleboards. The experimental design was planed with thirteen treatments to assess the effect of the panels in layers, levels and types of adhesives and their associations in the panels layers, and comparison of physical and mechanical properties of panels produced i laboratorial scale, on an industrial scale from China using cane bagasse and also particle panels produced on an industrial scale from wood plantations in Brazil. For each treatment four panels with nominal density of 0.70 g / cm $^3$ were evaluated. According to the results , it is possible to conclude that: homogeneous panels were statistically equal to or even superior than those panels produced in layers; For properties modulus, Modulus of rupture and Water absorption statistical difference between adhesives MUF and UF was not observed, the other properties of the MUF adhesive were statistically superior. In general, the homogeneous and panels with adhesive MUF were those with superior results than other panels produced in laboratory scale, this approach met all the values required by the rules with the exception of the elasticity modulus; The best result obtained for panels of bagasse produced in the laboratory and the panels produced on an industrial scale in China, were statistically equal to the panels produced in industrial scale, with wood from plantations in Brazil, concerning the analyzed properties.



Keywords: sugar cane bagasse, eucalyptus wood, particleboard, physical and mechanical properties.


---

Advising Committee: Lourival Marin Mendes – UFLA (Advisor), Fábio Akira Mori - UFLA

# 1 INTRODUÇÃO

Originou-se na Alemanha, após a Segunda Guerra Mundial, a indústria de chapas de partículas de madeira aglomerada, desenvolvendo-se na década de 60. Neste período, iniciou-se a expansão maciça desta indústria nos EUA e no resto do mundo. O começo da produção de chapas de partículas, no Brasil, foi em 1966, com chapas fabricadas pela indústria Placas do Paraná.

A importância dessas chapas é, sem dúvida, reconhecida. Os painéis aglomerados são largamente utilizados na construção civil e no setor moveleiro, utilizando-se na fabricação desses painéis, preferencialmente, cavacos de madeira de florestas plantadas, o que determina inclusive uma melhor qualidade dos produtos, visando-se o melhor resultado das propriedades das chapas por meio do controle de homogeneidade da matéria-prima, desta forma promovendo seu melhor aproveitamento.

Sabe-se que a agroindústria, em geral, produz grande quantidade de resíduos, que em sua grande parte são desperdiçados, provocando graves problemas ambientais. Os resíduos gerados pela agroindústria brasileira mostram-se como alternativas ao setor de painéis aglomerados, apresentando-se com vários tipos de resíduos lignocelulósicos com potencialidades de aproveitamento. Esses resíduos são provenientes de diversas origens.

O bagaço de cana-de-açúcar, caracterizado por um conjunto de fibras emaranhadas de celulose, proveniente da produção de diversos derivados, torna-se disponível, cada vez em maior quantidade, devido ao aumento das áreas plantadas e da industrialização da cana-de-açúcar, para produção, principalmente, de álcool (etanol) e açúcar, decorrentes em sua maioria de investimentos públicos e privados. Geralmente, o bagaço de cana-de-açúcar é queimado para produzir energia e gerar, em reservatórios de vapor, outra forma

de energia para uso industrial. Entretanto, não sendo consumido na totalidade dentro da própria indústria.

Na produção de painéis particulados, o bagaço de cana-de-açúcar além de se transformar de resíduo em matéria prima, quase que sem passar praticamente por processamento algum, proporciona a agregação de valor praticamente instantânea. O aproveitamento adequado depende, principalmente, da logística, considerando-se o transporte e armazenamento, podendo, assim, atender à crescente demanda da indústria de painéis de madeira, além de possibilitar sua expansão, diminuir a utilização de madeira e, consequentemente, a exigência sobre a conservação das florestas e, ainda, reduzir os custos de produção dos painéis, tornando-os mais competitivos no mercado. A consequência é a sustentabilidade promovida pelo aproveitamento do resíduo e pelo envolvimento da comunidade da região, onde projetos de aproveitamento de resíduos sejam abordados através do MDL (Mecanismo de Desenvolvimento Limpo), além de contribuir positivamente com a questão ambiental pela eliminação de seu potencial poluidor.

# 2 OBJETIVOS

## 2.1 Geral

Avaliar a utilização de bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados.

## 2.2 Específicos

- Verificar a influência da constituição, em camadas dos painéis aglomerados, nas propriedades físico-mecânicas.

- Avaliar a influência dos tipos, teores de adesivo e mistura de adesivos na qualidade dos painéis produzidos de forma homogênea ou em camadas, assim como suas diferentes combinações nas camadas dos painéis;

- Comparar os painéis produzidos industrialmente, no Brasil, com a madeira de eucalipto, àqueles produzidos com bagaço de cana em laboratório na UFLA e os de escala industrial na China;

# 3 REFERENCIAL TEÓRICO

## 3.1 Mercado de painéis aglomerados

De acordo com Iwakiri (2005), os painéis de madeira aglomerada surgiram na Alemanha, no início da década de 40, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, em face à dificuldade de obtenção de madeiras de boa qualidade, para produção de lâminas para compensados, em consequência do isolamento da Alemanha durante a Segunda Guerra Mundial. A produção foi paralisada logo a seguir, pela redução na disponibilidade de adesivos, visando a prioridade de uso do petróleo para finalidades militares.

No Brasil o painel aglomerado começou a ser fabricado em 1966, pela empresa Placas do Paraná, localizada em Curitiba e, em seguida, surgiram novas fábricas: Satipel, Duratex, Eucatex, Tafisa, Bonet e Berneck, empresas que se modernizaram e ampliaram a capacidade produtiva.

Atualmente, o setor de painéis de madeira apresenta grande crescimento no Brasil e no Mundo, em função de fatores como a busca de alternativas à madeira maciça, modernização do parque fabril, com o surgimento de novos produtos como o OSB (Oriented Strand Board), MDF(Medium Density Fiberboard) , aglomerado e aglomerado/MDP (Medium Density Panel). Com o crescimento da construção civil e do setor de móveis, os principais consumidores de painéis de madeira, a demanda está aumentando consideravelmente.

De acordo com Mattos et al. (2008), as perspectivas são bastante positivas para o setor de painéis de madeira, de forma geral. Os segmentos de MDP e MDF são os que apresentam um cenário mais positivo, pois o aumento da oferta se direciona para o mercado interno, podendo o seu excedente ser absorvido pelo mercado externo.

Os painéis aglomerados são os mais consumidos no mundo e apresentaram uma taxa média anual de crescimento de 4,2% no período de 1995 a 2005. Segundo dados da Food and Agriculture Organization - FAO (2008), atingindo uma produção de 99,7 milhões de metros cúbicos em 2005. Os Estados Unidos destacam-se como o maior produtor com 21% da produção, enquanto que a produção do Brasil corresponde a 2% da total mundial, ocupando o país, o nono lugar.

No período 1995–2005, o consumo brasileiro de aglomerado/MDP, evoluiu de 866 mil m³ para 2.098 mil m³, o que representa um crescimento médio anual de 9,3%, superior à taxa mundial de 4,2%. Estes painéis são vendidos sem acabamento algum com 62% da produção e revestidos com 38% da produção, na forma "*finish foil*" e BP (baixa pressão), o que agrega valor à chapa sem acabamento (Mattos et al., 2008).

O crescimento da indústria de painéis de madeira aumenta a demanda por matéria-prima, o que leva a procura de outros tipos de materiais. Consequentemente, há o aumento do aproveitamento de resíduos agrícolas, principalmente o bagaço de cana, produzido no Brasil em grande quantidade. O bagaço mostra-se como uma alternativa viável, para atender a demanda da indústria de painéis, agregando valor ao resíduo e diminuindo o custo de produção dos painéis, tornando o mercado mais competitivo.

## 3.2 Painéis aglomerados - definição

Os painéis aglomerados caracterizam-se pela transformação da madeira em pequenas partículas, que secas e misturadas ao adesivo sintético termofixo e distribuídas aleatoriamente entre si, são conformadas sob a ação de temperatura e pressão, gerando um painel (Moslemi, 1974; Tsoumis, 1991).

As vantagens tecnológicas de painéis aglomerados são atribuídas principalmente, à sua estrutura homogênea e possibilidade de utilização de

matéria-prima sem restrições quanto à forma e dimensões. São largamente utilizados na construção civil e setor moveleiro. A princípio, podem ser fabricados a partir de qualquer material lignocelulósico, que lhes confira alta resistência mecânica e peso específico pré-estabelecido, uma vez que a estrutura lignocelulósica é semelhante à da madeira. (Rowell et al., 2000).

Maloney (1993) relata que os painéis aglomerados convencionais apresentam as seguintes vantagens, em relação à madeira maciça: minimização dos efeitos de anisotropia, possibilidade de eliminação de fatores, que diminuam a resistência da madeira, menores exigências no que se refere à matéria-prima, por meio do controle das variáveis de produção pode-se adequar às propriedades físico-mecânicas do painel. As desvantagens desses elementos são: superfície e bordas grosseiras, baixa qualidade na usinagem, não se adequam à introdução de pregos, podem-se esfarelar com uso inadequado de dobradiças e parafusos e apresentam baixa resistência à umidade. Apesar dos problemas mencionados, com o decorrer do tempo, foram incorporadas novas tecnologias, como o uso de parafina, controle do gradiente de densidade e sistemas de parafusamento mais eficientes.

### 3.3 Propriedades dos painéis aglomerados

Vários fatores contribuem para as características do produto final, propriedades físico-mecânicas dos painéis, tipo de matéria-prima, densidade dos painéis, densidade do material lignocelulósico, razão de compactação, granulometria das partículas, tipo e teores de adesivo, quantidade de parafina, umidade das partículas, temperatura e tempo de prensagem, e pressão específica.

A matéria-prima é uma das mais importantes variáveis para o processamento, pois, interage com as demais. A importância da matéria prima está relacionada à disponibilidade desta, além do tipo de partícula a ser produzida considerando-se o fator econômico.

Maloney (1993) relata que painéis, quando produzidos com matéria-prima de baixa densidade, apresentam, normalmente, maior resistência à flexão estática e à ligação interna, quando comparados aos painéis confeccionados com espécies de alta densidade e com a mesma densidade final do painel. Isso acontece, porque a matéria-prima com baixa densidade produz maior número de partículas para uma mesma massa determinada, promovendo, assim, no momento da prensagem, uma maior área de contato e, quando é mantida quantidade proporcional de adesivo por partícula, acaba por proporcionar painéis com maior resistência mecânica. As propriedades de absorção de água e inchamento em espessura passam a ter valores maiores, pelo fato de que existe um maior número de partículas sendo comprimidas e, com a presença de água em sua estrutura, essas tensões são liberadas em maior quantidade.

De acordo com Iwakiri (2005), os painéis podem ser classificados com base na densidade. Os painéis com densidade abaixo de 0,59 g/cm³ são considerados de baixa densidade, aqueles na faixa de 0,59 a 0,80g/cm³ de média densidade e os painéis acima de 0,80 g/cm³ de alta densidade.

Kollmann et al. (1975) e Haselein (1989) encontraram relação linear positiva entre a densidade dos painéis e as propriedades de resistência à flexão estática (MOE e MOR). Albuquerque (2002), ao estudar painéis aglomerados com densidades de 0,5; 0,7 e 0,9 g/cm³, observou um aumento nos valores de ligação interna, flexão estática e inchamento em espessura e uma diminuição dos valores de absorção de água, conforme se aumenta a densidade dos painéis.

Segundo Zhow (1990), a densidade dos painéis influencia de maneira significativa o MOR, MOE e a ligação interna. No entanto, concluiu que o relacionamento entre a densidade dos painéis com estas propriedades não é linear, encontrando ainda alta correlação entre a densidade dos painéis em relação à absorção de água e inchamento em espessura, porém, atribuiu o

aumento destas propriedades ao número maior de partículas necessárias para confecção de painéis de densidade maior.

Outras variáveis de processo na produção de painéis aglomerados são os tipos de material e a consequente relação entre a densidade do painel e a densidade do material utilizado, denominada razão de compactação (Kelly, 1977; Moslemi, 1974; Maloney, 1993; Tsoumis, 1991). Os autores recomendam que a razão de compactação seja de 1,3 a 1,6, para que ocorra adequada densificação e consolidação do painel à espessura final desejada. Relatam ainda que painéis, quando produzidos com material de baixa densidade, apresentam, normalmente, maior resistência à flexão e à tração perpendicular, quando comparados a painéis confeccionados com material de alta densidade. As propriedades de absorção de água e inchamento em espessura passam a ter valores maiores. Em contrapartida, Vital et al. (1974) concluíram que painéis com maior razão de compactação (1,6), apresentaram menor absorção de água que painéis com menor razão de compactação (1,2). Atribuíram esse fato à redução na porosidade e aumento na quantidade de material lenhoso, como prováveis causas da menor taxa de absorção de água.

De acordo com Kelly (1977), a geometria das partículas é outro parâmetro importante na produção de painéis aglomerados. As dimensões têm que ser controladas, para se obter maior homogeneidade, que influencia a área da superfície específica e, por conseqüência, o consumo de adesivo e as propriedades dos painéis. Para Maloney (1993) e Moslenni (1974), partículas de tamanhos menores requerem maior quantidade de adesivo para seu perfeito encolamento, uma vez que estas partículas apresentam maior área específica exposta. Para os mesmos autores, com a utilização de uma mesma quantidade de adesivo, painéis com partículas maiores apresentaram maiores valores de ligação interna, em consequência de uma maior quantidade de adesivo por unidade de área específica, relativamente aos painéis de partículas de menor tamanho.

Os painéis aglomerados do tipo MDP possuem como conceito de produção, sua constituição em três camadas, com granulometria diferenciada, dispostas em um colchão de partículas maiores, no interior e camadas de partículas finas nas superfícies. Passando a ter como vantagem uma superfície que proporciona acabamento superior nos processos de pintura e revestimento, além de propriedades físico-mecânicas superiores.

Os principais tipos de adesivos utilizados pela indústria de painéis são a Uréia-formaldeído, o Fenol-formaldeído, a Melamina-formaldeído, o Isocianato e a Resorcina-formaldeído.

Grande parte dos painéis aglomerados produzidos no mundo utiliza o adesivo Uréia-Formaldeído (UF). Porém, este apresenta resistência à umidade muito limitada, enquanto que outros adesivos, como por exemplo, a Melamina-formaldeído (MF) é indicada para produção de painéis de uso externo ou para ambientes com alta umidade relativa. Por ser o componente de maior custo, torna-se muito importante a definição do tipo e quantidade de adesivo a ser utilizado, para se buscar uma otimização na relação custo-benefício.

Atualmente, como o adesivo Melamina-formaldeído (MF) apresenta um custo mais elevado do que a Uréia-formaldeído (UF), passou-se a misturar MF em proporções menores com o adesivo UF, que passou a ser chamado de Melamina-uréia-formaldeído (MUF), com o objetivo de otimizar tanto o preço como, também, a resistência à umidade, que refletem na qualidade final do painel.

Murakami et al. (1999), ao estudarem o efeito dos teores de adesivo observaram um incremento nas propriedades mecânicas e estabilidade dimensional dos painéis, com o aumento do conteúdo do adesivo. Em contrapartida, Wu (1999), não encontrou uma relação bem definida entre teor de adesivo e MOR, MOE e expansão linear. Menciona que os efeitos do nível de

adesivo sobre essas propriedades são relativos e mais diversificados, não seguindo, portanto, uma tendência definida.

A parafina é adicionada ao processo, a fim de proporcionar uma melhora na resistência do painel acabado, com relação à absorção de água na forma líquida. Porém, o efeito da parafina, na absorção da água na forma líquida e no aumento da espessura do painel, é significativo somente em curto intervalo de tempo.

De acordo com Cloutier (1998) a indústria utiliza a parafina numa proporção máxima de 1,5 %, uma proporção mais elevada não é eficiente na redução de absorção de água e inchamento em espessura.

Matos (1988) relata que o MOR e MOE apresentaram maiores valores médios, quando adicionado 1% de parafina às partículas com teor de umidade de 3 a 5%, para produção de painéis particulados. Supôs-se, ainda, que este fato ocorreu pelo acréscimo de umidade às partículas com a adição da parafina. A importância do teor de umidade do material, no ciclo da prensagem, deve-se à influência que exerce sobre a resistência da matéria-prima à compressão a que é submetida, com o objetivo de consolidação do colchão na espessura final desejada e, também, para assegurar o contato adequado entre as partículas. Um teor de umidade mais elevado das partículas requer um tempo menor para atingir, sob pressão, uma desejada espessura. A umidade e a temperatura em conjunto proporcionam uma maior plasticização da madeira, que oferecerá menor resistência à compactação. Maiores teores de umidade do material facilitam a transferência de calor desde a superfície até o miolo do painel. Há um movimento mais rápido de vapor para as camadas internas, proporcionando o aquecimento e a cura do adesivo. O mesmo autor, por outro lado relata que elevados teores de umidade requerem tempos mais longos de prensagem, até que uma quantidade suficiente de vapor seja liberada e permita a adesão entre partículas de camadas interiores. De acordo com Kelly (1977), uma umidade

excessiva interfere na reação química de polimerização do adesivo e isto ocorre, especialmente, nas camadas mais internas, pois, assim que os pratos aquecidos da prensa tocam o material, há transferência de calor entre as camadas e a umidade das camadas superficiais, mais aquecidas, migra para o interior do painel, menos aquecido, o que dificulta o processo de cura do adesivo.

A temperatura além de ter como função a plasticização do material prensado e a aceleração da polimerização do adesivo distribuído entre as partículas, também permite uma melhor densificação dos painéis, De acordo com trabalho realizado por Iwakiri (1989), quanto maior a temperatura de prensagem, maior será a densificação das camadas mais internas dos painéis, resultando em maior resistência das ligações internas e menor resistência à flexão estática, sendo que o tempo em determinada temperatura depende, principalmente, da eficiência na transferência de calor, da espessura do painel e da distribuição da umidade no colchão.

Segundo Matos (1988) reduções no tempo de prensagem dos painéis são mais desejáveis, pois, implicam em uma maior produção por unidade de tempo, que estabelece uma redução no consumo de energia. O mesmo autor relata que o principal efeito do decréscimo no tempo de prensagem é a redução nas propriedades de resistência.

### 3.4 Bagaço de cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) foi introduzida no Brasil pelos portugueses, no inicio do século XVI, em duas regiões diferentes: no nordeste, no estado de Pernambuco e, no sudeste, no estado de São Paulo. Não houveram muitas mudanças até o inicio da década de 70, quando, no governo do presidente Geisel, foi criado o Programa Brasileiro do Álcool (PROÁLCOOL), promovendo um grande aumento da área destinada ao cultivo da cana no Brasil.

Nos últimos anos o Brasil apresenta uma área cultivada de cana-de-açúcar maior que 6,0 milhões de hectares, com uma produção de mais de 457 milhões de toneladas, enquadrando-se como o maior produtor mundial com quase 25% da produção. Além do incremento da produção, a crescente demanda por álcool no mercado interno e externo influenciou a determinação do preço do produto, levando a um crescimento de R$ 3,8 bilhões (29%) no valor da produção, que atingiu quase R$ 17 bilhões em 2006, consequentemente, o país pode aumentar as exportações e reduzir sua dependência da importação de petróleo (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE, 2006).

A cana-de-açúcar é cultivada por meio de um sistema de rebrotamento. O primeiro corte é feito 18 meses após o plantio e os demais anualmente por um período de 4 a 5 anos, com redução gradual do rendimento.

A importância da cana-de-açúcar é conseqüência da múltipla utilidade que possui. Pode ser empregada como forragem, para alimentação animal ou como matéria-prima, na a fabricação de rapadura, de melado, de aguardente, de açúcar e de álcool. Seus resíduos também têm grande importância econômica, o vinhoto, que é transformado em adubo e o bagaço de cana, que é o resíduo da cana após a moagem.

Com o processo de moagem, a fibra é separada do caldo, sendo o resíduo bagaço de cana constituído de 46% de fibras, 50% de água e 4% de sólidos dissolvidos. A composição química varia de acordo com diversos fatores como: o tipo de cana, o tipo de solo e as técnicas de colheita. A fibra do bagaço é constituída de celulose (26,6 a 54,3%), hemiceluloses (14,3 a 24,4%) e lignina (22,7 a 29,7%).

A melhoria do balanço energético das antigas usinas e a entrada de atividade de um número cada vez maior de destilarias autônomas aumentou a porcentagem de sobras consideravelmente. Sem dúvida o resíduo agroindustrial obtido apresenta maior quantidade no Brasil, aproximadamente 280 Kg/tonelada

de cana moída (Silva et al., 2007), provavelmente em decorrência das características climáticas.

Parte do bagaço produzido é utilizada em caldeiras, para aquecimento de caldeiras e na geração de energia elétrica, porém, com a grande quantidade produzida, além das características físicas e químicas, esse material encontra um vasto campo de utilização: na produção de ração animal, na indústria química com a produção de plástico biodegradável, produzido por meio da ação de bactérias que se alimentam do bagaço e formam o PHB (polihidroxibutirato), levedura para ração animal e consumo humano; ainda, na fabricação de papel, papelão e aglomerados como material alternativo na construção civil. Estudos são realizados, utilizando-se o bagaço de cana como biomassa adsorvente de contaminantes orgânicos com resultados satisfatórios (Silva et al., 2007; Anselmi, 2007).

### 3.4.1 Pesquisas realizadas utilizando bagaço de cana na produção de painéis aglomerados

Yang et al. (2003) relatam que, em função da crescente escassez de madeira e do aumento de consumo de produtos compostos de madeira, é inevitável que se considerem alternativas a serem aplicadas nas indústrias que utilizam madeira, como as de aglomerado, de MDF e de compensado.

Segundo Mendes (2008a), a agroindústria brasileira apresenta vários tipos de resíduos lignocelulósicos, com potencialidades de aproveitamento para fabricação de painéis aglomerados, como: sabugo de milho, casca de arroz, casca de café, casca de amendoim, bambu, caule de bananeira, casca de coco, caule de mandioca, casca de mamona, bagaço de cana, entre outros. O que além de contribuir para a reciclagem dos resíduos, ainda promovem a agregação de valor aos mesmos.

Estudos foram desenvolvidos com o resíduo bagaço de cana, como os realizados por Hamid et al. (1983) e Atchinson & Lengel (1985), que como resultados observaram que o bagaço, cuja medula foi extraída, proporciona um aumento de 40% a 60% nas propriedades mecânicas dos painéis aglomerados.

Okino et al. (1997), ao estudarem o efeito da acetilação das partículas desmeduladas de bagaço de cana nas propriedades físico-mecânicas e, utilizando-se as resinas Uréia-formaldeído e Tanino-paraformaldeído, a 8% e 12%, obteve-se redução da absorção de água de 57% e 47%, após 2 horas e 24 horas de imersão respectivamente. O inchamento em espessura foi reduzido em 87% e 80% para os mesmos períodos de imersão. A resistência mecânica relacionada à acetilação apresentou uma redução nos valores médios da flexão estática. O mais alto nível de adesivo conferiu às chapas características superiores, tanto com relação às propriedades físicas de absorção e inchamento, como às propriedades mecânicas. O tipo de adesivo também apresentou diferenças, evidenciando-se a superioridade das chapas com tanino, em relação àquelas com uréia, nas propriedades avaliadas.

Mendes (2008a), ao estudar a qualidade de painéis de bagaço de cana produzidos com adesivos Uréia-formaldeído e Fenol-formaldeído, em diversos teores e ao avaliar, ainda, a associação com madeira de Pinus e Eucalipto, pôde concluir que os painéis aglomerados produzidos apenas com bagaço de cana apresentaram resultados satisfatórios às propriedades físico-mecânicas, com relação aos painéis de bagaço de cana, em associação com madeira, o eucalipto foi o que mostrou melhor interação. O adesivo Uréia-formaldeído apresentou-se como a melhor opção de utilização na produção desses painéis.

Rowell et al. (1991), ao avaliarem o efeito da acetilação das partículas de bagaço de cana nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados, concluiu que os painéis produzidos com partículas acetiladas entram mais lentamente em equilíbrio com o meio, ou seja, apresentam ganho de umidade

mais lentamente. A ligação interna foi superior, enquanto que o módulo de ruptura e elasticidade foram ligeiramente inferiores, em comparação aos painéis com partículas sem acetilação.

Kehr & Dube (1996) ao utilizarem o bagaço de cana e outros resíduos de plantas de ciclo anual, como matéria-prima para produção de painéis aglomerados, concluíram que resíduos, como: o bagaço de cana, linho, palha, junco, cascas de girassol e cascas de amendoim, como matéria-prima para aglomerados de camada única e com variação de 5% a 12% de substância Uréia-formaldeido e em um ciclo de prensagem à 15 kgf/cm² de pressão e 170ºC temperatura por um período de 6 minutos a 10 minutos, podem ser utilizados e obtiveram resultados satisfatórios para as propriedades físicas.

# 4 MATERIAL E MÉTODOS

## 4.1 Matéria-prima

CANA DE AÇÚCAR

A cana-de-açúcar é uma planta que pertence ao gênero Saccharum L.. Há pelo menos seis espécies do gênero, sendo a cana-de-açúcar cultivada um híbrido multiespecífico, recebendo a designação Saccharum spp. As espécies de cana-de-açúcar são provenientes do Sudeste Asiático. A planta é a principal matéria-prima para a fabricação do açúcar e álcool (etanol).

É uma planta da família Poaceae, representada pelo milho, sorgo, arroz e muitas outras gramas. As principais características dessa família são a forma da inflorescência (espiga), o crescimento do caule em colmos e as folhas com lâminas de sílica em suas bordas e bainha aberta (Wikipédia, 2009).

BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR

O bagaço da cana-de-açúcar é o maior resíduo da agroindústria brasileira. Estima-se que, a cada ano, sobrem de 5 a 12 milhões de toneladas deste material, que correspondem a aproximadamente 30% da cana moída.

As próprias usinas utilizam de 60% a 90% deste bagaço como fonte energética (substitui o óleo combustível, no processo de aquecimento das caldeiras) e, para a geração de energia elétrica. O bagaço como combustível veio substituir a lenha, que era a fonte energética usada há alguns anos na evaporação do caldo.

Existem, potencialmente, usos não energéticos para o bagaço da cana, alguns deles já viabilizados comercialmente. Merecem destaque seu emprego como matéria-prima na indústria de papel e papelão, na fabricação de aglomerados, na indústria química, como material alternativo na construção civil, como ração animal e na produção de biomassa microbiana. Mesmo assim,

há, ainda, um excedente deste resíduo que não é utilizado, causando sérios problemas de estocagem e poluição ambiental. Alguns autores afirmam que esse excedente de bagaço pode chegar a 10% em usinas com destilaria anexa ou a 30% em destilarias autônomas.

As fibras do bagaço da cana contêm, como principais componentes, cerca de 40% de celulose, 35% de hemicelulose e 15% de lignina, sendo este último responsável pelo seu poder calórico. A celulose e a hemicelulose são as duas formas de carboidratos mais abundantes da natureza e representam um potencial de reserva, para a obtenção de produtos de interessse comercial. Ambas representam cerca de 70% do peso seco de todos os resíduos agrícolas, como aqueles provenientes da industrialização do milho, arroz, soja, trigo, cana-de-açúcar, entre outros e do processamento de frutas como: laranja, maçã e abacaxi. (Pesquisa on line, 2009).

## COLETA DO MATERIAL

O bagaço de cana-de-açúcar, material do presente estudo, foi coletado na Usina Monte Alegre – Areado localizada no sul do estado de Minas Gerais, que tem como objetivo principal a produção de açúcar. Foram utilizados painéis comerciais produzidos com bagaço de cana provenientes da China e painéis comerciais produzidos com madeira de eucalipto provenientes de empresas brasileiras (A e B).

No processo de produção de açúcar, a cana que chega à unidade industrial é lavada nas mesas alimentadoras, para retirar-se a terra proveniente da lavoura. Após a lavagem, a cana passa por picadores, que trituram os colmos, preparando-a para a moagem. Nesse processo as células da cana são abertas sem perda do caldo. Após o preparo, a cana desfibrada é levada à moenda para extrair-se o caldo. Na moenda, a cana desfibrada é disposta entre rolos submetidos à pressão de aproximadamente 250 kg/cm², retirando-se o caldo do

interior das células. Este processo é repetido seis vezes continuamente. Adiciona-se água à proporção de 30%, para embeber o interior das células da cana, diluindo-se o açúcar ali existente, com a finalidade de aumentar a eficiência da extração e obter o bagaço de cana com reduzida quantidade de açúcar remanescente.

### 4.2 Manufatura dos painéis

O bagaço de cana, levado para Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira (UEPAM) da Universidade Federal de Lavras, foi triturado em um moinho do tipo martelo, para a geração das partículas do tipo *"sliver"* (lasca), com granulometria de 1,72mm e 6,14 mm, respectivamente na face e no miolo, de acordo com o planejamento experimental apresentado na Tabela 1.

Os tratamentos constituíram-se de painéis homogêneos e painéis com camadas, com faces formadas por partículas de granulometria menor, na proporção de 20 /60 / 20 (face/miolo/face); dois tipos de adesivo (UF – Uréia-formaldeído e MUF – Melamina –uréia-formaldeído) e dois tipos de adesivo, diferentes teores nas faces e no miolo. Para cada tratamento foram produzidos quatro painéis com densidade nominal de 0,70g/cm$^3$.

TABELA 1 Planejamento experimental

| Tratamentos | Tipo de adesivo | Teor de adesivo (%) | Constituição do painel |
|---|---|---|---|
| 1 | UF | 9 | Homogêneo |
| 2 | MUF | 9 | Homogêneo |
| 3 | UF | 9 / 9 / 9 | 20/60/20 |
| 4 | MUF | 9 / 9 / 9 | 20/60/20 |
| 5 | MUF/UF/MUF | 9 / 9 / 9 | 20/60/20 |
| 6 | UF/MUF/UF | 9 / 9 / 9 | 20/60/20 |
| 7 | UF | 12 / 9 / 12 | 20/60/20 |
| 8 | MUF | 12 / 9 / 12 | 20/60/20 |
| 9 | UF | 9 / 12 / 9 | 20/60/20 |
| 10 | MUF | 9 / 12 / 9 | 20/60/20 |
| 11 | Painéis industriais de bagaço de cana produzidos na China | | |
| 12 | Painéis industriais de madeira de Eucalipto produzidos no Brasil (Empresa A) | | |
| 13 | Painéis industriais de madeira de Eucalipto produzidos no Brasil (Empresa B) | | |

As partículas de bagaço de cana foram secas à umidade de 3%, com o auxílio de uma estufa de circulação forçada de ar. Posteriormente, foram levadas para um tambor giratório, onde foi aplicado o adesivo em seus diferentes teores e tipos em cada camada, de acordo com os tratamentos pré-estabelecidos e, ainda, 1% de parafina (base peso seco das partículas), para todos os tratamentos, exceto para os painéis industriais.

As partículas, uma vez impregnadas, foram levadas a uma caixa formadora de colchão, com dimensões de 48cm x 48cm x 1,5cm, para a realização da pré-prensagem, realizada em uma prensa manual (Figura 1A), seguindo para uma prensa a quente (Figura 1B). O ciclo de prensagem de 8 minutos à temperatura de 160ºC, para o adesivo Uréia-formaldeído (UF) e 180ºC, para Melamina Uréia-formamleido (MUF) foi conduzido à pressão de 40 Kgf/cm².

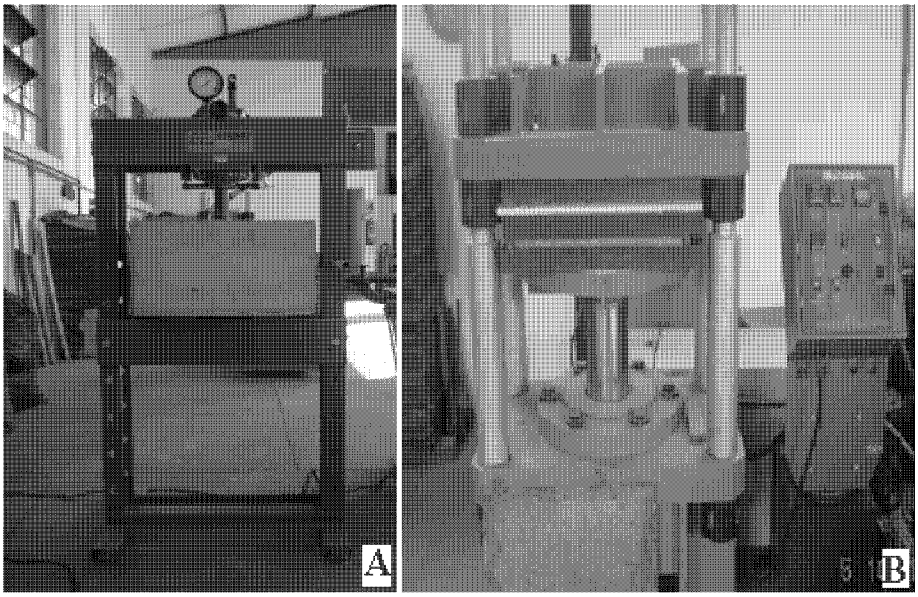


FIGURA 1 A) Pré-prensagem; B) Prensagem a quente.

**4.3 Determinação da densidade básica do bagaço de cana-de-açúcar**

As partículas de bagaço de cana foram processadas em moinho martelo, saturadas em água, sendo, posteriormente, determinado seu volume pela utilização do método de deslocamento de água (método da imersão). As partículas foram então levadas a uma estufa à 105ºC de temperatura, onde permaneceram até massa constante, para determinar-se a massa seca das partículas.

**4.4 Determinação das propriedades físico-mecânicas**

Após a climatização em câmara com temperatura de 22ºC ± 2ºC e umidade relativa com valores de 65% ± 5 %, realizou-se o processo de obtenção dos corpos-de-prova, com o uso de serra circular esquadrejadeira. Inicialmente, foram retirados cerca de 2 cm de cada extremidade dos painéis.

A distribuição dos corpos-de-prova em cada painel para a avaliação das propriedades está apresentada na Figura 2. Para a determinação de dimensões, para as propriedades físicas (absorção de água e inchamento em espessura) foi empregada a norma American Society Testing and Materials - ASTM (2002): D1037; para as propriedades mecânicas (módulos de ruptura e módulos de elasticidade, na flexão estática) foi empregada a norma Normen Für Holzfaserplaten Spanplatten Sperrholz (1982) - DIN 52362; para tração perpendicular (ligação interna) foi empregada a norma ASTM 2002: 1037.

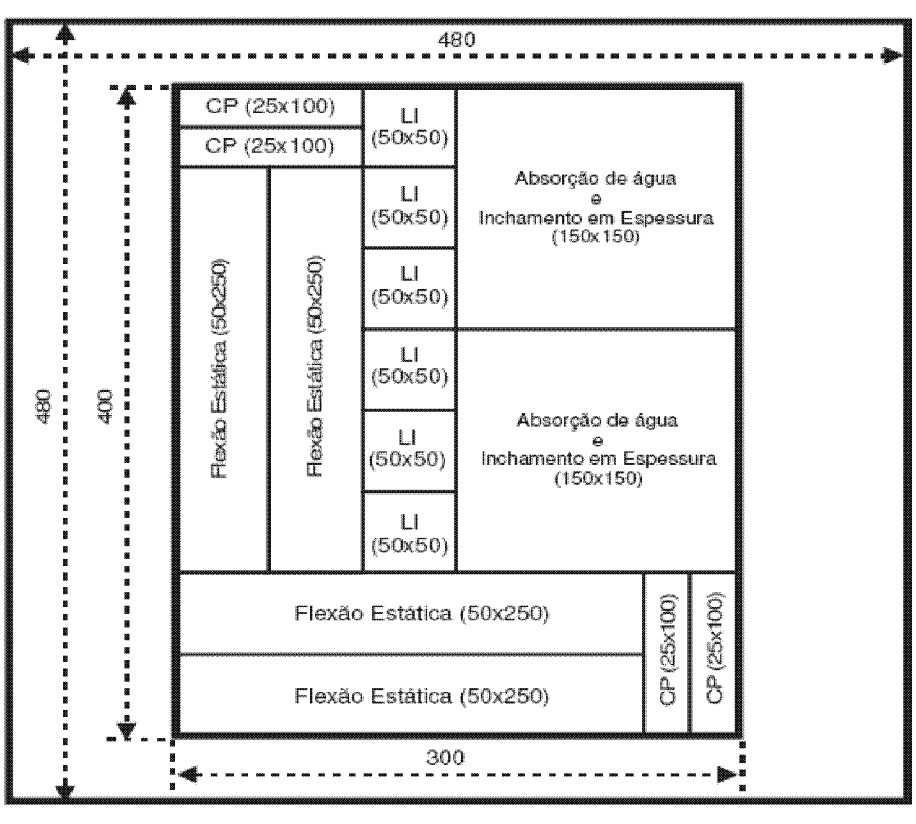


FIGURA 2 Esquema de distribuição dos corpos-de-prova nos painéis (unidades em mm).

Os corpos-de-prova foram, então, novamente climatizados, até atingirem a umidade de equilíbrio. Testes físicos e mecânicos foram realizados. Os testes mecânicos foram conduzidos na máquina de ensaio universal - EMIC DL-30000, apresentada na Figura 3.

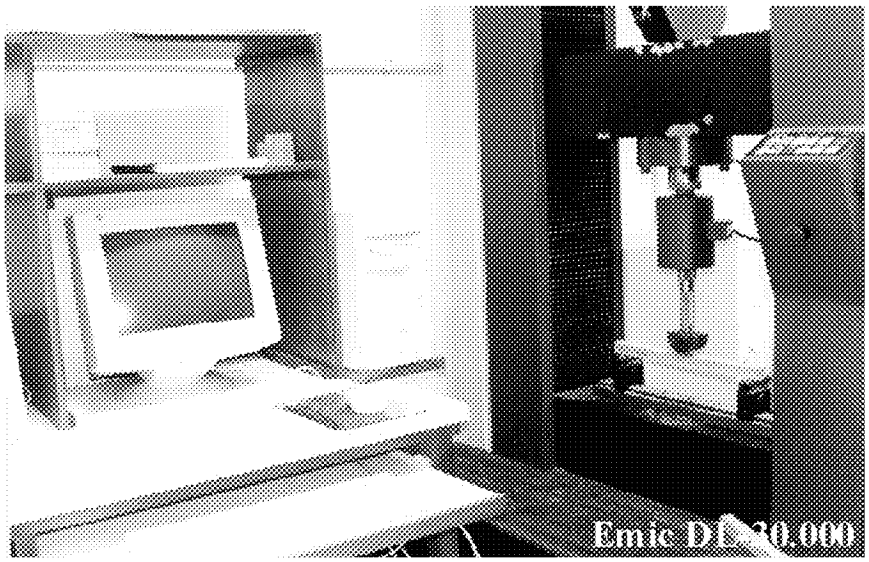


FIGURA 3 Máquina de ensaio – EMIC DL – 30.000

**4.5 Análise estatística**

Um planejamento inteiramente casualizado foi considerado com 4 repetições. Neste experimento, foram analisadas as propriedades de absorção de água e inchamento em espessura, após duas horas e vinte e quatro horas de imersão em água, ligação interna, módulo de elasticidade, módulo de ruptura e compressão paralela a superfície do painel.

# 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 5.1 Densidade e razão de compactação

O valor médio obtido para a densidade básica do bagaço de cana foi de 0,092 g/cm³. Os valores médios da densidade aparente, da razão de compactação dos painéis e os testes de comparação estão apresentados na Tabela 2.

TABELA 2 Valores médios da densidade aparente e razão de compactação dos painéis.

| Tratamentos | Densidade do painel (g/cm³) | Razão de compactação |
|---|---|---|
| 1- UF9HO | 0,655 (4,72) B | 7,12 |
| 2- MUF9HO | 0,650 (6,18) B | 7,07 |
| 3 – UF9HE | 0,657 (1,96) B | 7,14 |
| 4 – MUF9HE | 0,667 (3,79) B | 7,25 |
| 5 – MUF/UF/MUF9HE | 0,644 (5,02) B | 7,00 |
| 6 – UF/MUF/UF9HE | 0,636 (2,25) B | 6,91 |
| 7 – UF12/9/12HE | 0,642 (2,14) B | 6,98 |
| 8 – MUF12/9/12HE | 0,648 (3,20) B | 7,04 |
| 9 – UF9/12/9HE | 0,661 (2,59) B | 7,18 |
| 10 – MUF9/12/9HE | 0,661 (3,18) B | 7,18 |
| 11 – COM. BAGAÇO CHINA | 0,711 (1,20) A | * |
| 12 – COM. EUCALIPTO A | 0,657 (0,70) B | * |
| 13 – COM. EUCALIPTO B | 0,628 (2,10) B | * |

*os tratamentos 11, 12 e 13 foram produzidos em escala industrial e não foram referenciados os dados de razão de compactação.
Dentro dos parênteses encontram-se os coeficientes de variação de cada tratamento.
Valores médios seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.
HO: homogêneo HE: heterogêneo

Os baixos valores de densidade observados para os painéis laboratoriais, tendo como base a densidade nominal de 0,70g/cm³, podem ser atribuídos à características das condições de produção, em relação ao processo industrial, como perdas de material durante o manuseio das partículas nas etapas de aplicação de adesivo, formação do colchão e prensagem dos painéis.

Os valores médios da densidade aparente dos painéis laboratoriais e industriais variaram na faixa de 0,628 a 0,711g/cm³. Todos os tratamentos foram classificados como painéis de média densidade, que se referem a painéis de densidade de 0,59 a 0,80 g/cm³ (Iwakiri, 2005).

Os valores médios de razão de compactação foram maiores do que os estipulados como ideais por Kelly, 1977; Moslemi, 1974; Maloney, 1993 e Tsoumis, 1991, na faixa de 1,3 a 1,6. Tais resultados se devem à baixa densidade do material bagaço de cana-de-açúcar (0,092 g/cm³), o que gera um volume maior, para que se possa obter uma densidade pré-determinada dos painéis e consequentemente, uma maior razão de compactação, pois, esta é determinada por meio da relação entre densidade do painel pela densidade do material lignocelulósico.

## 5.2 Propriedades Físicas

### 5.2.1 Absorção de água

Os valores médios de absorção de água (AA) após, duas e 24 horas de imersão para cada tratamento e o teste de comparação múltipla realizado estão apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 Valores médios de absorção de água em % após 2 e 24 horas de imersão.

| Tratamentos | AA 2h | AA 24h |
|---|---|---|
| 1- UF9HO | 9,75 (19,84) ABC | 40,32 (16,82) A |
| 2- MUF9HO | 6,85 (28,63) AB | 24,83 (27,70) A |
| 3 – UF9HE | 5,99 (35,19) A | 34,59 (21,37) A |
| 4 – MUF9HE | 5,62 (35,70) A | 24,23 (29,05) A |
| 5 – MUF/UF/MUF9HE | 15,19 (12,68) C | 65,11 (10,38) B |
| 6 – UF/MUF/UF9HE | 8,59 (22,39) AB | 35,05 (19,25) A |
| 7 – UF12/9/12HE | 10,47 (18,42) ABC | 22,75 (29,75) A |
| 8 – MUF12/9/12HE | 7,22 (27,77) AB | 34,71 (20,25) A |
| 9 – UF9/12/9HE | 5,50 (35,99) A | 28,76 (24,14) A |
| 10 – MUF9/12/9HE | 5,96 (33,15) A | 28,87 (24,01) A |
| 11 – COM. BAGAÇO CHINA | 10,69 (20,45) ABC | 40,57 (18,90) A |
| 12 – COM. EUCALIPTO A | 9,56 (21,53) AB | 29,65 (24,36) A |
| 13 – COM. EUCALIPTO B | 12,34 (19,72) BC | 35,52 (24,04) A |

1- médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey com um nível nominal de significância de 5%. Entre parênteses encontram-se os coeficientes de variação de cada tratamento.
AA = Absorção de água.

De acordo com a análise estatística, não foi observada diferença entre os tipos de adesivo utilizados (MUF e UF), bem como na comparação de painéis homogêneos ou produzidos em camadas, tanto para duas como para 24 horas de imersão.

Nos painéis com adesivos diferentes na sua constituição face/miolo/face (Tratamentos 5 e 6), observa-se que o adesivo MUF apresentou melhor resultado, quando aplicado no miolo.

Genericamente, tanto os painéis de bagaço de cana produzidos em escala industrial na China, como os produzidos em laboratório, mostraram-se estatisticamente iguais aos produzidos em escala industrial com madeira de eucalipto no Brasil pelas empresas A e B (tratamentos 12 e 13).

Ao observarem-se os valores médios de densidade dos painéis e seus respectivos valores de razão de compactação, não se constatou uma relação clara com a propriedade Absorção de água.

Mendes et al. (2009a), ao estudarem o efeito do tipo e teores de adesivo, na produção de painéis aglomerados homogêneos de bagaço de cana de alambique, obtiveram valores médios de 20,07% a 47,23% e de 34,0% a 62,71%, para 2h e 24h de imersão respectivamente. Observa-se que os painéis de bagaço de cana apresentaram valores médios de absorção de água a 2 e 24 horas satisfatórios, em comparação com os resultados relatados normalmente na literatura.

### 5.2.2 Inchamento em espessura

Os valores médios de inchamento em espessura (IE) após 2h e 24h de imersão em água para cada tratamento e o teste de comparação múltipla realizado estão apresentados na Tabela 4. A tendência da diferenciação dos tratamentos para IE em 2h e 24h foram iguais em todos os critérios observados.

TABELA 4 Valores médios de Inchamento em espessura após 2h e 24h de imersão.

| Tratamentos | IE 2h | | IE 24h | |
|---|---|---|---|---|
| 1- UF9HO | 6,03 (12,63) | D | 22,19 (8,95) | CD |
| 2- MUF9HO | 3,00 (27,70) | AB | 11,39 (17,68) | A |
| 3 – UF9HE | 4,35 (21,37) | BCD | 17,45 (12,41) | BC |
| 4 – MUF9HE | 2,93 (29,05) | AB | 10,90 (18,93) | A |
| 5 – MUF/UF/MUF9HE | 8,58 (10,38) | E | 24,35 (8,13) | D |
| 6 – UF/MUF/UF9HE | 4,20 (19,25) | ABCD | 15,58 (12,68) | AB |
| 7 – UF12/9/12HE | 3,00 (29,75) | AB | 13,91 (14,25) | AB |
| 8 – MUF12/9/12HE | 2,14 (20,25) | A | 10,39 (19,82) | A |
| 9 – UF9/12/9HE | 3,84 (24,14) | ABC | 13,14 (15,47) | AB |
| 10 – MUF9/12/9HE | 2,79 (24,01) | AB | 10,37 (19,57) | A |
| 11 – COM. BAGAÇO CHINA | 3,08 (18,90) | AB | 12,47 (18,01) | AB |
| 12 – COM. EUCALIPTO A | 5,77 (24,36) | CD | 17,39 (12,16) | BC |
| 13 – COM. EUCALIPTO B | 4,06 (24,04) | ABCD | 13,88 (18,01) | AB |

1- médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey com um nível nominal de significância de 5%. Dentro dos parênteses encontram-se os coeficientes de variação de cada tratamento.
IE = Inchamento em espessura.

O adesivo MUF apresentou melhore resultado, em comparação com o adesivo UF quando analisados os painéis produzidos com colchão homogêneo, e, também, aqueles produzidos com camadas (20/60/20) com 9% de adesivo nas faces e no miolo.

A influência da constituição das camadas dos painéis relativa à propriedade Inchamento em espessura, não apresentou diferença estatística ao compararem-se os painéis homogêneos com 9% de adesivo (Tratamentos 1 e 2) com os painéis produzidos com o mesmo tipo de adesivo e com as camadas, também, com 9% de adesivo tanto nas faces como no miolo (Tratamentos 3 e 4, respectivamente).

Com a análise dos painéis com adesivos diferentes, tomando-se a constituição face/miolo/face (Tratamentos 5 e 6), pode-se observar que o

adesivo MUF apresentou melhor resultado, quando aplicado no miolo. Este fato pode estar relacionado à maior proporção de partículas (60%) no miolo, relativo às camadas que formam o painel. Com o adesivo MUF, obteve-se melhor resultado para a propriedade Inchamento em espessura, comparada aos resultados obtidos com os painéis produzidos apenas com o adesivo UF.

Este tratamento com MUF aplicado no miolo do painel e com as faces com o adesivo UF (Tratamento 6), foi igual estatisticamente aos tratamentos com os painéis homogêneos e, também, aos produzidos com camadas com 9% de adesivo MUF (Tratamentos 2 e 4), o que se mostra como uma opção mais apropriada de tratamento, pois, o adesivo MUF apresenta maior custo do que o UF.

De acordo com análise estatística, observa-se que o tratamento 6 foi estatisticamente igual aos tratamentos 7, 8, 9 e 10, que foram confeccionados com o aumento no teor de adesivo na face ou no miolo do painel de 9% para 12% de um mesmo tipo de adesivo. Observa-se não ser necessário aplicar maior quantidade de adesivo MUF na produção dos painéis.

Os painéis produzidos com bagaço de cana provenientes da China produzidos em escala industrial e os melhores tratamentos dos painéis produzidos com bagaço de cana, em laboratório, foram estatisticamente iguais aos produzidos comercialmente com a madeira de eucalipto no Brasil pelas empresas A e B.

Comparando-se os resultados encontrados na análise para a propriedade absorção de água, não foi observada uma relação clara entre as densidades dos painéis e seus respectivos valores de razão de compactação com a propriedade inchamento em espessura.

Okino et al. (1997), ao estudarem o efeito da acetilação das partículas desmeduladas de bagaço de cana nas propriedades físico-mecânicas, com a utilização de resinas uréia-formaldeído e tanino-paraformaldeído a 8% e 12%,

obtiveram valores médios para inchamento em espessura de 2,50% a 44,40% e de 4,70% a 55,30%, para 2h e 24h respectivamente. Mendes et al. (2009), ao estudarem o efeito do tipo e teores de adesivo na produção de painéis aglomerados homogêneos de bagaço de cana de alambique, obtiveram valores médios, variando de 4,11% a 13,50% e de 5,77% a 18,41%, para 2h e 24h de imersão, respectivamente. Observaram que os painéis de bagaço de cana apresentaram valores médios de inchamento, em espessura a 2h e 24h de acordo com os valores encontrados na literatura.

A norma CS 236-66 estipula valores máximos de inchamento, em espessura à 2h e 24h de imersão de 35% e a partir dos resultados, constataram que todos os tratamentos atenderam à norma.

### 5.2.3 Taxa de não retorno em espessura

Os valores médios de Taxa de não retorno em espessura (TNRE), para cada tratamento e o teste de comparação múltipla realizado estão apresentados na Tabela 5.

TABELA 5 Valores médios de Taxa de não retorno em espessura.

| Tratamentos | TNRE(%) | |
|---|---|---|
| 1- UF9HO | 24,27 (8,58) | F |
| 2- MUF9HO | 9,81 (21,53) | ABC |
| 3 – UF9HE | 15,51 (14,63) | CD |
| 4 – MUF9HE | 9,91 (21,80) | ABC |
| 5 – MUF/UF/MUF9HE | 21,92 (9,46) | EF |
| 6 – UF/MUF/UF9HE | 12,96 (15,99) | ABCD |
| 7 – UF12/9/12HE | 11,75 (17,68) | ABCD |
| 8 – MUF12/9/12HE | 8,55 (25,25) | AB |
| 9 – UF9/12/9HE | 11,30 (18,86) | ABC |
| 10 – MUF9/12/9HE | 7,21 (29,50) | A |
| 11 – COM. BAGAÇO CHINA | 7,97 (29,54) | AB |
| 12 – COM. EUCALIPTO A | 17,38 (12,76) | DE |
| 13 – COM. EUCALIPTO B | 13,63 (19,23) | BCD |

1- médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%. Dentro dos parênteses encontram-se os coeficientes de variação de cada tratamento.
TNRE = Taxa de não retorno em espessura.

A TNRE, no tratamento produzido com camadas foi estatisticamente superior à TNRE do painel homogêneo com o mesmo tipo de adesivo.

A maioria dos tratamentos com painéis de bagaço de cana produzidos em laboratório foi, estatisticamente, igual aos painéis de bagaço de cana provenientes da China produzidos em escala industrial e, ainda, superiores aos produzidos com madeira de eucalipto no Brasil, apresentando, assim, menor TNRE.

Devido à maior participação da variação em espessura resultante da liberação das tensões de compressão sobre o inchamento total dos painéis, os de maior inchamento em espessura apresentaram também, maior taxa de não retorno em espessura. Este estudo evidencia uma relação direta entre essas propriedades de inchamento e a TNRE.

Mendes et al. (2009b), ao estudarem diferentes clones de *Eucalyptus urophylla* na produção de painéis aglomerados, encontraram valores, variando

de 25,65% a 36,33%, ou seja, bem inferiores aos observados em painéis produzidos com bagaço de cana-de-açúcar. De modo geral, os painéis de bagaço de cana-de-açúcar apresentam valores de TNRE inferiores aos normalmente relatados na literatura.

## 5.3 Propriedades Mecânicas

### 5.3.1 Módulo de elasticidade e módulo de ruptura na flexão estática

Os valores médios de Módulo de elasticidade (MOE) e Módulo de ruptura (MOR), para cada tratamento estão apresentados na Tabela 6. Os valores variaram de 15554,40 kgf/cm² e 36617,30 kgf/cm², para MOE e de 101,04 kgf/cm² a 171,58 kgf/cm² para MOR.

TABELA 6 Valores médios de Módulo de elasticidade e Módulo de ruptura.

| Tratamentos | MOE (kgf/cm²) | | MOR (kgf/cm²) | |
|---|---|---|---|---|
| 1- UF9HO | 19984,40 (6,12) | DE | 139,28 (7,24) | BCD |
| 2- MUF9HO | 22517,20 (5,51) | CD | 160,72 (6,37) | AB |
| 3 – UF9HE | 18571,50 (6,60) | EF | 115,65 (8,74) | CDE |
| 4 – MUF9HE | 19898,60 (6,10) | DE | 112,25 (8,91) | DE |
| 5 – MUF/UF/MUF9HE | 15554,40 (8,05) | F | 101,04 (10,22) | E |
| 6 – UF/MUF/UF9HE | 18207,30 (7,78) | EF | 115,41 (10,12) | DE |
| 7 – UF12/9/12HE | 19553,20 (6,21) | DE | 124,09 (8,07) | CDE |
| 8 – MUF12/9/12HE | 23775,30 (5,10) | C | 158,08 (6,33) | AB |
| 9 – UF9/12/9HE | 19448,40 (6,50) | DE | 120,34 (8,66) | CDE |
| 10 – MUF9/12/9HE | 22063,10 (5,52) | CD | 135,71 (7,39) | BCD |
| 11 – COM. BAGAÇO CHINA | 28945,90 (6,03) | B | 171,58 (8,38) | A |
| 12 – COM. EUCALIPTO A | 36617,30 (3,46) | A | 160,53 (6,51) | AB |
| 13 – COM. EUCALIPTO B | 29888,60 (4,06) | B | 144,23 (6,93) | ABC |

1- médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%. Dentro dos parênteses encontram-se os coeficientes de variação de cada tratamento;
MOE = Módulo de elasticidade;
MOR = Módulo de ruptura.

Tanto para MOE como para MOR, observa-se que não houve diferença estatística entre os adesivos MUF e UF, quando analisados os painéis homogêneos (Tratamentos 1 e 2) ou com relação aos painéis produzidos com camadas com 9% de adesivo (Tratamentos 3 e 4) ou com relação aos painéis com adesivos diferentes na sua constituição face/miolo/face (Tratamentos 5 e 6).

Na análise da constituição dos painéis, para o MOE não foram observadas diferenças estatísticas com relação aos painéis homogêneos com 9% de adesivo (Tratamentos 1 e 2), com relação aos painéis produzidos com o mesmo tipo de adesivo e com as camadas a 9% tanto nas faces como no miolo (Tratamentos 3 e 4 respectivamente). Enquanto que para MOR houve diferença estatística, quando analisado o adesivo MUF (Tratamentos 2 e 4), os painéis produzidos de forma homogênea apresentaram-se superiores.

Com o aumento do teor de adesivo na face ou no miolo na produção dos painéis, tanto para MOE como para MOR, o adesivo MUF se mostrou estatisticamente superior ao UF aplicado ao teor de 12% de adesivo na face do painel, quando aplicado no miolo, não houve diferença estatística. Para MOE tanto os tratamentos produzidos com MUF como os produzidos com UF apresentaram-se estatisticamente iguais aos painéis homogêneos de MUF.

Para MOE, os painéis produzidos com madeira de eucalipto da empresa A apresentaram-se estatisticamente superiores aos demais enquanto que os painéis de bagaço de cana produzidos em escala industrial provenientes da China, foram estatisticamente iguais aos produzidos com eucalipto da empresa B, que foram superiores aos produzidos com bagaço de cana em laboratório.

Ao considerarem-se os painéis de madeira de eucalipto das empresas A e B os valores de MOR foram estatisticamente iguais aos painéis de bagaço de cana oriundos da China e, também, iguais aos painéis produzidos em laboratório, de forma homogênea com 9% de adesivo MUF e os painéis com camadas com 12% de adesivo MUF na face e 9% no miolo.

Não foi observada uma relação entre as densidades dos painéis e seus respectivos valores de razão de compactação com as propriedades MOE e MOR.

Okino et al. (1997), ao estudarem o efeito da acetilação das partículas desmeduladas de bagaço de cana, relacionadas às propriedades físico-mecânicas, e, utilizando os adesivos Uréia-formaldeído e Tanino-paraformaldeído a 8% e 12%, obtiveram valores médios, variando de: 14000 kgf/cm² a 28000 kgf/cm² e de 97 kgf/cm² a 232 kgf/cm² para MOE e MOR respectivamente. A norma CS 236-66 estipula valores mínimos para MOE de 24500 Kgf/cm² e para MOR de 112 kgf/cm². Todos os tratamentos apresentaram valores satisfatórios para MOE e MOR, em comparação com os encontrados em literatura e, de acordo com a norma para MOE, apenas os painéis produzidos com a madeira de eucalipto pelas empresas A e B e os produzidos industrialmente na China com bagaço de cana apresentaram valores médios acima do mínimo estipulado. Nenhum dos tratamentos produzidos com bagaço de cana em laboratório atenderam à norma CS 236-66 para MOR, com exceção do tratamento 5. Todos os outros apresentaram valores médios superiores ao mínimo estipulado pela norma.

### 5.3.2 Ligação interna – Tração Perpendicular

Os valores médios de Ligação interna (LI) ou Tração perpendicular para cada tratamento e o teste de comparação múltipla realizado estão apresentados na Tabela 7.

TABELA 7 Valores médios de ligação interna.

| Tratamentos | LI (kgf/cm²) | |
|---|---|---|
| 1- UF9HO | 3,95 (20,67) | CD |
| 2- MUF9HO | 5,06 (15,69) | AB |
| 3 – UF9HE | 2,99 (23,28) | DEF |
| 4 – MUF9HE | 3,97 (18,96) | CD |
| 5 – MUF/UF/MUF9HE | 2,21 (15,86) | F |
| 6 – UF/MUF/UF9HE | 2,20 (10,99) | F |
| 7 – UF12/9/12HE | 3,20 (7,53) | DE |
| 8 – MUF12/9/12HE | 4,84 (12,21) | BC |
| 9 – UF9/12/9HE | 2,66 (35,43) | EF |
| 10 – MUF9/12/9HE | 3,88 (14,21) | CD |
| 11 – COM. BAGAÇO CHINA | 4,35 (8,46) | BC |
| 12 – COM. EUCALIPTO A | 5,96 (21,27) | A |
| 13 – COM. EUCALIPTO B | 4,48 (10,84) | BC |

1- médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey com um nível nominal de significância de 5%. Dentro dos parênteses encontram-se os coeficientes de variação de cada tratamento.
LI = Ligação interna.

Houve diferença estatística para os tipos de adesivo, quando analisado os painéis produzidos de forma homogênea, sendo o adesivo MUF superior ao UF. Nos painéis produzidos com camadas e 9% de adesivo, diferenças não foram observadas. Não houve diferença, quando analisados os painéis com adesivos diferentes na sua constituição face/miolo/face (Tratamentos 5 e 6).

Com o aumento do teor do adesivo MUF, tanto na face quanto no miolo, os painéis produzidos com este adesivo apresentaram-se estatisticamente superiores aos tratamentos respectivos produzidos com UF (Tratamentos 7 e 8, e Tratamentos 9 e 10). Os painéis produzidos com 12% de adesivo UF na face e 9% no miolo mostraram-se estatisticamente iguais aos painéis produzidos com o adesivo MUF com 9% nas faces e 12% no miolo (Tratamentos 7 e 10), o que demonstra que o efeito de uma maior quantidade de adesivo é mais acentuado para a propriedade ligação interna, quando aplicado na face. De acordo com

Maloney (1993) e Moslenni (1974), isto pode ser explicado pelo fato de que partículas de tamanhos menores requerem maior quantidade de adesivo para seu perfeito encolamento, uma vez que estas partículas apresentam maior área específica exposta.

Apenas os painéis produzidos com o adesivo MUF com 12% nas faces e 9% no miolo foram estatisticamente iguais aos painéis homogêneos produzidos, também, com o adesivo MUF com 9% tanto nas faces quanto no miolo, o que evidencia não ser necessária a aplicação de maior quantidade de adesivo na manufatura dos painéis, desde que estes sejam produzidos em uma única camada (homogêneos), proporcionando assim, uma economia na quantidade de adesivo e, consequentemente, no processo produtivo, sendo a opção mais viável economicamente.

Em comparação com os painéis produzidos em escala industrial, os de madeira de eucalipto da empresa A foram estatisticamente superiores aos de bagaço de cana oriundos da China e também aos produzidos com eucalipto pela empresa B, mas estatisticamente iguais aos painéis homogêneos com 9% de adesivo MUF produzidos em laboratório.

Não foi observada uma relação entre as densidades dos painéis e seus respectivos valores de razão de compactação com a propriedade ligação interna.

Okino et al. (1997), ao estudarem o efeito da acetilação das partículas desmeduladas de bagaço de cana nas propriedades físico-mecânicas, com a utilização dos adesivos uréia-formaldeído e tanino-paraformaldeído a 8% e 12%, obtiveram valores médios para ligação interna de 2,7 kgf/cm² a 6,3 kgf/cm². A norma CS 236-66 estipula valores mínimos para ligação interna de 4,2 Kgf/cm². Todos os tratamentos se mostraram satisfatórios em comparação com os resultados de experimentos encontrados em literatura, de acordo com a norma apenas os painéis produzidos com a madeira de eucalipto das empresas A e B, os de bagaço de cana provenientes da China, os produzidos em laboratório com o

adesivo MUF de forma homogênea (Tratamento 2) e os em camadas com 12% de adesivo na face e 9% no miolo (Tratamento 8) apresentaram valores médios superiores ao mínimo estipulado.

### 5.3.3 Compressão paralela à superfície do painel

Os valores médios de Compressão paralela (COMP), para cada tratamento e o teste de comparação múltipla realizado estão apresentados na Tabela 8.

TABELA 8 Valores médios de compressão paralela.

| Tratamentos | COMP (kgf/cm²) | |
|---|---|---|
| 1- UF9HO | 59,83 (9,07) | DE |
| 2- MUF9HO | 81,46 (6,74) | ABC |
| 3 – UF9HE | 58,61 (9,55) | E |
| 4 – MUF9HE | 70,14 (7,68) | CDE |
| 5 – MUF/UF/MUF9HE | 59,12 (9,33) | DE |
| 6 – UF/MUF/UF9HE | 60,73 (8,99) | DE |
| 7 – UF12/9/12HE | 62,08 (8,80) | DE |
| 8 – MUF12/9/12HE | 74,34 (7,37) | BCD |
| 9 – UF9/12/9HE | 57,92 (9,49) | E |
| 10 – MUF9/12/9HE | 69,31 (7,76) | CDE |
| 11 – COM. BAGAÇO CHINA | 72,53 (9,06) | BCDE |
| 12 – COM. EUCALIPTO A | 86,26 (6,40) | AB |
| 13 – COM. EUCALIPTO B | 94,81 (5,71) | A |

1- médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si pelo teste Tukey, com um nível nominal de significância de 5%. Dentro dos parênteses encontram-se os coeficientes de variação de cada tratamento.
COMP = Compressão paralela.

Assim como na propriedade ligação interna, também houve diferença estatística para os tipos de adesivo. Analisados os painéis produzidos de forma homogênea, observou-se que o adesivo MUF foi superior ao adesivo UF, o mesmo efeito não foi observado para os painéis produzidos em camadas com 9%

de adesivo. Não houve diferença ao analisarem-se painéis com adesivos diferentes na sua constituição face/miolo/face (Tratamentos 5 e 6).

Para a propriedade compressão paralela não houve diferença estatística para os painéis produzidos com 12% de adesivo nas faces ou no miolo, avaliando-se os dois tipos de adesivo, que não apresentaram diferença estatística. Apenas os painéis com 12% de adesivo na face ou no miolo com MUF (Tratamentos 8 e 10) foram estatisticamente iguais aos painéis homogêneos, produzidos com MUF (Tratamento 2), que foi estatisticamente superior aos painéis produzidos com UF com 12% na face ou no miolo (Tratamentos 7 e 9). Na propriedade ligação interna, esse fato evidencia não ser necessária a aplicação de maior quantidade de adesivo na manufatura dos painéis, desde que estes sejam produzidos de forma homogênea, sendo a opção mais viável economicamente.

Em comparação com os painéis produzidos em escala industrial, os de madeira de eucalipto da empresa B foram estatisticamente superiores aos painéis de bagaço de cana oriundos da China, mas estatisticamente iguais aos painéis de eucalipto da empresa A e aos painéis homogêneos com 9% de adesivo MUF produzidos em laboratório.

Não foi observada uma relação entre as densidades dos painéis e seus respectivos valores de razão de compactação com a propriedade compressão paralela.

Mendes et al. (2009a), ao observarem o efeito dos tipos e teores de adesivo na produção de painéis aglomerados homogêneos de bagaço de cana de alambique, obtiveram valores médios, variando de 22,97kgf/cm² a 33,71kgf/cm².

# 5 CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que:

- De maneira geral os painéis homogêneos e com o adesivo MUF foram os que apresentaram melhores resultados para os painéis produzidos em escala laboratorial;

- Os painéis homogêneos se mostraram estatisticamente iguais ou até mesmo superiores aos painéis produzidos com camadas em todas as propriedades analisadas, com exceção à taxa de não retorno em espessura;

- Para as propriedades Módulo de elasticidade, Módulo de ruptura e Absorção de água não foi observada diferença estatística entre os adesivos MUF e UF; nas demais, o adesivo MUF se mostrou estatisticamente superior, Os tratamentos atenderam a todos os valores exigidos por norma, com exceção do MOE;

- Apenas para as propriedades físicas foram observadas diferenças estatística entre a combinação dos adesivos nas camadas dos painéis, sendo que adesivo MUF apresentou o melhor resultado quando aplicado no miolo do painel;

- Os melhores tratamentos obtidos para os painéis de bagaço de cana produzidos em laboratório, assim como, painéis produzidos em escala industrial provenientes da China, mostraram-se estatisticamente iguais aos produzidos industrialmente com madeira de eucalipto no Brasil com relação às propriedades analisadas;

- Os painéis de bagaço de cana produzidos, oriundos da China e aqueles, com madeira de eucalipto produzidos no Brasil atenderam a todos os valores estipulados pela norma CS 236-66.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS


ALBUQUERQUE, C. E. C. de. **Interações de variáveis no ciclo de prensagem de aglomerados**. 2002. 150 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Paraná, Curitiba.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-1037**: standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials. Philladelphia: Annual book of ASTM Standard, 2002.

ANSELMI, R. Diversificação industrial inclui bioeletricidade, levedura, plástico biodegradável e gás carbônico. **Jornal Cana, Tecnologia Industrial**, Rio de Janeiro, v. 188, p. 58-60, dez. 2007.

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

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

CURY, S. G. **MDP**: guia do marceneiro. Disponível em: <http://www.guiadomarceneiro.com/.com.br>. Acesso em: 07 set. 2009.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION. **Online forestry database**. Disponível em: <http://www.fao.org>. Acesso em: 04 nov. 2008.

HAMID, S. H.; MAADHAH, A. G.; USANI, A. M. Bagasse-based building materials. **Polymer-Plastics Technology and Engineering**, New York, v. 21, n. 2, p. 173-208, 1983.

HASELEIN, C. R. **Análise de parâmetros para fabricação de chapas de partículas aglomeradas de madeira de eucalipto (Eucalyptus grandis w. Hill ex-maiden) e embaúba (Cecropia sp.)**. 1989. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Anuário estatístico do Brasil**. Rio de janeiro, 2006.

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

IWAKIRI, S. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 274 p.

KEHR, E.; DUBE, H. Long-term behaviour of MDF. New-challenges for the wood based panel industry, technology, productivity, and ecology proceedings. In: EUROWOOD SYMPOSIUM, 3.; FESYP TECHNICAL CONFERENCE, 4., Braunscheig, 1996. **Anais…** Braunschweig: [s.n.], 1996. 16 p.

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

KOLLMANN, F. F. P; KUENZI, E. W.; STAMM, A. J. **Principles of wood science and technology II**: wood based materials. New York: Springer Verlag, 1975. 703 p.

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

MATOS, J. L. M. **Ciclo de prensa em chapas de partículas estruturais "Waferboards"**. 1988. 163 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MATTOS, R. L. G; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. **Painéis de madeira no Brasil**: panorama e perspectivas. Rio de Janeiro: BNDES, 2008. p. 121-156.

MENDES, R. F. **Utilização do bagaço de cana de alambique na produção de painéis aglomerados**. 2008a. 104 p. Monografia (Graduação em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JÚNIOR, J. B.; MENDONCA, L. L. Qualidade de painéis aglomerados produzidos na china utilizando bagaço de cana. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: [s.n.], 2008b. v. 1, p. 261-261.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; SANTOS, R. C.; BUFALINO, L. The adhesive effect on the properties of particleboards made from sugar cane generated in the distiller. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v. 196, p. 76-78, 2009a.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; MENDONÇA, L. M.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B.; MOR, F. A. Painéis de Madeira aglomerada: estudo de caso utilizando clones de Eucalyptus urophylla. **Revista Floresta**, Lavras, v. 39, n. 12, p. 14-21, 2009b.

MOSLEMI, A. A. **Particleboard**. Illinois: Southern Illinois University, 1974. 244 p.

MURAKAMI, K.; UEDA, M.; MATSUDA, H.; ZHANG, M.; KAWASAKI, T.; KAWAI, S. Manufacture and properties of three-layered particleboards with oriented face strands of veneers I. Japan Wood Science, Tokyo, v. 45, n. 5, p. 395-402, 1999.

NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. **DIN 52362**: testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength. Germany, 1982. p. 39-40.

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

PESQUISA ON LINE FAPESP. Disponível em: <http://revistapesquisa. fapesp.br>. Acesso em: 17 nov. 2009.

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and factors affecting fiber properties. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A. L.; MATTOSO, L. H. C. (Ed.). **Natural polymers and agrofibers based composites**. São Carlos: Embrapa, 2000. p. 115-134.

SILVA, V. L. M. M.; GOMES, W. C. O.; ALSINA, L. S. Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 27-32, 2007.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood**: structure, properties, utilization. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.

VIANA, A. MDP: nova tendência na fabricação de chapas. Revista da Madeira, São Paulo, nov. 2006. Disponível em: <http://www.remade.com.br>. Acesso em: 29 maio 2009.

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

WIKIPÉDIA: a enciclopédia livre. Disponível em: <http://pt.wikipedia.org> Acesso em: 17 nov. 2009.

WU, Q. In-plane dimensional stability of oriented strand panel: effect of processing variables. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 31, n. 1, p. 28-40, 1999.

YANG, H.; KIM, D.; KIM, H. Rice straw-wood article composite for sound absorbing wooden construction materials. **Bioresource Technology**, Essex, v. 86, p. 117-121, 2003.

YOUNGQUIST, J. A.; ENGLISH, B. E.; SCHARMER, R. C.; CHOW, P.; SHOOK, S. R. Literature review on use of nonwood plant fibers for building materials and panels. Madison: Department of Agriculture, 1994. 146 p.

ZHOW, D. A. Estudy of oriented structural board made from hybrid poplar: phisical and mechanical properties of OSB. European Journal of Wood and Wood Products, Berlin, v. 48, n. 7/8,
p. 293-296, 1990.

## ANEXOS - ESTATÍSTICAS

TABELA 1A Análise de variância para a variável absorção de água após duas horas de imersão.

Analysis of Variance for AA2

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| COVARIATES | | | | | |
| densidade | 21,2177 | 1 | 21,2177 | 1,43 | 0,2387 |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:TRAT | 383,858 | 12 | 31,9882 | 2,16 | 0,0355 |
| RESIDUAL | 562,664 | 38 | 14,8069 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 1122,43 | 51 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

TABELA 2A Análise de variância para a variável absorção de água após vinte e quatro horas de imersão.

Analysis of Variance for AA24

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| COVARIATES | | | | | |
| densidade | 620,323 | 1 | 620,323 | 3,40 | 0,0728 |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:TRAT | 5722,72 | 12 | 476,893 | 2,62 | 0,0119 |
| RESIDUAL | 6923,86 | 38 | 182,207 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 14012,7 | 51 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

TABELA 3A Análise de variância para a variável inchamento em espessura após duas horas de imersão.

Analysis of Variance for IE2

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| COVARIATES | | | | | |
| densidade | 3,34918 | 1 | 3,34918 | 1,46 | 0,2352 |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:TRAT | 147,431 | 12 | 12,2859 | 5,34 | 0,0000 |
| RESIDUAL | 87,468 | 38 | 2,30179 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 250,742 | 51 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

TABELA 4A Análise de variância para a variável inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão.

Analysis of Variance for IE24

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| COVARIATES | | | | | |
| densidade | 12,7808 | 1 | 12,7808 | 0,82 | 0,3716 |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:TRAT | 941,153 | 12 | 78,4294 | 5,02 | 0,0001 |
| RESIDUAL | 594,001 | 38 | 15,6316 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 1586,42 | 51 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

TABELA 5A Análise de variância para a variável taxa de não retorno em espessura.

Analysis of Variance for TNRE

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| COVARIATES | | | | | |
| densidade | 7,39259 | 1 | 7,39259 | 0,43 | 0,5156 |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:TRAT | 1298,42 | 12 | 108,202 | 6,30 | 0,0000 |
| RESIDUAL | 652,256 | 38 | 17,1646 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 2064,31 | 51 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

TABELA 6A Análise de variância para a variável Módulo de elasticidade.

Analysis of Variance for moe

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| COVARIATES | | | | | |
| dens | 6,64247E7 | 1 | 6,64247E7 | 11,29 | 0,0018 |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:trat | 1,20898E9 | 12 | 1,00748E8 | 17,12 | 0,0000 |
| RESIDUAL | 2,2361E8 | 38 | 5,88449E6 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 2,61264E9 | 51 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

TABELA 7A  Análise de variância para a variável Módulo de ruptura.

Analysis of Variance for mor

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| COVARIATES | | | | | |
| dens | 3224,12 | 1 | 3224,12 | 8,07 | 0,0072 |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:trat | 15098,3 | 12 | 1258,19 | 3,15 | 0,0034 |
| RESIDUAL | 15186,9 | 38 | 399,655 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 66424,9 | 51 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

TABELA 8A  Análise de variância para a variável Ligação interna.

Analysis of Variance for li

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:trat | 62,3238 | 12 | 5,19365 | 11,04 | 0,0000 |
| RESIDUAL | 18,3398 | 39 | 0,470251 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 80,6636 | 51 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

TABELA 10A  Análise de variância para o MOEd no painel.

Analysis of Variance for moed

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| COVARIATES | | | | | |
| DENS | 5,28379E6 | 1 | 5,28379E6 | 1,08 | 0,3049 |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:TRAT | 7,28871E7 | 12 | 6,07393E6 | 1,24 | 0,2912 |
| RESIDUAL | 1,85631E8 | 38 | 4,88502E6 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 3,09798E8 | 51 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

TABELA 11A Análise de variância para o erro do MOEd no painel.

Analysis of Variance for comp - Type III Sums of Squares

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| COVARIATES | | | | | |
| dens | 3109,11 | 1 | 3109,11 | 26,96 | 0,0000 |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:trat | 6695,54 | 12 | 557,962 | 4,84 | 0,0001 |
| RESIDUAL | 4382,83 | 38 | 115,338 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 18071,1 | 51 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

TABELA 12A Análise de variância para o MOEd nos corpos-de-prova.

Analysis of Variance for ERRO

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| COVARIATES | | | | | |
| DENS | 1591,75 | 1 | 1591,75 | 0,61 | 0,4396 |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:TRAT | 94494,8 | 12 | 7874,57 | 3,02 | 0,0047 |
| RESIDUAL | 99162,0 | 38 | 2609,53 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 223238,0 | 51 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

TABELA 13A Análise de variância para o erro do MOEd nos corpos-de-prova.

Analysis of Variance for MOEd

| Source | Sum of Squares | Df | Mean Square | F-Ratio | P-Value |
|---|---|---|---|---|---|
| COVARIATES | | | | | |
| Densidade | 1,64001E7 | 1 | 1,64001E7 | 27,55 | 0,0000 |
| MAIN EFFECTS | | | | | |
| A:TRAT | 2,65283E7 | 12 | 2,21069E6 | 3,71 | 0,0010 |
| RESIDUAL | 2,26186E7 | 38 | 595227,0 | | |
| TOTAL (CORRECTED) | 9,91307E7 | 51 | | | |

All F-ratios are based on the residual mean square error.

TABELA 14A Análise de variância para o erro do MOEd nos corpos-de-prova.

TABELA DE ANÁLISE DE VARIÂNCIA

| FV | GL | SQ | QM | Fc | Pr>Fc |
|---|---|---|---|---|---|
| TRAT | 12 | 0.019367 | 0.001614 | 5.536 | 0.0000 |
| erro | 39 | 0.011370 | 0.000292 | | |
| Total corrigido | 51 | 0.030738 | | | |

CV (%) = 2.61

Média geral: 0.6552500 Número de observações:52

# Livros Grátis

( http://www.livrosgratis.com.br )

Milhares de Livros para Download:

Baixar livros de Administração
Baixar livros de Agronomia
Baixar livros de Arquitetura
Baixar livros de Artes
Baixar livros de Astronomia
Baixar livros de Biologia Geral
Baixar livros de Ciência da Computação
Baixar livros de Ciência da Informação
Baixar livros de Ciência Política
Baixar livros de Ciências da Saúde
Baixar livros de Comunicação
Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE
Baixar livros de Defesa civil
Baixar livros de Direito
Baixar livros de Direitos humanos
Baixar livros de Economia
Baixar livros de Economia Doméstica
Baixar livros de Educação
Baixar livros de Educação - Trânsito
Baixar livros de Educação Física
Baixar livros de Engenharia Aeroespacial
Baixar livros de Farmácia
Baixar livros de Filosofia
Baixar livros de Física
Baixar livros de Geociências
Baixar livros de Geografia
Baixar livros de História
Baixar livros de Línguas

Baixar livros de Literatura
Baixar livros de Literatura de Cordel
Baixar livros de Literatura Infantil
Baixar livros de Matemática
Baixar livros de Medicina
Baixar livros de Medicina Veterinária
Baixar livros de Meio Ambiente
Baixar livros de Meteorologia
Baixar Monografias e TCC
Baixar livros Multidisciplinar
Baixar livros de Música
Baixar livros de Psicologia
Baixar livros de Química
Baixar livros de Saúde Coletiva
Baixar livros de Serviço Social
Baixar livros de Sociologia
Baixar livros de Teologia
Baixar livros de Trabalho
Baixar livros de Turismo