



**DÉBORA PEREIRA RIBEIRO**

**PAINÉIS MDP PRODUZIDOS COM BAGAÇO  
DE CANA TRATADO TERMICAMENTE**

**LAVRAS – MG  
2017**

**DÉBORA PEREIRA RIBEIRO**

**PAINÉIS MDP PRODUZIDOS COM BAGAÇO DE CANA  
TRATADO TERMICAMENTE**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Biomateriais, área  
de concentração em Compósitos  
e Nanocompósitos  
Lignocelulósicos, para a  
obtenção do título de Mestre.

Orientador  
Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes

Coorientador  
Prof. Dr. Alfredo Napoli

**LAVRAS – MG  
2017**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de  
Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,  
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Ribeiro, Débora Pereira.

Painéis MDP produzidos com bagaço de cana tratado  
termicamente / Débora Pereira Ribeiro. - 2016.

58 p. : il.

Orientador(a): Rafael Farinassi Mendes.

Coorientador(a): Alfredo Napoli

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Federal de  
Lavras, 2016.

Bibliografia.

1. Compósitos lignocelulósicos. 2. Tratamento térmico. 3.  
Resíduos agrícolas. I. Mendes, Rafael Farinassi. II. Napoli, Alfredo.  
III. Título.

**DÉBORA PEREIRA RIBEIRO**

**PAINÉIS MDP PRODUZIDOS COM BAGAÇO DE CANA  
TRATADO TERMICAMENTE**

Dissertação apresentada à  
Universidade Federal de Lavras,  
como parte das exigências do  
Programa de Pós-Graduação em  
Engenharia de Biomateriais, área  
de concentração em Compósitos  
e Nanocompósitos  
Lignocelulósicos, para a  
obtenção do título de Mestre.

Aprovada em 29 de Agosto de 2016.

Dra. Marcela Gomes da Silva UFRA

Dr. José Benedito Guimarães UFLA

Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes  
Orientador

Prof. Dr. Alfredo Napoli  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2017**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho primeiramente a Deus por nortear minha vida.

E a minha família que sempre me apoia em tudo que preciso.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, por proteger e guiar meus passos.

Aos meus queridos e amados pais Geraldo e Stela, minha eterna gratidão pela vida, pela educação, pelo amor, pelo exemplo de caráter, esforço e dignidade.

Ao meu irmão Fernando, pelo carinho e amizade.

Ao meu namorado Renniê, pela paciência e incentivo.

À Universidade Federal de Lavras – UFLA pela oportunidade oferecida.

Ao professor Rafael Farinassi Mendes, pelos ensinamentos, orientação e amizade.

Ao professor Alfredo Napoli do Centro de Pesquisa Agrícola Francês para o Desenvolvimento Internacional (CIRAD - França), pela orientação e ensinamentos ao realizar o tratamento térmico em seu forno o Macro ATG.

Ao professor José Benedito Guimarães Junior, pela contribuição dada ao trabalho para a realização das análises químicas.

A todos os professores e funcionários da UEPAM, que de alguma forma me ajudou tanto profissional quanto pessoal.

A todos os amigos da pós-graduação do programa de Engenharia de Biomateriais, em especial, Tamires Galvão, Mario Vanoli Scatolino e Carol Narciso, pela convivência e apoio.

À minha amiga Stefânia Lima Oliveira, pelos ensinamentos, incentivo, amizade, paciência e confiança.

À CAPES, pela concessão da bolsa de estudos.

Enfim, a todos aqueles que, de maneira direta ou indireta, contribuíram para a realização deste trabalho com bons conselhos e incentivo.



## RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de diferentes níveis de temperatura de tratamento térmico sobre as propriedades de painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana-de-açúcar. O delineamento experimental se constituiu de quatro tratamentos, sendo avaliadas três temperaturas de tratamento térmico do bagaço de cana (170, 200 e 230°C) e um tratamento sem modificação térmica (Controle). As partículas foram avaliadas quanto a suas características anatômicas, químicas e físicas. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 0,70 g/cm<sup>3</sup>, relação face/miolo de 40:60, 11% de adesivo ureia-formaldeído para as faces e 7% de adesivo para o miolo, ciclo de prensagem de 160°C de temperatura, pressão de 3,94 MPa e por tempo de 8 minutos. Os painéis tiveram avaliadas as suas propriedades físicas de densidade, razão de compactação, umidade, absorção de água e inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão; as suas propriedades mecânicas de ligação interna, módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática e a sua propriedade de isolamento térmico. O tratamento térmico das partículas de bagaço de cana na temperatura de 230°C, promoveu melhoras significativas na qualidade dos painéis aglomerados, resultando na diminuição dos valores de absorção de água e inchamento em espessura dos painéis e aumento dos valores de MOE, e atendendo às normas de comercialização quanto ao inchamento em espessura após 24 horas de imersão em água. Tal fato, demonstra o grande potencial de utilização do tratamento térmico na temperatura de 230°C para a produção de painéis aglomerados com bagaço de cana.

**Palavras-chave:** Compósitos lignocelulósicos. Tratamento térmico. Resíduos agrícolas. Estabilidade dimensional.

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of different levels of temperature of thermal treatment on the particleboard properties made from sugarcane bagasse. The experiment consisted of four treatments, being evaluated three temperatures of thermal treatment of sugarcane bagasse (170, 200 and 230°C) and one treatment without thermal modification (Control). The particles were evaluated for their anatomical, chemical and physical characteristics. The particleboards were produced with nominal density of 0.70g/cm<sup>3</sup>, face/core relation of 40:60, 11% of urea-formaldehyde adhesive to the faces and 7% of adhesive to the core, pressing cycle of 160°C temperature, pressure of 3.94MPa and for a period of eight minutes. The particleboards were evaluated for their properties of physical density, compression ratio, moisture, water absorption and thickness swelling after two and twenty-four hours of immersion; their mechanical properties of internal bond, rupture modulus and modulus of elasticity at static flexion and its thermal insulation property. The thermal treatment of the sugarcane bagasse particles at the temperature of 230°C promoted significant improvements in the quality of the particleboards, resulting in the decrease of the water absorption and thickness swelling values of the panels and the increase in modulus of elasticity values, and meeting marketing standards regarding the thickness swelling after twenty-four hours of immersion in water. This fact demonstrates the great potential of using the thermal treatment at the temperature of 230°C for the production of particleboard with sugarcane bagasse.

**Keywords:** Lignocellulosic composites. Thermal treatment. Agricultural waste. Dimensional stability.

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1</b>	Esquema de classificação dos painéis de madeira.....	14
<b>Figura 2</b>	Layout do equipamento piloto de pirólise – forno Macro ATG.....	27
<b>Figura 3</b>	Partículas antes (a) e após (b) o tratamento térmico.....	27
<b>Figura 4</b>	Esquema do equipamento utilizado para teste de isolamento térmico.....	31
<b>Figura 5</b>	Interação entre as partículas de bagaço de cana após a produção dos painéis aglomerados. A) Painéis sem tratamento térmico B) Painéis com as partículas tratadas termicamente a 230°C.....	34
<b>Figura 6</b>	Absorção de água dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana tratadas termicamente.....	39
<b>Figura 7</b>	Inchamento em espessura dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana tratadas termicamente.....	41
<b>Figura 8</b>	Ligação interna dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana tratadas termicamente.....	43
<b>Figura 9</b>	Região de ruptura dos corpos de prova no teste de ligação interna A) Controle; B) 170°C; C) 200°C e D) 230°C.....	44
<b>Figura 10</b>	Módulo de ruptura dos painéis aglomerados de bagaço de cana produzidos com partículas tratadas termicamente.....	45
<b>Figura 11</b>	Módulo de elasticidade dos painéis aglomerados de bagaço de cana produzidos com partículas tratadas termicamente.....	46
<b>Figura 12</b>	Transmissão térmica dos painéis aglomerados de bagaço de cana produzidos com partículas tratadas termicamente.....	48

## LISTA DE TABELA

<b>Tabela 1</b>	Plano experimental.....	29
<b>Tabela 2</b>	Características anatômicas das partículas de bagaço de cana tratadas termicamente.....	33
<b>Tabela 3</b>	Caracterização química das partículas de bagaço de cana tratadas termicamente.....	34
<b>Tabela 4</b>	Densidade básica, umidade e perda de massa das partículas de bagaço de cana tratadas termicamente.....	36
<b>Tabela 5</b>	Densidade aparente e razão de compactação dos painéis de bagaço de cana produzidos com partículas tratadas termicamente.....	38
<b>Tabela 6</b>	Temperatura transmitida pelos painéis produzidos com as partículas de bagaço de cana modificadas termicamente.....	48

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	16
<b>2.1</b>	<b>Painéis MDP</b> .....	16
<b>2.2</b>	<b>Fatores que afetam as propriedades dos painéis</b> .....	17
<b>2.2.1</b>	<b>Fatores inerentes à matéria-prima</b> .....	18
<b>2.2.2</b>	<b>Fatores inerentes ao processo</b> .....	19
<b>2.3</b>	<b>Material Lignocelulósico</b> .....	20
<b>2.4</b>	<b>Bagaço de cana de açúcar</b> .....	21
<b>2.5</b>	<b>Produção de painéis aglomerados com bagaço de cana</b> .....	23
<b>2.6</b>	<b>Tratamento térmico</b> .....	25
<b>3</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	27
<b>3.1</b>	<b>Coleta da matéria-prima</b> .....	27
<b>3.2</b>	<b>Tratamento térmico das partículas</b> .....	27
<b>3.3</b>	<b>Caracterização da matéria-prima</b> .....	28
<b>3.3.1</b>	<b>Caracterização morfológica</b> .....	28
<b>3.3.2</b>	<b>Caracterização química</b> .....	29
<b>3.3.3</b>	<b>Caracterização física</b> .....	29
<b>3.4</b>	<b>Produção dos painéis</b> .....	30
<b>3.5</b>	<b>Caracterização dos painéis produzidos</b> .....	31
<b>3.5.1</b>	<b>Propriedades físicas e mecânicas</b> .....	31
<b>3.5.2</b>	<b>Microscopia eletrônica de varredura</b> .....	31
<b>3.5.3</b>	<b>Transmissão térmica</b> .....	32
<b>3.6</b>	<b>Análise dos resultados</b> .....	33
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	34
<b>4.1</b>	<b>Caracterização morfológica</b> .....	34
<b>4.2</b>	<b>Caracterização química</b> .....	35
<b>4.3</b>	<b>Propriedades físicas</b> .....	38
<b>4.4</b>	<b>Caracterização dos painéis produzidos, densidade aparente e razão de compactação</b> .....	38
<b>4.4.1</b>	<b>Absorção de água</b> .....	39
<b>4.4.2</b>	<b>Inchamento em espessura</b> .....	40
<b>4.4.3</b>	<b>Ligação interna</b> .....	42
<b>4.4.4</b>	<b>Módulo de ruptura e Módulo de elasticidade à flexão estática</b> .....	45
<b>4.4.5</b>	<b>Transmissão térmica</b> .....	47

<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO.....</b>	<b>49</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>50</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O mercado de painéis de madeira industrializada, formados principalmente por painéis MDP (*Medium Density Particleboard*), MDF (*Medium Density Fiberboard*) e OSB (*Oriented Strand Board*), encontra-se em expansão no Brasil. Nos últimos 10 anos, a produção anual desses painéis cresceu de 3,1 milhões m<sup>3</sup> para 7,3 milhões, sendo este crescimento médio de 8,9% (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2014).

Os painéis MDP são formados por partículas de madeira que, após serem unidas com adesivo sintético, são posteriormente consolidadas através de aplicação de calor e pressão. Tais painéis possuem uma boa versatilidade de aplicações, sendo utilizados pelas indústrias de móveis, construção civil, embalagens, dentre outros (IWAKIRI et al., 2005; MENDES et al., 2012).

A princípio, os painéis MDP podem ser produzidos a partir de qualquer material lignocelulósico que lhes confira alta resistência mecânica, física e biológica; e peso específico preestabelecido (MELO et al., 2009; MENDES et al., 2009; ROWELL; HAN; ROWELL, 2000). No entanto, atualmente a indústria de painéis utiliza madeira de florestas plantadas, principalmente dos gêneros pinus e eucalipto, com certo destaque para o primeiro (MENDES et al., 2012).

Porém, devido ao grande desenvolvimento apresentado pelo setor, em função de fatores como a modernização do parque fabril, o surgimento de novos produtos como o OSB, MDF e MDP, e pelo crescimento da construção civil e do setor de móveis, os quais são os principais consumidores, aumenta também a demanda por matéria-prima, o que leva à procura de outros tipos de materiais (MENDES et al., 2012).

O aproveitamento dos resíduos gerados pela agroindústria brasileira se mostra como alternativa para atender tal demanda de matéria-prima das indústrias de painéis aglomerados, apresentando-se com vários tipos de resíduos lignocelulósicos com potencialidades para aproveitamento, dentre os quais estão o sabugo de milho, casca de arroz, casca de café, casca de amendoim, caule de bananeira, casca de coco, caule de mandioca, casca de mamona, bagaço de cana, entre outros (MENDES, 2008; MENDES et al., 2009).

O bagaço de cana-de-açúcar tem sido produzido cada vez em maior quantidade, devido ao aumento da área plantada e da industrialização da cana-de-açúcar decorrentes de investimentos públicos e privados na produção alcooleira. Geralmente é queimado em reservatórios de vapor para produzir energia para uso industrial, mas, atualmente, devido às suas características físico-químicas, esta sendo utilizado em um vasto campo de pesquisas,

dentre os quais: na produção de ração animal, na indústria química para a produção de plástico biodegradável, na produção de bicarbonato de sódio e cloreto de amônio e também para a produção de painéis MDP (ANSELMINI, 2007).

Algumas pesquisas desenvolvidas com a utilização do bagaço de cana na produção de painéis MDP, revelam o seu grande potencial de uso (FIORELLI et al., 2013; MENDES, 2008; MENDES et al., 2009, 2010, 2012; OKINO; TEIXEIRA; DEL MENEZZI, 2007). Contudo, Mendes (2008) relatam que os painéis MDP de bagaço de cana, ainda apresentam maiores valores de absorção de água e inchamento em espessura que os painéis produzidos em escala industrial no Brasil com a madeira de eucalipto, o que, em alguns tipos de utilização, pode vir a se tornar um problema. Sendo assim, necessita-se de alternativas viáveis para controlar estas variáveis a fim de aumentar a gama de utilizações destes painéis.

Dentre as possíveis alternativas para melhorar a estabilidade dimensional dos painéis MDP de bagaço de cana, pode-se citar o tratamento térmico, que consiste em aplicar calor ao material lignocelulósico nas temperaturas entre 100 e 250 °C, a qual irá depender do grau de modificação que se pretende. O resultado é a obtenção de um produto sólido apresentando características diferenciadas, comparativamente ao material original (BRITO et al., 2006; MENDES, 2011).

Alguns estudos têm relatado as influências do tratamento térmico em painéis de madeira do tipo aglomerado convencional, flakeboard, waferboard, MDF e OSB, sendo que estes estudos se mostraram promissores, uma vez que geralmente o tratamento térmico nos painéis já consolidados proporciona melhoria da estabilidade dimensional e da resistência a ataque de xilófagos (CARVALHO et al., 2015; DEL MENEZZI, 2004; DEL MENEZZI; DE SOUZA; THOMPSON, 2008; DEL MENEZZI; TOMASELLI, 2006; LÁRA SANTOS et al., 2009; MENDES, 2011; OKINO; TEIXEIRA; DEL MENEZZI, 2007; WINANDY; KRZYSIK, 2007). No entanto, o tratamento térmico nos painéis também pode promover a redução das propriedades mecânicas (DEL MENEZZI, 2004; PAUL; OHLMEYER; LEITHOFF, 2007), dependendo do nível de temperatura e da matéria-prima lignocelulósica avaliada.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o efeito de diferentes níveis de temperatura de tratamento térmico sobre as propriedades de painéis MDP produzidos com bagaço de cana-de-açúcar.

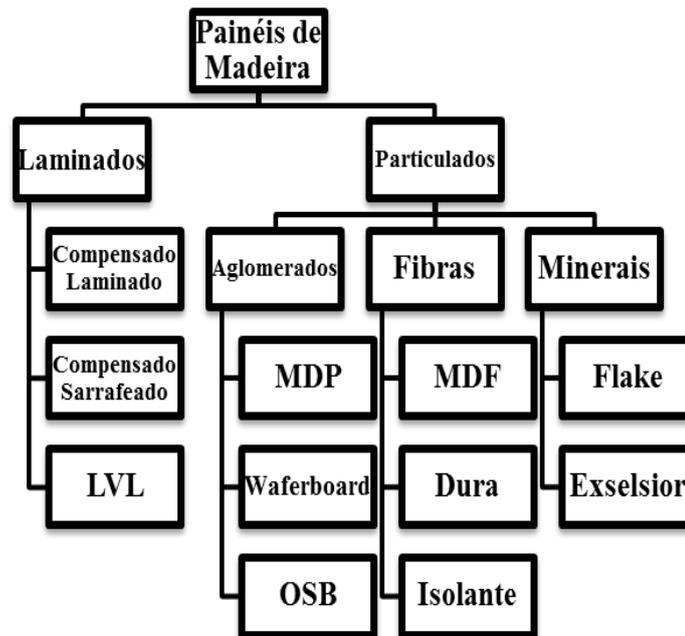
## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Painéis MDP

Os painéis de madeira surgiram da necessidade de amenizar a instabilidade dimensional da madeira maciça, diminuir sua massa e custo, e manter as propriedades isolantes, térmicas e acústicas (ZENID et al., 2004).

A partir do início da produção de compensados nos Estados Unidos, vários tipos de painéis de madeira (Figura 1) foram surgindo até hoje, buscando sempre novos produtos com melhor relação custo/benefício, para finalidades específicas a que se destinam (MENDES et al., 2010).

Figura 1- Esquema de classificação dos painéis de madeira.



Fonte: Iwakiri et al. (2005).

Maloney (1993) descreve que os particulados 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 e possibilidade de utilização de madeira de reflorestamento na sua confecção.

As principais desvantagens dos painéis referem-se à superfície do painel e as bordas mais grosseiras do que a madeira aplainada; algumas operações como fixações,

encabeçamentos, molduras, entre outras, requerem cuidados especiais com ferramentas e equipamentos; pode esfurelar com o uso de dobradiças e parafusos inadequados; não aceita pregos e tem baixa resistência à umidade (ENGENHARIA APLICADA À VALORIZAÇÃO DA MADEIRA LTDA - ENVALMA, 2012).

O setor de painéis de madeira industrializada, que é formado por indústrias de painéis *MDP (Medium Density Particleboard)*, *MDF (Medium Density Fiberboard)* e *OSB (Oriented Strand Board)*, encontra-se em expansão no Brasil. Com isso, a produção anual de painéis teve um crescimento de 8,9% nos últimos 10 anos devido à substituição do uso de compensados pelos painéis de madeira industrializada na produção moveleira, além do cenário econômico interno, onde o aumento de renda e o crescimento da construção civil impulsionam o mercado imobiliário e o consumo de bens duráveis (ABRAF, 2013). No Brasil, os painéis de madeira aglomerada começaram a ser produzidos em 1966, pelas Placas do Paraná S.A., instalada na cidade de Curitiba-PR.

O painel aglomerado é caracterizado pela transformação da madeira em pequenas partículas que, após serem secas e misturadas com adesivo sintético, são distribuídas aleatoriamente entre si, e então prensadas sob calor e pressão, formando um painel particulado. Tais painéis são produzidos em três camadas, sendo que as camadas da superfície são compostas por partículas mais finas para melhorar o acabamento. O painel aglomerado pode ser pintado ou revestido com vários materiais, como os papéis impregnados com resinas melamínicas, papéis envernizáveis e lâminas, ou folhas de madeira natural (IWAKIRI et al., 2005).

Os painéis aglomerados são importantes por terem a possibilidade de substituir, em alguns casos, a madeira maciça e o compensado, os quais necessitam de melhor qualidade de matéria prima. Estes painéis podem ser fabricados a partir de toras de pequeno diâmetro, resíduos, e de madeira com menor densidade (HILLIG; HASELEIN; SANTINI, 2002), sendo utilizados para fabricação de móveis, divisórias e componentes de aparelhos eletroeletrônicos (IWAKIRI; COSTA; KLITZKE, 1999).

## **2.2 Fatores que afetam as propriedades dos painéis**

Diversos fatores contribuem para as propriedades e para a qualidade final dos painéis. Dentre eles, podem ser destacados os inerentes à matéria-prima, tais como espécies, características anatômicas, densidade, umidade, extrativo e pH; e os fatores inerentes ao processo, tais como densidade dos painéis, razão de compactação, tipo e teores de adesivo,

parafina, dimensão das partículas, umidade das partículas, tempo de fechamento da prensa, temperatura de prensagem e pressão específica (MALONEY, 1993; MOSLEMI, 1974).

### **2.2.1 Fatores inerentes à matéria-prima**

De acordo com Maloney (1993), a espécie de madeira ou material lignocelulósico é o parâmetro mais importante na produção dos painéis. Deste modo, a escolha da espécie empregada interfere de modo direto nas propriedades e, conseqüentemente no uso do produto final.

Os materiais lignocelulósicos possuem uma constituição química composta pelos polímeros de celulose, hemicelulose e lignina. A hemicelulose é a substância mais hidrofílica dentre as outras, o que contribui para a variação dimensional do material (BORGES; QUIRINO, 2004).

Sweet e Winandy (1999) definem a lignina como um componente de estrutura condensada e irregular, que propicia ao material uma alta rigidez, já que atua como um amortecedor das microfibrilas de celulose, limitando seu movimento paralelo e aumentando a resistência mecânica. Além disso, a lignina tem propriedades adesivas que ajudam na colagem do painel. Portanto, no caso da produção de painéis, é desejável que se tenha o maior teor de lignina possível na matéria-prima.

Quanto aos extrativos e suas variações quantitativas, que dependem da matéria-prima escolhida, são parte primordial do processo produtivo, pois eles atuam como adesivo podendo afetar o processo de cura. Ademais, são capazes de proporcionar ao painel uma menor resistência à umidade e problemas de estouro durante a prensagem. Contudo, os extrativos são substâncias heterogêneas que nem sempre proporcionam efeitos negativos. É fundamental que ocorra estudo prévio do possível comportamento do mesmo no processo produtivo e na aplicação do painel (BUFALINO et al., 2012; CLOUTIER, 1998; IWAKIRI et al., 2005; MALONEY, 1993).

Os extrativos do material são os principais responsáveis pelo pH que ele apresenta. Esse pH pode impossibilitar que haja a fluidez, umectação e penetração apropriada do adesivo, já que a presença dessas substâncias favorecem o endurecimento do adesivo. Como a ureia-formaldeído cura em meio ácido, por exemplo, pode prejudicar a colagem de painéis produzidos com materiais de baixo pH, pois acelera a cura do adesivo (IWAKIRI et al., 2005).

Iwakiri et al. (2005) também afirma que as cinzas componentes da biomassa encontram-se geralmente em teores muito baixos, e não afetam diretamente as propriedades

adesivas do painel. No entanto, pode afetar o pH e algumas outras características quanto à usinabilidade e desgastes das máquinas utilizadas no processo de confecção do painel, devido a presença de minerais como a sílica.

As espécies vegetais apresentam grande variabilidade quanto à estrutura anatômica. A anatomia influencia diretamente na estrutura quanto às diferenças dos seus elementos celulares, como dimensão, disposição e frequência das cavidades celulares relacionadas à porosidade e permeabilidade do material (SWEET; WINANDY, 1999).

A densidade da matéria-prima é fundamental no processo produtivo. Scatolino et al. (2013), ao avaliarem a viabilidade do uso do sabugo de milho na produção de painéis aglomerados convencionais, observaram que a baixa densidade do resíduo agrícola proporcionou razões de compactação elevadas, diminuindo assim as propriedades mecânicas (módulo de ruptura e módulo de elasticidade à flexão estática) e aumentando os valores médios de absorção de água e inchamento em espessura. Segundo os autores, esse resultado se deve à baixa densidade do sabugo de milho ( $0,170 \text{ g/cm}^3$ ), o que resultou na necessidade de um número maior de partículas para que se obter a densidade pré-determinada do painel, ocasionando assim a disponibilidade de um número maior de sítios de sorção.

### **2.2.2 Fatores inerentes ao processo**

As propriedades mecânicas, como a resistência à flexão, tração e arrancamento de parafusos, e as propriedades físicas, como a absorção de água, estão diretamente ligadas ao tamanho das partículas (MALONEY, 1989). Segundo Maloney (1993), as partículas menores consomem maior quantidade de adesivo devido à maior superfície de contato. Kelly (1977) reforça que é de grande importância que o produto seja o mais homogêneo possível e, para atingir esse fim, as partículas devem ter dimensões controladas.

A massa específica do painel também exerce influência nas propriedades físicas e mecânicas (MENDES, 2001). Os painéis mais densos conferem maior resistência mecânica, enquanto que aqueles de menor densidade apresentam melhores características quanto à estabilidade dimensional (KELLY, 1977), desde que a quantidade de adesivo seja adequada.

A relação entre a densidade do painel e a densidade do material, denomina a razão de compactação, ou taxa de compressão, e exerce um efeito marcante nas propriedades dos painéis particulados, tendo em vista o processo de densificação do material para consolidação do painel até a espessura final (MENDES, 2010a). Segundo Iwakiri et al. (2005), para que

ocorra uma densificação suficiente na produção do painel de madeira, a razão de compactação deve estar entre 1,3 e 1,6. Valores superiores a 1,6 podem até melhorar algumas propriedades, como a resistência mecânica; porém o inchamento em espessura será elevado, devido à maior tensão de compactação das partículas, as quais em contato com a água são liberadas.

Em geral, painéis MDP são indicados para uso interno e o adesivo mais utilizado é a ureia-formaldeído. A maior vantagem desse adesivo é o baixo custo, além da velocidade de polimerização e o fato de ser um adesivo incolor (FORSS; FUHRMANN, 1979). Por ser um componente de considerável valor na produção de painéis, a escolha do tipo e teor de adesivo é de fundamental importância.

Cai et al. (2009) consideram que a etapa mais crítica na produção de painéis é o ciclo de prensagem. Dentre os principais fatores da prensagem, têm-se a temperatura, tempo e pressão específica.

A temperatura é definida em função do tipo de adesivo utilizado e é importante para acelerar a polimerização do mesmo. Iwakiri et al. (2005) afirma que, quanto maior a temperatura, menor o tempo de prensagem e, por consequência, maior produtividade.

O tempo de prensagem, segundo Matos (1988), é o tempo entre a consolidação do colchão em sua espessura final até a abertura da prensa sob a aplicação de pressão específica. Este tempo deve ser suficiente para que o interior do painel atinja a temperatura necessária para a cura do adesivo. A pressão aplicada durante o ciclo é importante para a densificação do colchão e também para assegurar um contato adequado entre as partículas (TRIANOSKI, 2010).

### **2.3 Material Lignocelulósico**

As indústrias de painéis aglomerados e de fibras, no Brasil, consomem um volume significativo de madeiras provenientes de florestas plantadas de pinus e eucalipto. Para atender à demanda cada vez mais crescente pela madeira, há a necessidade de não somente aumentar a área de plantios com essas espécies, mas também procurar opções de outras espécies ou utilizar resíduos agrícolas (MENDES et al., 2009).

A utilização de materiais lignocelulosicos como reforço tem sido impulsionada, tanto pela necessidade de usar matérias-primas de fontes renováveis, como pelas vantagens que o uso das fibras/partículas vegetais pode ter (SAVASTANO JÚNIOR; WARDEN, 2005).

O estudo das fibras vegetais com finalidade de reforço de matrizes começou na Inglaterra em 1970. No Brasil, a primeira pesquisa realizada no Centro de Pesquisa e Desenvolvimento (Ceped), Camaçari, Bahia, foi iniciando em 1980 (SAVASTANO JÚNIOR; WARDEN, 2005).

É crescente o interesse na utilização de materiais lignocelulósicos, principalmente de fibras/partículas vegetais (sisal, juta, coco, banana, curauá, bagaço de cana) como reforço em compósitos (PAIVA; FROLLINI, 2000). Estes compósitos podem ser aplicados em diversas áreas, desde a indústria automotiva (LEÃO; TAN; CARASCHI, 1998), embalagens, até a de construção civil (BLEDZKI; GASSAN, 1999; SAVASTANO JÚNIOR; WARDEN; COUTTS, 2000).

O interesse por estes compósitos, está relacionado às propriedades e características das fibras/partículas vegetais, podendo-se destacar baixo custo, baixa densidade, flexibilidade no processamento e uso de sistemas simples quando o tratamento de superfície é necessário (AGARWAL et al., 2000). Além disso, as fibras/partículas vegetais são fontes renováveis, amplamente distribuídas, disponíveis, moldáveis, não-abrasivas, porosas, viscoelásticas, biodegradáveis, combustíveis e reativas (ROWELL; HAN; ROWELL, 2000).

As matérias-primas utilizadas na fabricação dos painéis de madeira aglomerada compreendem várias espécies de madeira e outros materiais lignocelulósicos, tais como, sabugo de milho, casca de arroz, casca de café, casca de amendoim, caule de bananeira, casca de coco, caule de mandioca, casca de mamona, bagaço de cana, entre outros (MENDES, 2008; MENDES et al., 2009). De fato, qualquer fonte de material lignocelulósico pode ser utilizada na produção de painéis, porém, do ponto de vista comercial, a qualidade do produto final limita o campo de escolha (ROQUE; VALENCIA, 1998). Segundo Rowel (2000), o material lignocelulósico tem que proporcionar uma elevada resistência mecânica e boas características físicas ao painel.

#### **2.4 Bagaço de cana de açúcar**

A cana-de-açúcar é originária de Nova Guiné, onde a sua existência era tida como em estado de planta silvestre e ornamental. Da Nova Guiné, a cana-de-açúcar foi se disseminando por várias localidades, como o sul do Oceano Pacífico, da Indonésia, da China, e no Arquipélago da Malásia, sendo certo o seu aparecimento como planta produtora de açúcar na Índia tropical (UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA - UDOP, 2015).

A cana-de-açúcar foi incorporada no Brasil logo após o descobrimento pelos portugueses, iniciando seu plantio em Pernambuco e, em 1532, em São Paulo. A princípio, a cana destinava-se basicamente à produção de açúcar. Com o advento do Programa Nacional do Álcool - Proálcool, em 1975, a sua utilização como fonte de matéria-prima para produção de álcool combustível assumiu importância considerável (BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL- BNDES, 1995).

Pertence à família das *Poáceas*, gênero *Saccharum*, com nome botânico *Saccharum* spp (MARTINS, 2009). Este arbusto apresenta o caule delgado extenso, no qual é recoberto de folhas igualmente compridas e esverdeadas, na haste há um elevado teor de açúcar, e é composta por duas partes: uma subterrânea (rizomas e raízes) e aérea (colmo, folhas e flores). A cana-de-açúcar é cultivada por meio de um sistema de rebrotamento, sendo o primeiro corte feito há 18 meses após o plantio, e os demais anualmente por um período de 4 a 5 anos, com redução gradual do rendimento (PEDRESCHI, 2009).

Com relação à cultura da cana-de-açúcar, segundo dados do IBGE, o Brasil é considerado o principal produtor mundial, com mais de 10 milhões de hectares plantados, representado pelas regiões do Norte/Nordeste (1 milhão de hectares plantados), e centro-sul (9 milhões de hectares plantados) (FIORELLI et al., 2011).

De acordo com o site Nova Cana com dados atualizados pelo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, a produção de cana-de-açúcar deve totalizar, no ano de 2015, 705,8 milhões de toneladas, uma alta de 2,5% em relação ao ano de 2014, sendo São Paulo o responsável por mais da metade da produção.

A cana tem várias outras finalidades, sendo utilizada no estado natural como pasto para alimentação do gado, na forma de ingrediente para alimentos como a rapadura, o melado, a aguardente, entre outros produtos. É uma gramínea da mesma família do capim e bambu, que se destaca, principalmente, por proporcionar um aproveitamento total no seu processamento industrial (MARAFANTE, 1993). Os principais resíduos resultantes do processo produtivo da cana-de-açúcar são: a palha, o bagaço, cinzas, torta de filtro e o vinhoto ou vinhaça, que é transformado em adubo, e o bagaço de cana, que é resíduo da cana após a moagem (DANTAS FILHO, 2009).

Observa-se uma expansão significativa na quantidade de bagaço de cana-de-açúcar produzido. Esse subproduto pode ser caracterizado como um conjunto de fibras emaranhadas de celulose, hemicelulose e lignina, e tem sido produzido cada vez em maior quantidade

(IWAKIRI, 2010; MENDES, 2010b). De acordo com Silva, Gomes e Alsina (2007), cada tonelada de cana-de-açúcar processada, gera um total de 280 kg de resíduos.

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 (PEDRESCHI, 2009).

Segundo Walford (2008), os principais componentes do bagaço de cana são a celulose, hemicelulose, lignina, cinzas e cera. Esta composição torna-o ideal para ser aplicado e utilizado como a fibra de reforço em materiais compósitos para fins de criação de novos materiais, que possuem propriedades físicas e químicas distintas (LOH, 2013).

O bagaço de cana geralmente é escolhido como uma matéria-prima ideal na fabricação de novos produtos por causa de seu baixo custo, material de alta qualidade final e fácil obtenção devido à vasta cultura. Também possui algumas propriedades melhoradas, tais como resistência à tração, resistência à flexão, módulo de flexão, dureza e resistência ao impacto, sendo facilmente tratado e modificado quimicamente, para que, além de se misturar bem com outros materiais para formar novos tipos de materiais compósitos, possa satisfazer os requisitos ecológico, biodegradável, reciclável e reutilizável (LOH, 2013).

## **2.5 Produção de painéis aglomerados com bagaço de cana**

Alguns trabalhos já foram desenvolvidos com a utilização do bagaço de cana para a produção de painéis aglomerados. Na sequência são descritos alguns desses estudos.

Barros Filho et al. (2009) produziram painéis aglomerados convencionais com bagaço de cana, variando a composição da mistura, utilizando como resina ureia-formaldeído e melamina-ureia-formaldeído. Os painéis foram obtidos com ou sem parafina e com partículas de *Pinus* spp. e *Eucalyptus* spp. Os autores observaram como principais resultados que, em média, os valores de ligação interna dos painéis produzidos com bagaço industrial misturado com outras partículas (*Pinus* e *Eucalyptus*) são maiores do que a dos painéis produzidos apenas com bagaço de cana; e a mistura de bagaço com partículas de pinus mostrou maior resistência em relação ao bagaço misturado com partículas de eucalipto.

Tabarsa, Ashori e Gholamzadeh (2011) avaliaram o potencial de bagaço de cana como matéria-prima alternativa para a fabricação de painel aglomerado, e determinaram se as propriedades de tais painéis são semelhantes às que são feitas a partir de outras espécies

(álamo e partículas de folhosas). Os autores concluíram que todos os painéis de bagaço de cana apresentaram resistência mecânica, propriedades físicas e rugosidade semelhantes aos obtidos pelos painéis produzidos com outras espécies, atendendo a todos os requisitos normativos.

Fiorelli et al. (2011) estudaram o potencial de utilização do bagaço de cana-de-açúcar para fabricação de painéis de partículas aglomeradas com adesivo poliuretano à base de óleo de mamona. Os autores concluíram que os painéis obtiveram valores de propriedades mecânicas que permitem sua utilização em uso estrutural, podendo ser utilizados também em ambientes internos de residências, construções agrícolas, setor moveleiro e decorativo.

Mendes et al. (2012) avaliaram o efeito da associação de bagaço de cana (25, 50 e 75%), tipo de adesivo (Fenol-formaldeído - FF e Ureia-formaldeído - UF) e teor de adesivo (6, 9 e 12%) sobre as propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados com madeira de *Pinus* spp. Para as propriedades físicas, foram observados que o aumento de bagaço de cana-de-açúcar promove uma maior absorção de água e também um maior inchamento em espessura.

Oliveira (2013) avaliou as propriedades físicas, mecânicas, química, microestruturais, de durabilidade e caracterização de superfície de painéis comerciais produzidos com bagaço de cana, a fim de constatar a possibilidade de inserir esses painéis no processo produtivo de mobiliários. A autora observou que os painéis de bagaço apresentaram características próximas às obtidas pelos painéis de pinus e eucalipto, comumente utilizados na produção de móveis, apresentando grande potencial para estes fins.

Belini et al. (2012) caracterizaram a resistência biológica de painéis confeccionados com diferentes percentuais de partículas de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum* sp.) e fibras de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), em duas dosagens de resina ureia-formaldeído, ao ataque de cupins da espécie *Reticulitermes santonensis* (Isoptera: *Rhinotermitidae*) e fungos da espécie *Pleurotus ostreatus*, basidiomiceto de podridão branca. Para o ataque de cupins, a intensidade dos *Reticulitermes santonensis* foi caracterizada como severa e similar nos painéis de todos os tratamentos, indicando que o acréscimo da porcentagem de partículas de bagaço de cana-de-açúcar não resultou em aumento de perda de massa. Para o ataque de fungos *Pleurotus ostreatus* (basidiomiceto de podridão-branca) todos os tratamentos foram classificados como "não resistentes", não havendo efeito da utilização do bagaço de cana.

Belini et al. (2012) avaliaram o teor de formaldeído livre em painéis confeccionados com diferentes percentagens de fibras de eucalipto e partículas de bagaço de cana-de-açúcar (25%, 50%, 75% e 100%). Os autores concluíram que o aumento do percentual de partículas de bagaço de

cana-de-açúcar, associado à matriz fibrosa de eucalipto, promoveu redução no teor de formaldeído livre dos novos painéis, obtendo o valor médio de até 4,6 mg/100g, o que corresponde a redução de 21% da emissão. Todos os painéis foram enquadrados como E2 em emissão (8 – 30 mg/100g), classe usual no mercado consumidor interno para painéis MDP e MDF.

Protásio et al. (2015) avaliaram a estabilidade térmica de painéis aglomerados produzidos com distintas porcentagens de bagaço de cana-de-açúcar em associação com a madeira de *Pinus spp.* e diferentes teores de adesivo ureia-formaldeído, visando compreender melhor a degradação térmica desses painéis quando submetidos a situações de calor intenso. Os autores observaram que, independentemente da quantidade de adesivo utilizada, o acréscimo de bagaço de cana e, conseqüentemente, o decréscimo da madeira de *Pinus spp.*, resultou na diminuição da estabilidade térmica dos painéis aglomerados. Quanto ao efeito do aumento do teor de adesivo na manufatura dos painéis, notou-se que há uma tendência de diminuição da temperatura e de pico e aumento da perda de massa para o principal estágio de degradação, principalmente quando se compararam os painéis produzidos com 6% e 12% de adesivo ureia-formaldeído.

Contudo, apesar dos painéis aglomerados de bagaço de cana apresentarem grande potencial de utilização, alguns problemas ainda são enfrentados, como os maiores valores de absorção de água e inchamento em espessura que os painéis produzidos em escala industrial no Brasil com a madeira de eucalipto, o que, em alguns tipos de utilização, pode vir a se tornar um problema (MENDES, 2008). Sendo assim, é necessária a busca por alternativas viáveis para controlar estas variáveis a fim de aumentar a gama de utilizações destes painéis. Dentre as possíveis alternativas para melhorar a estabilidade dimensional dos painéis aglomerados de bagaço de cana, pode-se citar o tratamento térmico.

## **2.6 Tratamento térmico**

Tratamento térmico é o conjunto de operações de aquecimento e resfriamento a que são submetidos os materiais, sob condições controladas de temperatura, tempo, atmosfera e velocidade de resfriamento, com o objetivo de alterar as suas propriedades e conferir-lhes características específicas (KOCAEFE et al., 2007).

Segundo Oumarou, Kocaefe e Kocaefe (2015), houve desenvolvimento de vários processos de tratamento térmico na Europa desde 1990, como o ThermoWood na Finlândia (VIITANIEMI et al., 1995), Bois-Perdure na França (WEILAND; GUYONNET, 1997) e

Plato-Wood na Holanda (BOONSTRA; TJEERDSMA; GROENEVELD, 1998; TJEERDSMA et al., 1998).

No Brasil, alguns estudos têm sido realizados com intuito de avaliar o efeito do tratamento térmico nas propriedades dos materiais lignocelulósicos. Na madeira sólida, pode-se afirmar que o tratamento térmico é uma técnica capaz de reduzir a higroscopicidade, melhorando a estabilidade dimensional, além de aumentar a durabilidade natural (ARAÚJO et al., 2012; DEL MENEZZI et al., 2009; HAKKOU et al., 2006; MENDES et al., 2013a, 2013b; STAMM; BURR; KLINE, 1946).

No caso dos painéis, os tratamentos com calor podem ser classificados em três grupos: 1) Pré-tratamento - antes da prensagem, 2) Aplicação do calor durante a prensagem, que afeta a cura do adesivo, e 3) Pós-tratamento térmico - tratamentos dos painéis após a prensagem (SEKINO; INOUE; IRLE, 1998). O benefício do pré-tratamento está relacionado à degradação química dos constituintes das partículas, o que promove a redução da higroscopicidade e, por consequência, a diminuição da absorção de água e do inchamento em espessura. Enquanto que, no pós-tratamento, a melhoria da estabilidade dimensional é obtida, principalmente, pela liberação das tensões de compressão (MENDES, 2010c).

As alterações na composição química do material lignocelulósico, quando tratado termicamente, podem explicar muitas das alterações observadas em diversas de suas propriedades. Assim, quando o material é aquecido, ocorrem mudanças na natureza de seus componentes (celulose, hemicelulose, lignina e extrativos), sobretudo as hemiceluloses (ou polioses) que são, dentre eles, os mais sensíveis à ação do calor (HILLIS, 1984).

O efeito mais importante do tratamento térmico em materiais lignocelulósicos é a redução de grupos hidroxílicos (grupos OH) e, subsequente à formação de produtos de condensação hidrofóbicos. O grau de modificação térmica depende dos parâmetros de tratamento, sendo eles a temperatura e duração do tratamento, bem como sobre o processo de modificação (BONIGUT; KRUG; STUCKENBERG, 2014). Até o momento, não foi encontrado na literatura, o efeito do pré-tratamento térmico sobre as propriedades de painéis aglomerados de bagaço de cana, no entanto o pós-tratamento térmico se mostrou bastante promissor (CARVALHO et al., 2015).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 Coleta da matéria-prima**

O bagaço de cana-de-açúcar foi coletado na Cachaçaria Bocaina, localizada na cidade de Lavras-MG, sendo posteriormente encaminhado para a Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira – UEPAM, localizada na Universidade Federal de Lavras – UFLA. Não foi realizado nenhum tipo de lavagem ou tratamento do material.

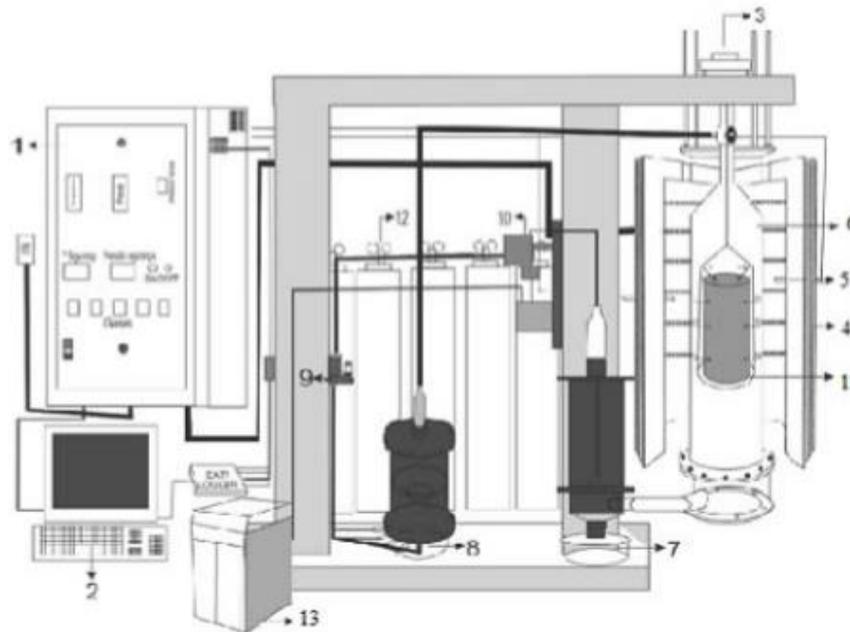
O bagaço de cana foi inicialmente triturado em um moinho do tipo martelo, com peneira com abertura de 6 mm para a geração das partículas, que foram posteriormente armazenadas em uma sala de climatização com temperatura de  $22\pm 2^{\circ}\text{C}$  e umidade relativa de  $65\pm 5\%$ , até atingir massa constante.

#### **3.2 Tratamento térmico das partículas**

As partículas de bagaço de cana, que estavam previamente climatizadas, foram tratadas termicamente nas temperaturas de  $170^{\circ}\text{C}$ ,  $200^{\circ}\text{C}$  e  $230^{\circ}\text{C}$  em um forno Macro ATG (Figura 2), com taxa de aquecimento de  $10^{\circ}\text{C}/\text{min}$  e com atmosfera controlada com nitrogênio. As partículas (Figura 3) foram colocadas no cilindro de alumínio contendo termopares que controlaram a temperatura no material, e esse cilindro foi posicionado dentro do forno. Depois de fechado, o forno foi ligado por um sistema no computador que deu início ao aquecimento. Ao chegar à temperatura desejada ( $170$ ,  $200$  ou  $230^{\circ}\text{C}$ ), o tratamento térmico foi iniciado, tendo a duração de 1 hora. O tempo para o resfriamento do forno dependeu da temperatura colocada, e quando o forno atingiu a temperatura de  $60^{\circ}\text{C}$ , houve a retirada das partículas. O forno Macro ATG utilizado, foi desenvolvido pelo Centro de Pesquisa Agrícola Francês para o Desenvolvimento Internacional (CIRAD - França) em parceria com a Universidade Federal de Lavras – UFLA.

Após o tratamento térmico nas três diferentes temperaturas ( $170^{\circ}\text{C}$ ,  $200^{\circ}\text{C}$  e  $230^{\circ}\text{C}$ ) as partículas voltaram para a sala de climatização.

Figura 2 - Layout do equipamento piloto de pirólise – forno Macro ATG.



**Legenda:**

- |                              |                                  |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1- Painel de controle        | 8- Misturador de gases           |
| 2- Aquisição de dados        | 9- Fluxômetros                   |
| 3- Célula de carga – balança | 10- Regulador de pressão e vazão |
| 4- Forno                     | 11- Cadinho                      |
| 5- Regulação e segurança     | 12- Cilindro de gases            |
| 6- Reator de pirólise        | 13- Cromatógrafo                 |
| 7- Condensador               |                                  |

Fonte: Silva de Jesus (2015).

Figura 3 - Partículas antes (a) e após (b) o tratamento térmico.



### 3.3 Caracterização da matéria-prima

#### 3.3.1 Caracterização morfológica

Para a medição das dimensões das fibras foi produzido um macerado com o bagaço de cana sem e com os diferentes níveis de tratamento térmico. As amostras foram cobertas com

uma solução composta de ácido acético glacial e peróxido de hidrogênio na proporção de 5:1 e deixadas em estufa a 60°C, por período de 24 horas, para a obtenção do macerado. Posteriormente, foram preparadas lâminas histológicas com as fibras. As dimensões das fibras (espessura da parede e diâmetro do lume) foram obtidas através do *software* Image-pro Plus, que realizou a mensuração das imagens obtidas pelo microscópio Olympus BX51 (Japan) equipado com câmera e monitor de vídeo. O coeficiente de flexibilidade foi calculado com a relação do diâmetro do lúmen e a largura das fibras.

### 3.3.2 Caracterização química

Para a análise dos constituintes químicos do bagaço de cana, sem e com tratamento térmico nos diferentes níveis, foi utilizado o material que passou pela peneira de 40 mesh e ficou retido na peneira de 60 mesh. O material foi acondicionado na temperatura de  $22 \pm 2$  °C e umidade relativa de  $65 \pm 5\%$  até a obtenção de massa constante. Foram determinados os teores de lignina - NBR 7989 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2010a), extrativos totais - NBR 14853 (ABNT, 2010b), cinzas - NBR 13999 (ABNT, 2003b) e o teor de holocelulose, que foi determinado de acordo com a metodologia apresentada por Browning (1963). Em seguida, a partir da holocelulose, o teor de celulose (base massa de holocelulose) foi obtido pela metodologia proposta por Kennedy, Phillips e Williams (1987). A diferença entre os valores de holocelulose e de celulose fornecerá os teores de hemiceluloses.

### 3.3.3 Caracterização física

A determinação da umidade foi realizada sem e com tratamento térmico, onde as partículas de bagaço de cana, previamente climatizadas (temperatura de  $22 \pm 2$  °C e umidade relativa de  $65 \pm 5\%$ ), foram colocadas em placas de petri e pesadas primeiramente para a determinação da massa úmida, e depois colocadas em estufa a 105°C por 24h para a determinação da massa seca, que foi calculada de acordo com a Equação 1.

$$U = (M_u - M_s / M_s) * 100 \quad (1)$$

Onde:

U = umidade (%);

Mu = massa úmida (g);

Ms = massa seca (g).

No cálculo da densidade básica das partículas, foram utilizadas as diretrizes da norma NBR 11941 (ABNT, 2003a), porém com adaptações, onde as amostras foram colocadas em imersão com água até a saturação total das partículas. Em seguida, foi calculado o volume imerso em água de cada corpo de prova e então levados para uma estufa de circulação forçada de ar na temperatura de  $105^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , até que atingissem massa constante, obtendo assim a sua massa seca. A densidade foi calculada pela relação de massa seca pelo volume saturado das amostras.

### 3.4 Produção dos painéis

As partículas, com e sem tratamento térmico, foram classificadas para posteriormente serem utilizadas na produção dos painéis MDP. Nas faces do painel MDP as partículas utilizadas foram as que passaram pela peneira com abertura de 40 mesh e ficaram retidas na peneira de 60 mesh. Para o miolo foram utilizadas partículas que passaram pela peneira de 12 mesh e ficaram retidas na peneira de 20 mesh.

Foram produzidos três painéis (repetições) por tratamento, totalizando 9 painéis tratados termicamente e 3 painéis sem tratamento térmico (Tabela 1).

Tabela 1 - Plano experimental

Tratamentos	Tratamento Térmico das Partículas( $^{\circ}\text{C}$ )
1	Controle
2	170
3	200
4	230

Os painéis foram produzidos com densidade nominal de  $0,70 \text{ g/cm}^3$ , dimensões de 30 x 30 x 1,5 cm (Comprimento, largura e espessura, respectivamente) e com uma distribuição percentual das partículas de 20/60/20 (face/miolo/face). A aplicação do adesivo nas partículas do miolo e das faces de cada painel foi realizada de forma separada. Foi utilizado o adesivo ureia-formaldeído (teor de sólidos 64,5%, viscosidade de 1228 cP e pH de 8,02), sendo utilizados 11% de adesivo nas faces e 7% de adesivo no miolo.

Após a determinação da massa das partículas que iriam compor cada camada do painel, as mesmas foram levadas a um tambor rotativo para a aplicação do adesivo por meio do processo de aspersão. A massa de cada camada gerada, após a aplicação do adesivo e determinação em balança, foi levada para uma caixa formadora de colchão, onde foram distribuídas as camadas (face/miolo/face). O colchão formado foi então pré-prensado em prensa manual à temperatura ambiente a uma pressão de 0,4 MPa. Posteriormente à formação do colchão, foi colocado delimitadores de metal com espessura de 15 mm, sendo então prensados a quente, com 160°C de temperatura, pressão de 3,94 MPa e por tempo de oito minutos.

Estes painéis foram acondicionados em sala de climatização com temperatura de 22±2°C e umidade relativa de 65±5%. Os painéis foram esquadrejados em serra circular para retirada das bordas, sendo posteriormente cortados para a retirada dos corpos de prova.

### **3.5 Caracterização dos painéis produzidos**

#### **3.5.1 Propriedades físicas e mecânicas**

Para a avaliação das propriedades físicas de absorção de água após 2 e 24 h de imersão (AA2h e AA24h) e inchamento em espessura após 2 e 24 h de imersão (IE2h e IE24h), e para a propriedade mecânica de ligação interna foi empregada a norma ASTM - D1037 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, 2006). Para as demais propriedades mecânicas, módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática, foi empregada a norma DIN 52362 (NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ, 1982). A densidade aparente dos painéis foi determinada com a média da densidade de cada um dos corpos de prova utilizados na avaliação das propriedades físicas e mecânicas.

#### **3.5.2 Microscopia eletrônica de varredura**

Para avaliar a interação entre as partículas foi utilizado o microscópio eletrônico de varredura modelo LEO EVO 40 XVP Zeiss, que se encontra no Departamento de Fitopatologia da UFLA, visando obter imagens. Para esta avaliação foi utilizado um fragmento representativo das amostras já ensaiadas no teste de ligação interna com o intuito de observar a interface entre as partículas.

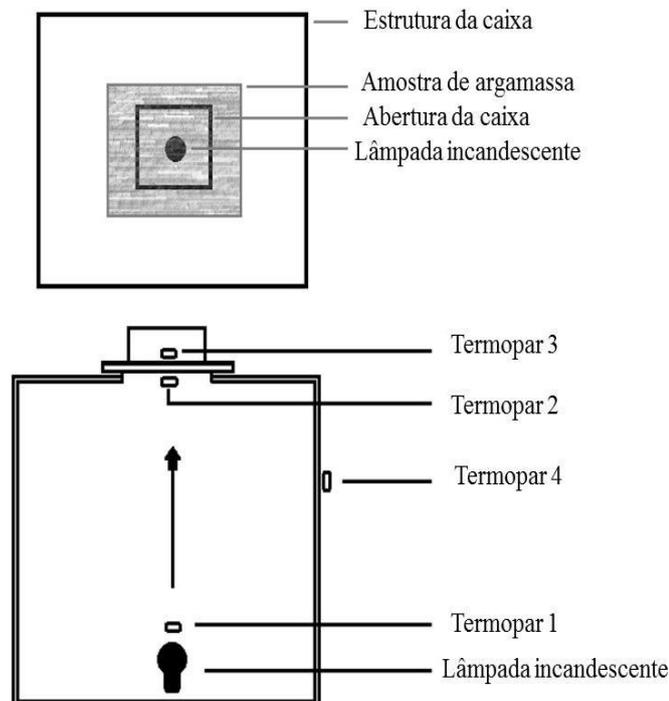
### 3.5.3 Transmissão térmica

Para o ensaio de transmissão térmica foi utilizado um equipamento advindo de uma adaptação do método da coluna fracionada modificado e avaliado por Bertolini (2014). O equipamento que foi utilizado para o ensaio é composto por painéis de madeira reconstituída e para vedação foram utilizadas placas de isopor de 15 mm de espessura, manta aluminizada do modelo Freshfoil Premium e fita adesiva aluminizada (Figura 4) (CARVALHO, 2012). Para o aquecimento do equipamento utiliza-se uma lâmpada incandescente com temperatura controlável.

Neste método de ensaio, considerando-se as perdas de calor lateral, o isolamento é obtido quando a estabilidade é atingida, as temperaturas são registradas por sensores através de um equipamento Data Collector, modelo IM DC 100-01E. Os painéis foram posicionados no equipamento e o ensaio foi realizado simulando a exposição do material à temperatura em torno de 50°C. A razão de aquecimento foi de 1 °C/min. e o ciclo de ensaio para cada tratamento de 3,5 horas.

O ensaio forneceu os valores da temperatura na base do padrão (lâmpada incandescente) e temperaturas na base e no topo do corpo-de-prova obtidas pelos termopares. O resultado de isolamento térmico do material foi obtido pela diferença do termopar 2 pelo termopar 3 (Figura 4).

Figura 4 - Esquema do equipamento utilizado para teste de isolamento térmico.



Fonte: Vilela (2016).

### **3.6 Análise dos resultados**

A análise dos resultados foi feita através de um delineamento inteiramente casualizado. Para avaliar as variações das propriedades físico-mecânicas dos painéis e as propriedades físicas, químicas e anatômicas do bagaço de cana com e sem tratamento térmico, os resultados foram submetidos à análise de variância e teste de Scott-Knott, ambos a 5% de significância.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização morfológica

Os valores médios para caracterização morfológica das partículas de bagaço de cana tratadas e não tratadas termicamente estão apresentadas na Tabela 2. Não houve efeito significativo do tratamento térmico sobre a espessura da parede celular e diâmetro do lúmen das partículas de bagaço de cana. Para a espessura da parede, foram encontrados valores variando entre 4,53 a 5,30 $\mu\text{m}$  e para o diâmetro do lúmen os valores variaram de 11,26 a 16,45 $\mu\text{m}$ .

Tabela 2 - Características anatômicas das partículas de bagaço de cana tratadas termicamente.

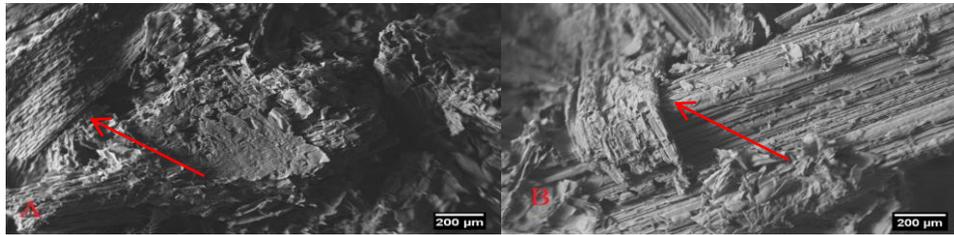
Tratamento térmico	Espessura da parede	Diâmetro do lúmen	Coeficiente de Flexibilidade
	$\mu\text{m}$		
Sem tratamento	5,30 (1,18) A	13,93 (6,65) A	56,77
170°C	4,79 (1,18) A	16,45 (8,00) A	63,17
200°C	5,13 (1,13) A	11,26 (5,71) A	52,33
230°C	4,53 (1,06) A	12,21 (5,09) A	57,38

\*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de média Scott-knott, a 5% de significância.

Os coeficientes de flexibilidade mensurados apresentaram-se em valores percentuais acima de 50%, indicando que as fibras da matéria-prima estudada são flexíveis e, conseqüentemente, são capazes de realizar maiores quantidades de interações físico-químicas entre si (SANTOS, 2014), conforme pode ser visto na Figura 5. Não houve um efeito direto do nível de tratamento térmico sobre o coeficiente de flexibilidade.

Triana et al. (1990) e Van Dillewijn (1975), afirmam que a espessura da parede da fibra de bagaço de cana variam de 1-4  $\mu\text{m}$ . Santos (2014) ao avaliar as fibras de bagaço de cana obteve valores médios de 4,41 a 6,29  $\mu\text{m}$  para a espessura da parede, de 11,10 a 14,24 $\mu\text{m}$  para o diâmetro do lúmen e de 53,08 e 55,72% para o coeficiente de flexibilidade. Valores esses próximos aos obtidos nesse estudo.

Figura 5 - Interação entre as partículas de bagaço de cana após a produção dos painéis aglomerados. A) Painéis sem tratamento térmico B) Painéis com as partículas tratadas termicamente a 230°C.



## 4.2 Caracterização química

Os valores médios da caracterização química das partículas tratadas e não tratadas termicamente estão apresentadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Caracterização química das partículas de bagaço de cana tratadas termicamente.

Tratamento Térmico	Extrativos	Lignina	Cinzas	Celulose	Hemicelulose	Holocelulose
	%					
Sem tratamento	17,03(1,89)A	20,30(1,70)A	0,59(0,03)C	35,73(1,84)A	27,38(0,59)B	63,12(1,24)B
170°C	24,18(1,97)B	27,25(0,95)C	0,25(0,04)A	30,61(0,82)A	18,83(0,35)A	49,45(1,17)A
200°C	22,20(4,31)B	24,55(0,45)B	0,38(0,01)B	31,40(2,29)A	21,04(2,42)A	52,45(4,71)A
230°C	14,35(1,94)A	30,50(1,30)D	0,59(0,03)C	33,86(2,77)A	21,73(4,77)A	55,60(2,00)A

\*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de média Scott-Knott, a 5% de significância.

Observa-se que o tratamento térmico promoveu redução significativa dos valores de holocelulose e hemicelulose em todos os níveis de tratamento térmico. Não houve diferença significativa entre os níveis de tratamento térmico sobre os teores de holocelulose e hemicelulose. A diminuição da holocelulose está associada diretamente à redução significativa da hemicelulose, uma vez que não houve efeito do tratamento térmico sobre a quantidade de celulose. A maior estabilidade da celulose em relação às hemiceluloses é atribuída à sua alta ordenação na estrutura cristalina e à presença de microfibrilas que protegem a cadeia contra o ataque de ácidos durante a hidrólise (BRITO et al., 2008; MENDES et al., 2013a, 2013b; SILVA, 2012; STAMM; BURR; KLINE, 1946).

Houve um aumento significativo dos valores de lignina, sendo o maior valor médio obtido para as partículas de bagaço de cana tratadas a 230°C. Durante o processo de tratamento térmico, a ligeira elevação da porcentagem de lignina dá-se devido à degradação das hemiceluloses e celulose. De acordo com Brito et al. (2008), as hemiceluloses são as primeiras afetadas no tratamento térmico devido à redução no conteúdo de xilose, arabinose, galactose e manose, por meio de hidrólise ácida. A degradação inicia-se pela desacetilação das hemiceluloses, seguida por despolimerização dos polissacarídeos, catalisada pela liberação do ácido acético.

Figuerola e Morais (2009), descrevendo o comportamento da madeira a temperaturas elevadas, afirmam que a degradação térmica da hemicelulose ocorre entre 160 e 260°C, cujo componente é o primeiro carboidrato da madeira a se degradar, devido à sua estrutura heterogênea, à natureza não cristalina de sua estrutura e ao seu baixo peso molecular em relação aos outros polímeros da madeira. A degradação térmica da celulose ocorre a temperaturas entre 200 e 280°C, com uma degradação progressiva que inclui despolimerização e desidratação. A lignina é termicamente mais resistente que os demais carboidratos que compõem a madeira, sua degradação térmica está situada entre 225 e 450 °C, e ocorre na presença de reações exotérmicas.

O bagaço de cana tratado termicamente nas temperaturas de 170 e 200°C obtiveram igualdade estatística e os maiores valores de extrativos e os menores de cinzas, quando comparado com o bagaço de cana sem tratamento térmico e tratado termicamente na temperatura de 230°C. Não houve efeito significativo da quantidade de extrativos e de cinzas quando comparado o bagaço de cana sem tratamento térmico com aquele tratado termicamente na temperatura de 230°C.

Sabe-se que em temperaturas a partir de 150°C, ocorrem a volatilização de extrativos de madeiras e fibras em geral. Acima dessa temperatura, iniciam-se a quebra de ligações químicas de produtos menos instáveis, levando a formação de ácido acético, ácido fórmico, metanol, CO e CO<sub>2</sub>. Contudo, no presente estudo, observou-se aumento da quantidade de extrativos com o tratamento térmico nas temperaturas de 200 e 230°C. Esteves, Graça e Pereira (2008) e Hakkou et al. (2006), também observaram aumento significativo da quantidade de extrativos com o aumento da temperatura de tratamento térmico em madeiras. Os autores afirmam que, para a madeira de *Beech*, a quantidade de extrativos atinge um pico ao redor de 240°C e reduz com o aumento da temperatura. O motivo está relacionado com a degradação dos polissacarídeos, os quais acabam sendo quantificados na análise de extrativos.

No caso do bagaço de cana desse estudo, percebe-se que ocorreu aumento da quantidade de extrativos até a temperatura de 170°C, seguido da redução dos valores médios.

Protásio et al. (2015) estudando a estabilidade térmica de painéis aglomerados de bagaço de cana e madeira de *Pinus* spp. em sua análise química, encontraram valores médios de 71,11% de holocelulose, 15,72% de lignina, 12,46% de extrativos e 0,71% de cinzas.

Guimarães et al. (2009) ao avaliarem diferentes tipos de fibras vegetais obtidas no Brasil, obtiveram para o bagaço de cana valores médios de 71,39% para holocelulose, 54,87% de celulose, 16,52% de hemicelulose, 23,33% de lignina e 2,75% de cinzas.

Philippini (2012) avaliou a composição química de diferentes variedades de bagaço de cana-de-açúcar. O autor observou valores de 38,96 a 42,80% para celulose, 23 a 25,37% para hemicelulose, 33,20 a 34,15% de lignina, 9,03 a 11,07% de extrativos e 0,62 a 0,80% de cinzas.

De forma geral, os valores obtidos para a composição química do bagaço de cana utilizado nesse estudo apresentaram-se próximos aos valores encontrados na literatura.

### 4.3 Propriedades físicas

Os valores médios de densidade básica, teor de umidade das partículas tratadas e não tratadas termicamente e da perda de massa estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4 - Densidade básica, umidade e perda de massa das partículas de bagaço de cana tratadas termicamente.

<b>Tratamento térmico</b>	<b>Densidade básica (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Umidade (%)</b>	<b>Perda de massa (%)</b>
Sem tratamento	0,166 (0,010) A	12,7 (0,3)D	-
170°C	0,177 (0,010) A	8,5 (0,7) C	4.81 A
200°C	0,146 (0,006) B	5,4 (0,6) B	7.99 B
230°C	0,154 (0,007) B	4,7 (0,2) A	12.19 C

\*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de média Scott-knott, a 5% de significância.

Houve redução significativa da densidade básica das partículas de bagaço de cana quando estas foram tratadas termicamente nas temperaturas de 200 e 230°C. Fato explicado pela degradação química das partículas de bagaço de cana, principalmente das hemiceluloses (Tabela 3) e pelo conseqüente aumento significativo da perda de massa observada nessas temperaturas e diminuição da umidade (Tabela 4). Outro fator que contribuiu para a diminuição da densidade foi a contração volumétrica do material lignocelulósico após

tratamento térmico, uma vez que a diminuição dos grupamentos OH (hidroxila) disponíveis para adsorção das moléculas de água, pode proporcionar aproximação das microfibrilas de celulose (VITAL; TRUGILHO, 1997).

Mendes et al. (2012) ao avaliarem a utilização do bagaço de cana para produção de painéis aglomerados, encontraram valor médio de densidade básica do bagaço de 0,098 g/cm<sup>3</sup>. Enquanto que Barros Filho (2009) obteve valor médio de 0,096 g/cm<sup>3</sup> para o bagaço de usina e 0,099 g/cm<sup>3</sup> para o bagaço de alambique. Os valores obtidos nesse estudo se mostraram acima dos valores encontrados na literatura.

Houve diferença significativa entre todos os níveis de temperatura de tratamento térmico quando avaliada a perda de massa das partículas, sendo maior a perda de massa quanto maior o nível de temperatura. A perda de massa relaciona-se diretamente com a degradação dos constituintes químicos do material lignocelulósico, principalmente a hemicelulose que, devido à sua estrutura amorfa, é o menos estável termicamente (CONTE et al., 2014). Vital et al. (2014) ao avaliarem o tratamento térmico da madeira de pinus nas temperaturas de 180, 200 e 220°C por período de 15 minutos para produção de painéis aglomerados, observaram perda de massa das partículas 3,37 a 10,56%, sendo maior a perda de massa quanto maior foi a temperatura de tratamento térmico.

Para a umidade das partículas, se observou diferença estatística entre todos os tratamentos, promovendo uma diminuição dos valores médios à medida que se aumentou o nível de temperatura de tratamento térmico. O decréscimo do teor de umidade de equilíbrio das partículas pode ter sido proporcionado pela redução da acessibilidade aos grupos hidrofílicos livres, os quais são resultados da degradação hemicelulose e apresentam menor higroscopicidade (TJEERDSMA et al., 1998; TJEERSMA; MILITZ, 2005).

Winandy e Krzysik (2007), trataram termicamente painéis MDF nas temperaturas de 180, 200 e 220°C e detectaram a redução de arabinana e galactana, ambos componentes da cadeia lateral das hemiceluloses. Manana, o qual é um componente chave da cadeia principal das hemiceluloses também foi afetado, porém em menor proporção. Segundo os autores, estas mudanças na hemicelulose parecem reduzir a higroscopicidade das fibras. Isto por sua vez inibe a sorção de umidade, que eventualmente conduz a absorção de água, o inchamento em espessura e influencia na perda adicional de propriedades mecânicas dos painéis.

A norma de comercialização EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993) estipula como valores adequados de umidade dos painéis a faixa de 5 a 13%. Sendo assim, apenas os painéis produzidos com o bagaço de cana tratado

termicamente a 230°C apresentaram valor médio de umidade abaixo da faixa normalmente obtida para painéis de madeira.

#### 4.4 Caracterização dos painéis produzidos, densidade aparente e razão de compactação

Os valores médios de densidade aparente e razão de compactação dos painéis MDP encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Densidade aparente e razão de compactação dos painéis de bagaço de cana produzidos com partículas tratadas termicamente.

<b>Tratamento térmico</b>	<b>Densidade aparente (g/cm<sup>3</sup>)</b>	<b>Razão de compactação</b>
Sem tratamento	0,709 (0,01) A	4,27 (0,05) A
170°C	0,668 (0,05) A	3,77 (0,29) A
200°C	0,664 (0,05) A	4,55 (0,35) A
230°C	0,670 (0,05) A	4,35 (0,41) A

\*Médias seguidas de mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente pelo teste de média Scott-knott, a 5% de significância.

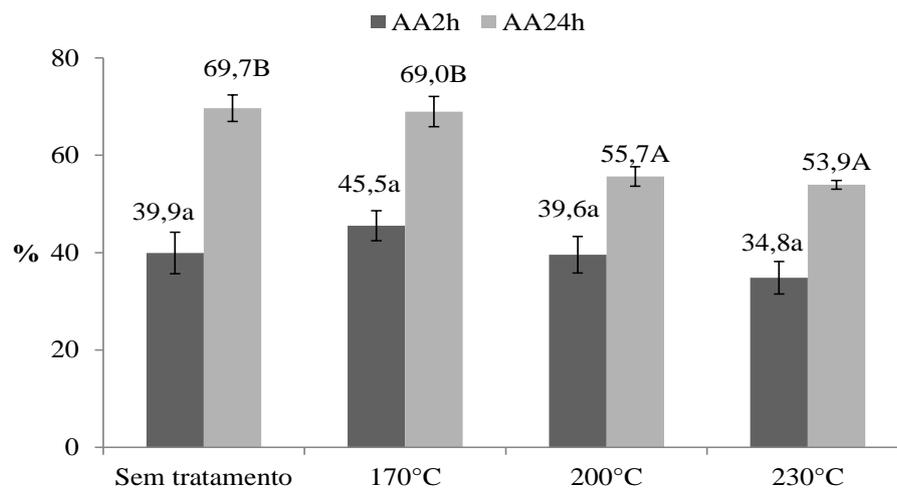
Não foi observado efeito significativo do tratamento térmico das partículas de bagaço de cana sobre a densidade aparente e razão de compactação dos painéis. Os valores médios da densidade aparente variaram de 0,709 a 0,664 g/cm<sup>3</sup>, o que caracteriza os painéis como média densidade aparente, de acordo com a classificação da ABNT (2006) e AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - ANSI (2009) que estabelecem intervalo de 0,55 à 0,75 g/cm<sup>3</sup> e 0,64 à 0,80 g/cm<sup>3</sup>, respectivamente.

A razão de compactação dos painéis produzidos com bagaço de cana sem e com tratamento térmico variou entre 3,77 a 4,55. Valores esses coerentes com os obtidos em literatura para painéis aglomerados produzidos com resíduos agrícolas. Mendes et al. (2010), ao avaliarem o efeito da associação de bagaço de cana com madeira de eucalipto e com diferentes teores e tipos de adesivos para produção de painéis aglomerados, obtiveram valores de razão de compactação na faixa de 1,39 a 3,07. Scatolino et al. (2013) ao avaliarem a utilização de sabugo de milho para produção de painéis aglomerados, obtiveram valores de razão de compactação na faixa de 1,4 a 3,9. Silva et al. (2015) ao avaliarem o uso de palha de milho para produção de painéis aglomerados, obtiveram valores de razão de compactação entre 1,34 a 4,10.

#### 4.4.1 Absorção de água

Os valores médios de absorção de água dos painéis MDP após duas horas de imersão (AA2h) e após vinte e quatro horas de imersão (AA24h), para cada tratamento, estão apresentados na Figura 6.

Figura 6 - Absorção de água dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana tratadas termicamente.



\*Médias seguidas de mesma letra, minúscula para AA2h e maiúscula para AA24h, não diferem estatisticamente pelo teste de média Scott-knott, a 5% de significância.

Observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos para a propriedade AA2h. Para AA24h, os painéis produzidos com partículas tratadas termicamente nas temperaturas de 200 e 230°C se mostraram iguais estatisticamente e diferenciaram-se dos demais tratamentos, obtendo os menores valores médios. Não houve diferença estatística entre os painéis produzidos com as partículas tratadas termicamente na temperatura de 170°C e os painéis produzidos com as partículas de bagaço de cana sem tratamento térmico.

A diminuição da AA24h dos painéis produzidos com as partículas modificadas termicamente nas temperaturas de 200 e 230°C, em relação ao tratamento controle, foram de 20,09% e 22,67%, respectivamente. Tjeerdsma e Militz (2005) afirmam que a diminuição da higroscopicidade se deve à redução na acessibilidade de grupos hidroxílicos livres (sítios de adsorção) e a formação de polímeros de furfural, que são o resultado da degradação do açúcar (hemicelulose) e são menos higroscópicos. A diminuição da higroscopicidade das partículas de bagaço de cana foi observada no teste de umidade das partículas (Tabela 4) e está diretamente relacionado com a diminuição das hemiceluloses (Tabela 3), o componente mais higroscópico da parede celular de fibras vegetais.

Vernois (2001) também observou que tratamentos térmicos acima de 200 °C tornam a superfície da madeira parcialmente hidrofóbica, de maneira que a absorção fique mais lenta em relação à de uma madeira não tratada. De acordo com o autor, isso acontece porque a energia superficial da madeira é afetada pela temperatura, reduzindo a sua molhabilidade.

Carvalho et al. (2015) avaliaram o pós-tratamento térmico em painéis MDP produzidos com bagaço de cana em escala comercial e observaram que houve diminuição de absorção de água nos painéis que foram tratados termicamente na temperatura de 260°C em relação ao tratamento controle. Os valores obtidos para AA2h e AA24h variaram nas faixas de 7,1 a 11,2% e de 28,5 a 33,9%, respectivamente.

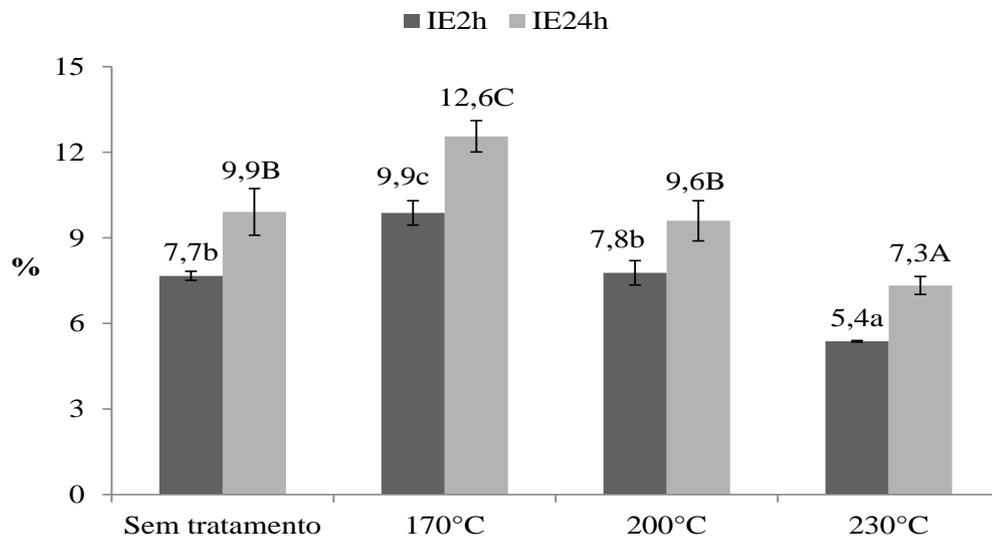
Mendes et al. (2012) avaliando o efeito da associação de bagaço de cana em painéis aglomerados com madeira de *Pinus ssp* em diferentes porcentagens observaram que para AA2h e AA24h, os valores médios aumentaram à medida que se aumentou a porcentagem de bagaço de cana (25, 50 e 75%), sendo obtido valores médios de 32,07; a 54,09% para AA2h e de 49,82 a 64,17% para AA24h. Mendes et al. (2012) avaliaram diferentes tipos de resíduos agrícolas e florestais para a produção de painéis aglomerados e observaram valores para a AA2h e AA24h de 12,6% e 60,6%, respectivamente, para os painéis produzidos com bagaço de cana.

De forma geral, os valores obtidos para a absorção de água dos painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana tratado termicamente, apresentaram-se próximos aos valores encontrados na literatura.

#### **4.4.2 Inchamento em espessura**

Os valores médios de inchamento em espessura dos painéis MDP após duas horas de imersão em água (IE2h) e após vinte e quatro horas de imersão em água (IE24h), para cada tratamento, estão apresentados na Figura 7.

Figura 7 - Inchamento em espessura dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana tratadas termicamente.



\*Médias seguidas de mesma letra, minúscula para IE2h e maiúscula para IE24h, não diferem estatisticamente pelo teste de média Scott-knott, a 5% de significância.

Os painéis produzidos com as partículas de bagaço de cana tratadas termicamente na temperatura de 230°C diferenciaram-se estatisticamente dos demais tratamentos, quando avaliadas as propriedades IE2h e IE24h, obtendo os menores valores médios. A explicação para o aumento da estabilidade dimensional dos painéis, está associada à redução das hemiceluloses e de parte da região amorfa da celulose, que em decorrência disso, promove a diminuição dos grupos hidroxilas e dos sítios de absorção de água, bem como a aproximação das microfibrilas de celulose, proporcionando assim menor absorção de água e por consequência menor inchamento em espessura da parede celular e aumento da estabilidade dimensional (KELLY, 1977; REPELIN; GUYONNET, 2005; VITAL; TRUGILHO, 1997).

Contudo, o tratamento térmico na temperatura de 200°C não proporcionou diferenciação estatística em relação aos painéis controle. Enquanto os painéis com as partículas tratadas termicamente na temperatura de 170°C obtiveram diferença estatística em relação aos painéis controle, obtendo os maiores valores médios de IE2h e IE24h. O aumento do inchamento em espessura está associado com a diminuição da colagem das partículas, conforme pode ser visualizada no teste de ligação interna (Figura 8), e está associado com o arraste de extrativos para a superfície das partículas e inibição da cura do adesivo.

Vital et al. (2014) ao avaliarem o tratamento térmico da madeira de pinus nas temperaturas de 180, 200 e 220°C por período de 15 minutos para produção de painéis aglomerados, observaram valores de IE2h variando entre 14,9 a 26,5% e de IE24h variando

entre 18,1 a 30,5%. Sendo observado, assim como nesse estudo, diminuição dos valores médios de inchamento com o aumento da temperatura de tratamento térmico.

Carvalho et al. (2015) ao avaliarem o efeito do pós-tratamento térmico, nas temperaturas de 200, 230 e 260°C por períodos de 8 e 12 minutos, em painéis MDP de bagaço de cana produzidos em escala industrial, observaram valores de IE2h entre 3,9 a 5,9% e de IE24h entre 6,1 a 13,1%. Os autores ainda observaram diminuição significativa dos valores médios de inchamento dos painéis com o aumento da temperatura de pós-tratamento térmico.

Barros Filho et al. (2011), avaliando a qualidade de painéis aglomerados com bagaço de cana em associação com a madeira de eucalipto e pinus e utilizando adesivos ureia-formaldeído e melamina-formaldeído, obtiveram valores médios variando entre 7,0 a 26,5% para o IE2h e de 16,3 a 36,2% para o IE24h. Tabarsa, Ashori e Gholamzadeh (2011), ao avaliarem o potencial de bagaço como matéria-prima alternativa para a fabricação de painéis, obtiveram valores de IE2h entre 15,1 a 18,1% e para o IE24h entre 22,6 a 24,5%.

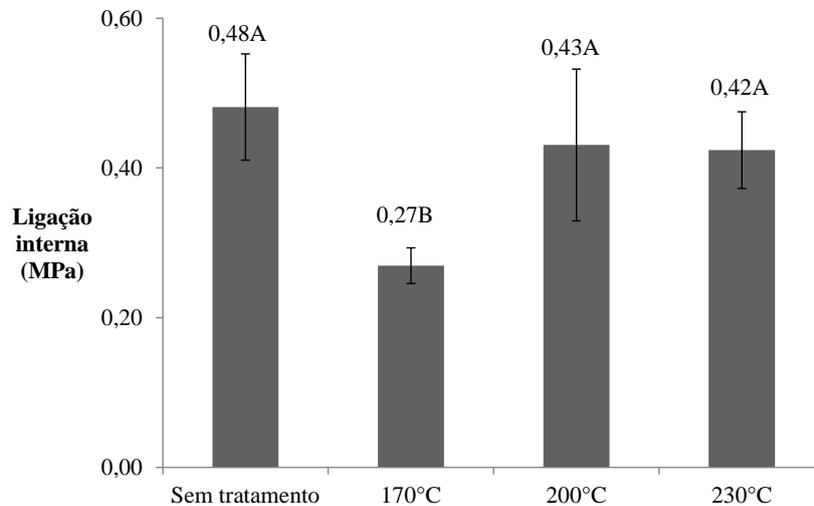
De forma geral, os valores obtidos para inchamento em espessura, dos painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana tratado termicamente, apresentaram-se próximos aos valores encontrados em literatura.

Em comparação com as normas de comercialização, todos os tratamentos atenderam à norma EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993), que estipula o valor máximo de 14% para o IE24h. Enquanto que em relação às normas NBR 14810-2 (ABNT, 2013) e ANSI A208.1 (AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - ANSI, 1999), que determinam o valor máximo de 8% para o IE24h, apenas os painéis produzidos com as partículas de bagaço de cana tratadas termicamente na temperatura de 230°C atenderam ao requisito. Fato que demonstra o grande potencial de utilização do tratamento térmico para a produção de painéis aglomerados com bagaço de cana.

#### **4.4.3 Ligação interna**

Os valores médios de Ligação interna (LI), para cada tratamento, estão apresentados na Figura 8.

Figura 8 - Ligação interna dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana tratadas termicamente.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de média Scott-knott, a 5% de significância.

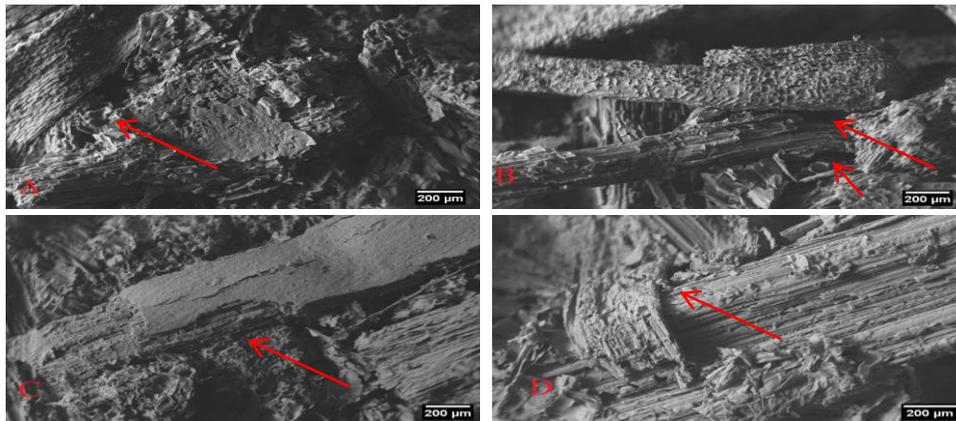
Os painéis produzidos com bagaço de cana tratado termicamente na temperatura de 170°C obteve o menor valor médio de ligação interna e se diferenciaram estatisticamente dos demais tratamentos. Não houve diferença estatística entre os painéis produzidos com o bagaço de cana tratado termicamente nas temperaturas de 200 e 230°C e aqueles produzidos com o bagaço de cana sem tratamento térmico.

De acordo com Sernek, kamke e glasser (2004), o motivo da diminuição da ligação interna, em consequência da exposição ao calor, pode estar relacionado à movimentação dos extrativos para a superfície das partículas e pela inativação da superfície no momento da colagem. Assim como também, pode ter sido afetada pela modificação do pH do material lignocelulósico, devido à sua movimentação da superfície, o que pode ter inibido as reações químicas de endurecimento do adesivo (MALONEY, 1993; IWAKIRI et al., 2005). Contudo, observa-se que tal efeito já não foi observado para as temperaturas de 200 e 230°C, o que se deve a degradação dos extrativos (Tabela 3).

Na Figura 9 se pode observar a baixa interação obtida para as partículas tratadas em relação ao tratamento controle e aqueles produzidos com as partículas tratadas termicamente nas temperaturas de 200 e 230°C. Essa menor interação entre as partículas dos painéis produzidos com as partículas modificadas termicamente na temperatura de 170°C pode estar associada à união de dois fatores, sendo eles a inibição da cura do adesivo e o menor valor médio de razão de compactação (Tabela 5). O maior coeficiente de flexibilidade dos painéis

produzidos com as partículas modificadas na temperatura de 170°C (Tabela 2) não foi suficiente para melhorar a interação entre as partículas, sendo, portanto, a propriedade de ligação interna mais afetada pela cura do adesivo.

Figura 9 - Região de ruptura dos corpos de prova no teste de ligação interna  
A) Controle; B) 170°C; C) 200°C e D) 230°C.



Vital et al. (2014) ao avaliarem o tratamento térmico da madeira de pinus nas temperaturas de 180, 200 e 220°C por período de 15 minutos para produção de painéis aglomerados, observaram valores de ligação interna variando entre 0,40 a 0,89 MPa. Sendo observada redução dos valores médios de ligação interna com o aumento da temperatura de tratamento térmico.

Barros Filho et al. (2011) ao avaliarem a qualidade de painéis aglomerados com bagaço de cana em associação com a madeira de eucalipto e pinus e utilizando adesivos ureia-formaldeído e melamina-formaldeído, obtiveram valores médios de ligação interna variando entre 0,20 a 0,63MPa.

Mendes et al. (2012) avaliando o efeito da associação de bagaço de cana, tipos e teor de adesivo nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados com madeira de *Pinus* spp., obtiveram valores médios de ligação interna entre 0,40 a 0,54 MPa.

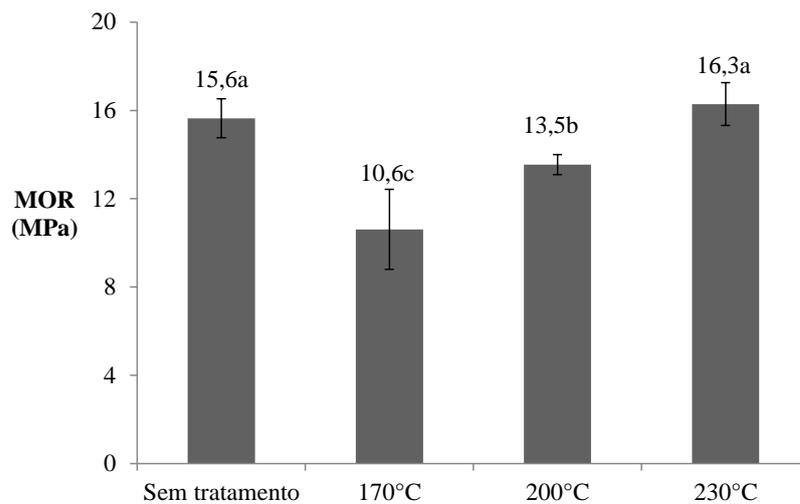
De forma geral, os painéis produzidos com bagaço de cana avaliados nesse trabalho se mostraram coerentes com os dados obtidos em literatura. Enquanto que, em comparação com as normas de comercialização, apenas os painéis produzidos com as partículas de bagaço de cana tratadas termicamente na temperatura de 170°C não atenderam aos requisitos das normas ANSI A208.1 (ANSI, 1999) e NBR 14810-2 (ABNT, 2013), que estipulam o valor mínimo de 0,40 MPa e da norma EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993), a qual estipula o valor mínimo de 0,30 MPa.

#### 4.4.4 Módulo de ruptura e Módulo de elasticidade à flexão estática

Os valores médios de módulo de ruptura (MOR) e Módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática, para cada tratamento, estão apresentados nas Figuras 10 e 11, respectivamente.

Os painéis produzidos com as partículas de bagaço de cana sem tratamento térmico e os painéis produzidos com as partículas tratadas termicamente na temperatura de 230°C apresentaram igualdade estatística e diferenciaram-se dos demais tratamentos, obtendo os maiores valores de MOR. Os painéis com as partículas modificadas a 200°C apresentaram resultado intermediário diferenciando-se estatisticamente dos painéis com as partículas modificadas a 170°C, os quais obtiveram o menor valor médio de MOR.

Figura 10 - Módulo de ruptura dos painéis aglomerados de bagaço de cana produzidos com partículas tratadas termicamente.

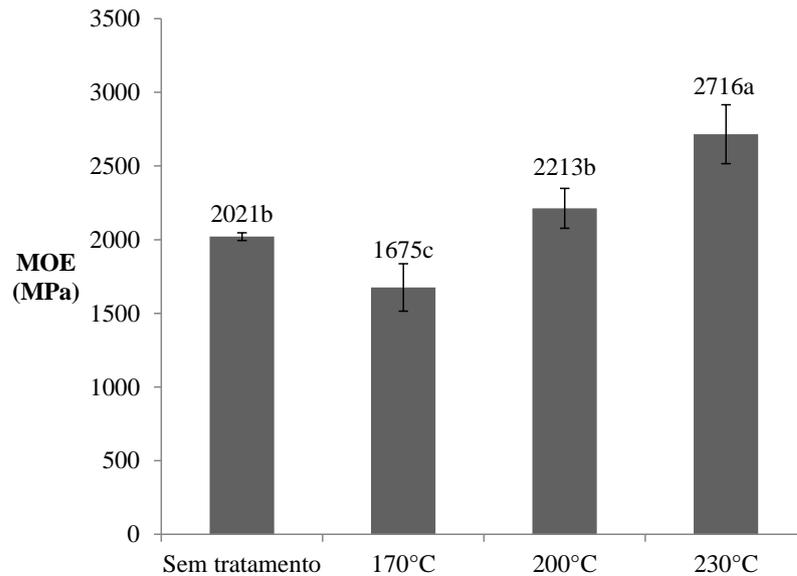


\*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de média Scott-knott, a 5% de significância.

Os painéis produzidos com as partículas de bagaço de cana modificadas a 230°C se diferenciaram estatisticamente dos demais tratamentos, obtendo o maior valor médio de MOE. Enquanto que os painéis produzidos com as partículas de bagaço de cana modificadas a 170°C também se diferenciaram estatisticamente dos demais tratamentos, no entanto obtiveram o menor valor médio de MOE. Não houve diferenciação estatística entre os painéis controle e aqueles produzidos com as partículas de bagaço de cana modificada termicamente a 200°C.

Os menores valores de MOR e MOE à flexão estática, obtidos para os painéis produzidos com as partículas de bagaço de cana tratadas termicamente na temperatura de 170°C, está associada à menor ligação interna obtida por esses painéis (Figura 8), devido a inibição de cura do adesivo.

Figura 11 - Módulo de elasticidade dos painéis aglomerados de bagaço de cana produzidos com partículas tratadas termicamente.



\*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de média Scott-knott, a 5% de significância.

Em relação ao MOR observou-se que a temperatura de tratamento de 200°C promoveu redução significativa quando comparado aos painéis controle. Esse fato está associado às modificações químicas e anatômicas do material lignocelulósico, resultantes do tratamento térmico, as quais acarretam alterações das suas propriedades mecânicas, reduzindo os seus valores (DEL MENEZZI, 2004; KUBOJIMA; OKANO; OHTA, 2000; PAUL; OHLMEYER; LEITHOFF, 2007; SANTOS, 2000).

Contudo, para os painéis produzidos com as partículas de bagaço de cana tratados termicamente a 230°C essa redução não foi observada, apresentando inclusive igualdade estatística para a propriedade MOR e maiores valores de MOE. Esses resultados provavelmente ocorreram em função de alguns fatores, dentre os quais: 1) A maior diminuição da quantidade de extrativos e melhoria da colagem das partículas; 2) A redução da umidade, uma vez que maiores valores de umidade geram menores valores de MOR e MOE do material lignocelulósico (TSOUMIS, 1991); 3) Aumento da cristalinidade da celulose devido a degradação térmica do material, permitindo maior efeito sobre a rigidez do material

(KOCAEFE; PONCSAK; BOLUK, 2008); e 4) aumento relativo da quantidade de lignina (Tabela 3), a qual pode funcionar como adesivo, ajudando na aproximação e interação entre as partículas (IWAKIRI et al., 2005; MALONEY, 1993).

Carvalho et al. (2015) ao avaliarem o efeito do pós-tratamento térmico, nas temperaturas de 200, 230 e 260°C por períodos de 8 e 12 minutos, em painéis MDP de bagaço de cana produzidos em escala industrial observaram valores de MOR entre 12,9 a 17,2 MPa e valores de MOE entre 2189 a 2493 MPa. Assim como nesse trabalho, os autores observaram maior efeito do tratamento térmico sobre a propriedade de MOR do que na propriedade MOE.

Widyorini et al. (2005) avaliando a qualidade de painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana com e sem medula em associação com algumas variáveis de processamento, obtiveram valores de MOR variando entre 2 a 11 MPa e valores de MOE variando entre 400 a 1600MPa.

Mendes et al. (2012), ao avaliarem o efeito da porcentagem de associação de bagaço de cana com a madeira de eucalipto (25, 50 e 75%) em diferentes tipos de adesivos (ureia-formaldeído e fenol-formaldeído) e em diferentes teores de adesivo (6, 9 e 12%) na produção de painéis aglomerados, obtiveram valores de MOE variando entre 915,3 a 1064,7 MPa e de MOR variando entre 9,5 a 11,5 MPa.

De forma geral, os painéis produzidos com bagaço de cana avaliados nesse trabalho se mostraram coerentes com os dados obtidos em literatura.

A norma ANSI A208.1 (ANSI, 1999) estabelece os valores mínimos de 1943,8 MPa para o MOE e de 12,8 MPa para o MOR, que se refere aos painéis do tipo standard (M-S). A norma EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993) estipula o valor mínimo de 1800 MPa para o MOE e de 13 MPa para o MOR. A norma NBR 14810-2 (ABNT, 2013) especifica o valor mínimo de 18 MPa para o MOR. Diante disso, apenas os painéis produzidos com as partículas de bagaço de cana tratadas termicamente a 170°C não atenderam as normas de comercialização ANSI A208.1 (ANSI, 1999) e EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993). Nenhum tratamento desse estudo atendeu ao requisito da norma NBR 14810-2 (ABNT, 2013).

#### **4.4.5 Transmissão térmica**

A Figura 12 e a Tabela 6 apresentam as temperaturas registradas pelos sensores durante o tempo de ensaio de transmissão térmica dos painéis MDP produzidos sem e com tratamento térmico das partículas de bagaço de cana.

Figura 12 - Transmissão térmica dos painéis aglomerados de bagaço de cana produzidos com partículas tratadas termicamente.

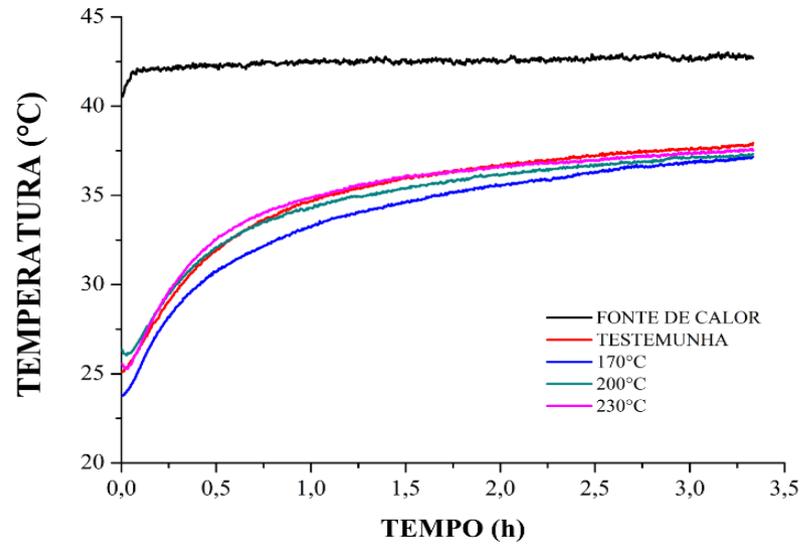


Tabela 6 - Temperatura transmitida pelos painéis produzidos com as partículas de bagaço de cana modificadas termicamente.

Tratamentos	Temperatura transmitida (°C)
Controle	37,70
170°C	36,97
200°C	37,17
230°C	37,44

Observa-se que o tratamento térmico nas partículas de bagaço de cana não propiciou efeito sobre o isolamento térmico dos painéis aglomerados. Contudo, os painéis aglomerados de bagaço de cana obtiveram em média o isolamento de 6°C em relação à fonte de calor de 43°C. Fato que viabiliza o uso dos painéis MDP de bagaço de cana para fins onde há necessidade de melhores propriedades de conforto térmico.

## 4 CONCLUSÃO

O tratamento térmico das partículas de bagaço de cana na temperatura de 230°C promoveu melhoras significativas na qualidade dos painéis aglomerados. Resultando na diminuição dos valores de absorção de água e inchamento em espessura dos painéis e aumento dos valores de módulo de elasticidade, e permitindo atender às normas de comercialização quanto ao inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão em água. Fato que demonstra o grande potencial de utilização do tratamento térmico na temperatura de 230°C para a produção de painéis aglomerados com bagaço de cana.

O tratamento térmico na temperatura de 170°C do bagaço de cana não é indicado para produção de painéis aglomerados, pois resulta em perdas das propriedades mecânicas e aumento do inchamento em espessura. Enquanto o tratamento térmico na temperatura de 200°C do bagaço de cana promoveu melhora apenas da absorção de água após vinte e quatro horas de imersão e diminuição dos valores de Módulo de ruptura à flexão.

Não houve efeito do tratamento térmico sobre a propriedade de isolamento térmico dos painéis aglomerados de bagaço de cana.

## REFERÊNCIAS

- AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI A208.1**: mat-formed wood particleboard: specification. Gaithersburg, 1999.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D1037- 06a**: standard test methods for evaluating properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philladelphia, 2006.
- ANSELMÍ, 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.
- ARAÚJO, S. O. et al. Propriedades de madeiras termorretificadas de *Eucalyptus grandis* e SP. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 327-336, set. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7989**: pasta celulósica e madeira - determinação de lignina insolúvel em ácido. Rio de Janeiro, 2010a. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11941**: madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003a. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13999**: papel, cartão, pastas celulósicas e madeira - determinação do resíduo (cinza) após a incineração a 525°C. Rio de Janeiro, 2003b. 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810-2**: painéis de partículas de média densidade - parte 2 - requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2013. 69 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14853**: madeira - determinação do material solúvel em etanol-tolueno e em diclorometano e em acetona. Rio de Janeiro, 2010b. 3 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF 2013 - ano base 2012**. Brasília, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF 2014 - ano base 2013**. Brasília, 2014.
- BANCO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO E SOCIAL. **Área de operações industriais 1**: gerência setorial de agroindústria. Rio de Janeiro, 1995. (Informe Setorial, 4).
- BARROS FILHO, R. M. et al. Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. **Industrial Crops and Products** (Print), St Martin d'Herès, v. 33, p. 369-373, 2011.
- BARROS FILHO, R. M. **Painéis aglomerados a base de bagaço de cana-de-açúcar e resinas ureia-formaldeído e melamina-formaldeído**. 2009. 99 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.

- BELINI, U. L. et al. Teor de sílica em compósitos confeccionados com bagaço de cana-de-açúcar e eucalipto. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 2, p. 250-255, abr./jun. 2012.
- BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. Composites reinforced with cellulose based fibres. **Progress in Polymer Science**, Elmsford, v. 24, p. 221-274, 1999.
- BONIGUT, J.; KRUG, D.; STUCKENBERG, P. Dimensional stability and irreversible thickness swell of thermally treated oriented strandboards (OSB). **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 72, n. 5, p. 593-599, 2014.
- BOONSTRA, M. J.; TJEERDSMA, B. F.; GROENEVELD, H. A. C. **Thermal modification of non-durable wood species**. Stockholm: IRG, 1998. (Document n. IRG/WP 98-40123). 13 p.
- BORGES, L. M.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. **Revista Biomassa & Energia**, Itu, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.
- BRITO, J. O. et al. Densidade básica e retrabilidade da madeira de *Eucalyptus grandis*, Submetida a diferentes temperaturas de termorretificação. **Cerne**, Lavras, v. 12, n. 2, p. 182-188, abr./jun. 2006.
- BUFALINO, L. et al. Caracterização química e energética para aproveitamento da madeira de costaneira e desbaste de cedro australiano. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 32, n. 70, p. 129-137, 2012.
- CAI, Z.; BIRKELAND, M.; WESCOTT, J. M. et al. Effects of press sizes on internal steam pressure during particleboard hot-pressing process. **Forest Products Journal**, Madison, v. 59, n. 4, p. 40-44, 2009.
- CARVALHO, A. G. et al. Effect of post-production heat treatment on particleboard from sugarcane bagasse. **Materials Research**, São Carlos, v. 18, n. 1, p. 78-84, 2015.
- CARVALHO, S. T. M. **Propriedades térmicas do painel aglomerado de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. 2012. 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2012.
- CLOUTIER, A. Oriented strandboard (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.
- CONTE, B. et al. Propriedades físicas e colorimétricas da madeira termorretificada de *Pinus elliottii* var. *elliottii*. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 42, n. 104, p. 555-563, dez. 2014.
- DANTAS FILHO, P. L. **Análise de custos na geração de energia com bagaço de cana-de-açúcar: um estudo de caso em quatro usinas de São Paulo**. 2009. 175 p. Dissertação (Mestrado em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.
- DEL MENEZZI, C. H. S.; DE SOUZA, R. Q.; THOMPSON, R. M. et al. Properties after weathering and decay resistance of a thermally modified wood structural board. **International Biodeterioration & Biodegradation**, Barking, v. 62, n. 4, p. 448-454, 2008.

DEL MENEZZI, C. H. S. Estabilização dimensional por meio do tratamento térmico e seus efeitos sobre as propriedades de painéis de partículas orientadas (OSB). 2004. 226 p. **Tese (Doutorado em Engenharia Florestal)** – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2004.

DEL MENEZZI, C. H. S. et al. Thermal modification of consolidated oriented strand boards: effects on dimensional stability, mechanical properties, chemical composition and surface color. **European Journal of Wood and Wood Products**, Berlin, v. 67, n. 4, p. 383-396, 2009.

DEL MENEZZI, C. H. S.; TOMASELLI, I. Contact thermal posttreatment of oriented strandboard to improve dimensional stability: a preliminary study. **Holz als Roh- und Werkstoff**, Berlin, v. 64, n. 3, p. 212-217, 2006.

ENGENHARIA APLICADA À VALORIZAÇÃO DA MADEIRA LTDA. Ponta Grossa, 2012. Disponível em: <<http://www.envalma.com/>>. Acesso em: 27 ago. 2015.

ESTEVES, B.; GRAÇA, J.; PEREIRA, H. Extractive composition and summative chemical analysis of thermally treated eucalypt wood. **Holzforshng**, Berlin, v. 62, p. 344-351, 2008.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 312**: particleboard - specifications. Bruxelas, 1993.

FIGUEROA, M. J. M.; MORAIS, P. D. Comportamento da madeira a temperaturas elevadas. **Ambiente Construido**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 157-174, out./dez. 2009.

FIORELLI, J. et al. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona: produção e propriedades. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 401-406, 2011.

FIORELLI, J. et al. Sugarcane bagasse and castor oil polyurethane adhesive-based particulate composite. **Materials Research**, São Carlos, v. 16, n. 2, p. 439-446, 2013.

FORSS, K. G.; FUHRMANN, A. Finnish plywood, particleboard, and fiberboard made with a lignin-base adhesive. **Forest Products Journal**, Madison, v. 29, n. 7, p. 39-43, 1979.

GUIMARÃES, J. L. et al. Characterization of banana, sugarcane bagasse and sponge gourd fibers of Brazil. **Industrial Crop and Products**, St Martin d'Herès v. 30, p. 407-415, 2009.

HAKKOU, M. et al. Investigations of the reasons for fungal durability of heat-treated beech wood. **Polymer Degradation and Stability**, Essex, v. 91, n. 2, p. 393-397, 2006.

HILLIG, E.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J. Propriedades mecânicas de chapas aglomeradas estruturais fabricadas com madeiras de Pinus, Eucalipto e Acácia- negra. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 59-70, 2002.

HILLIS, W. E. High temperature and chemical effects on wood stability. Part 1: General considerations. **Wood Sci and Technology**, Berlin, v. 18, n. 4, p. 281-293, 1984.

IWAKIRI, S. et al. Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados. **Acta Amazonica**, Manaus, v. 40, p. 303-308, 2010.

IWAKIRI, S.; COSTA, A. F.; KLITZKE, R. J. et al. Produção de chapas de madeira aglomerada de *Pinus elliottii* Engelm com inclusão laminar. **Cerne**, Lavras, v. 5, n. 2, p. 86-94, 1999.

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

KELLY, M. W. **A Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboards**. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 1977. 65 p.

KOCAEFE, D. et al. Comparison of different models for the high-temperature heat-treatment of wood. **International Journal of Thermal Sciences**, Paris, v. 46, n. 7, p. 707-716, 2007.

KOCAEFE, D.; PONCSAK, S.; BOLUK, Y. Effect of thermal treatment on the mechanical composition and mechanical properties of Birch and Aspen. **Bioresources Technology**, Oxford, v. 3, p. 517-537, 2008.

KUBOJIMA, Y.; OKANO, T.; OHTA, M. Bending strength and toughness of heart-treated wood. **Wood Science and Technology**, New York, v. 46, n. 1, p. 8-15, 2000.

LÁRA SANTOS, A. M. et al. Efeito do tratamento térmico sobre a resistência ao cisalhamento da linha de cola em painéis OSB. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 19, n. 1, p. 31-40, 2009.

LEÃO, A. L.; TAN, I. H.; CARASCHI, J. C. “Curaua fiber: a tropical natural fiber from amazons potential and applications in composites”. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED COMPOSITES, 2., 1998, Hurghada. **Proceedings...** Hurghada: [s. n.], 1998. p. 557–564.

LOH, Y. R. et al. Sugarcane bagasse: the future composite material: a literature review. **Resources, Conservation and Recycling**, Amsterdam, v. 75, p. 14-22, 2013.

MALONEY, T. M. Modern particleboard and dry-process fiber board manufacture. San Francisco: M. Freeman, 1993. v. 2, 689 p.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard & dry-process fiberboard manufacturing**. San Francisco: M. Freeman, 1989. 672 p.

MARAFANTE, L. J. **Tecnologia da fabricação do álcool e do açúcar**. São Paulo: Ícone, 1993.

MARTINS, Q. V. **Caracterização espectroscópica e estudo do comportamento térmico dos resíduos provenientes da cana de açúcar**. 2009. 93 p. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Araraquara, 2009.

MATOS, J. L. M. **Ciclo da prensa em chapas de partículas estruturais Waferboards**. 1988. 164 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1988.

MELO, R. R. et al. 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, 2009.

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

MENDES, R. F. **Efeito do tratamento térmico sobre as propriedades de painéis OSB**. 2011. 115 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2011.

MENDES, R. F. et al. Efeito da associação de bagaço de cana, do tipo e do teor de adesivo na produção de painéis aglomerados. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 22, n. 1, p. 161-170, 2012.

MENDES, R. F. et al. Efeito da incorporação de casca de café nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados de Eucalyptus urophylla ST Blake. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 34, n. 3, p. 610-617, 2010a.

MENDES, R. F. et al. Effects of thermal pre-treatment and variables of production on properties of OSB panels of Pinus taeda. Maderas. **Ciencia y Tecnología**, San José, v. 15, n. 2, p. 141-152, 2013a.

MENDES, R. F. et al. Effect of thermal treatment on properties of OSB panels. **Wood Science and Technology**, New York, v. 47, n. 2, p. 243-256, 2013b.

MENDES, R. F. et al. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285-295, 2010b.

MENDES, R. F. et al. The adhesive effect on the properties of particleboards made from sugar cane generated in the distiller. **Revista de Ciências Agrárias**, Jaboticabal, v. 32, n. 2, p. 209-218, 2009.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; ALMEIDA, N. F. Associação de eucalipto e pinus na produção de painéis aglomerados de bagaço de cana. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 11., 2010, Lavras. **Anais...** Lavras: UFLA, 2010c.

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

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

NORMEN FÜR HOLZFASERPLATEN SPANPLATTEN SPERRHOLZ. DIN 52362. In: \_\_\_\_\_. **Testing of wood chipboards bending test, determination of bending strength**. Berlin, 1982. p. 39-40.

OKINO, E. Y. A.; TEIXEIRA, D. E.; DEL MENEZZI, C. H. S. Post-thermal treatment of oriented strandboard (OSB) made from Cypress (Cupressus glauca Lam.). **Maderas: Ciencia y Tecnología**, Concepcion, v. 9, n. 3, p. 199-210, 2007.

OLIVEIRA, S. L. **Painéis aglomerados de bagaço de cana de açúcar**: caracterização visando ao uso na indústria moveleira. 2013. 141 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

OUMAROU, N.; KOCAEFE, D.; KOCAEFE, Y. Some investigations on moisture injection, moisture diffusivity and thermal conductivity using a three-dimensional computation of wood heat treatment at high temperature. **International Communications in Heat and Mass Transfer**, New York, v. 61, p. 153-161, 2015.

PAIVA, J. M. F.; FROLLINI, E. “Natural fibers reinforced thermoset composites”. In: FROLLINI, E.; LEÃO, A.; MATTOSO, L. H. C. (Ed.). **Natural polymers and agrofibers based composites**. Sao Carlos: USP, 2000. p. 229-255.

PAUL, W.; OHLMEYER, M.; LEITHOFF, H. Thermal modification of OSB-strands by a one-step heat pre-treatment: influence of temperature on weight loss, hygroscopicity and improved fungal resistance. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v. 65, p. 57-63, 2007.

PEDRESCHI, R. **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, 2009.

PHILIPPINI, R. R. **Variedades híbridas de bagaço de cana-de-açúcar: caracterização química e hidrólise enzimática em condições de pré-tratamento diferenciadas**. 2012. 87 p. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia Industrial) - Universidade de São Paulo, Lorena, 2012.

PROTÁSIO, T. P. et al. Thermal stability of particleboards of sugar cane bagasse and Pinus spp. **Wood Science and Technology**, New York, v. 43, n. 107, p. 683-691, Sept. 2015.

REPELLIN, V.; GUYONNET, R. Evaluation of heat-treated wood swelling by differential scanning calorimetry in relation to chemical composition. **Holzforschung**, Berlin, v. 59, p. 28-34, 2005.

ROQUE, C. A. L.; VALENÇA, A. C. V. Painéis de madeira aglomerada. **BNDES Setorial**, Rio de Janeiro, n. 8, p. 153-170, 1998.

ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and factors effecting fiber properties. In: FROLLINI, E. (Ed.). **Natural polymers and agrofibers bases composites**. São Carlos: USP/IQSC, 2000. p. 115-134.

SANTOS, A. L. O. **Avaliação do potencial de uso e caracterização tecnológica das fibras de Saccharum spp. para produção de celulose e papel**. 2014. 39 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2014.

SANTOS, J. A. Mechanical behaviour of eucalyptus wood modified by heat. **Wood Science and Tchnology**, New York, v. 34, p. 39-43, 2000.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; WARDEN, P. G.; COUTTS, R. S. P. Brazilian waste fibers as reinforcement of cement-based composites. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 22, n. 25, p.379-384, 2000.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; WARDEN, P. G. Special theme issue: natural fibre reinforced cement composites. **Cement and Concrete Composites**, Barking, v. 27, n. 5, p. 517, 2005.

SCATOLINO, M. V. et al. Use of maize cob for production of particleboard. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 37, n. 4, p. 330-337, 2013.

SERNEK, M.; KAMKE, A. F.; GLASSER, W. G. Comparative analysis of inactivated wood surface. **Holzforschung**, Berlin, v. 58, p. 22–31, 2004.

SEKINO, N.; INOUE, M.; IRLE, M. The bond quality of steam pre-treated particles. In: EUROPEAN PANEL PRODUCTS SYMPOSIUM, 2., 1998, Llandudno. **Proceedings...** Llandudno: [s. n.], 1998. p. 30–38.

SILVA DE JESUS, M. et al. Forno macro ATG: estudo do fluxo gasoso no processo da pirólise da madeira de Eucalyptus. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, Pelotas, v. 6, n. 3, 2015.

SILVA, D. W.; FARRAPO, C. P.; RIBEIRO, D. P. et al. MDP com partículas de eucalipto e palha de milho. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 108, p. 853-862, 2015.

SILVA, M. R. **Efeito do tratamento térmico nas propriedades químicas, físicas e mecânicas em elementos estruturais de Eucalipto citriodora e Pinus taeda**. São Carlos: Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, 2012. 223 p.

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, p. 27-32, 2007.

STAMM, A. J.; BURR, H. K.; KLINE, A. A. Staybwood . Heat-stabilized wood. **Industrial & Engineering Chemistry**, Washington, v. 38, n. 6, p. 630-634, 1946.

SWEET, M. S.; WINANDY, J. E. The influence of degree of polymerization (DP) of cellulose and hemicellulose on the strength loss of fire-retardant-treated wood. **Holzforschung**, Berlin, v. 53, n. 3, p. 311-317, 1999.

TABARSA, T.; ASHORI, A.; GHOLAMZADEH, M. Evaluation of surface roughness and mechanical properties of particleboard panels made from bagasse. **Composites Part B: Engineering**, Surrey, v. 42, n. 5, p. 1330-1335, 2011.

TJEERDSMA, B. F. et al. Characterisation of thermally modified wood: molecular reasons for wood performance improvement. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v. 56, n. 3, p. 149-153, 1998.

TJEERDSMA, B. F.; MILITZ, H. Chemical changes in hydrothermal treated wood: FTIR analysis of combined hydrothermal and dry heat-treated wood. **Holz als Roh-und Werkstoff**, Berlin, v. 63, p. 102-111, 2005.

TRIANA, O. et al. **Atlas del bagazo de la caña de azucar**. México: GEPLACEA, 1990. 143 p.

- TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010. 260 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494 p.
- UNIÃO DOS PRODUTORES DE BIOENERGIA. Disponível em: <<http://www.udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=993>>. Acesso em: 25 nov. 2015.
- VAN DILLEWIJN, C. **Botánica de la caña de azúcar**. 2. ed. La Habana: Instituto Cubano del Itmo, 1975. 36 p.
- VERNOIS M. Heat treatment of wood in France: state of the art. In: SPECIAL SEMINAR: ENVIRONMENTAL OPTIMISATION OF WOOD PROTECTION, 1., 2001, Antibes, **Proceedings...** Antibes: [s. n.], 2001. p. 39-46.
- VIITANIEMI, P. et al. **Method for processing of wood at elevated temperatures**. Espoo: VTT, 1995.
- VITAL, B. R. et al. Estabilidade dimensional e resistência à tração perpendicular de painéis fabricados com partículas termorretificadas oriundas de embalagens de pinus sp. **Revista Árvore**, Viçosa, MG, v. 38, n. 5, p. 951-959, 2014.
- VITAL, B. R.; TRUGILHO, P. F. Variação dimensional e uso da madeira de Eucalyptus. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p. 57-61, 1997.
- WEILAND, J. J.; GUYONNET, R. Retifizierter Holz. In: VERDICHTER HOLZBAU IN EUROPA: MOTIVATION, ERFAHRUNG, ENTWICKLUNG. DREILANDER HOLZTAGUNG, 1., 1997, Graz. **Annalen...** Graz: Joanneum Research Fachtagung, 1997.
- WIDYORINI, R. et al. Manufacture and properties of binderless particleboard from bagasse I: effects of raw material type, storage methods, and manufacturing process. **Journal of Wood Science**, Heidelberg, v. 51, n. 6, p. 648-654, 2005.
- WINANDY, J. E.; KRZYSIK, A. M. Thermal degradation of wood fibers during hot pressing of MDF composites: Part I. Relative effects and benefits of thermal exposure. **Wood and Fiber Science**, Madison, v. 39, n. 3, p. 450-461, 2007.
- ZENID, G. J. et al. Mercado estimula produtos de madeira com valor agregado. **Revista da Madeira**, Curitiba, v. 14, n. 84, out. 2004. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/revistadamadeira\\_materia.php?num=630&subject=Valor](http://www.remade.com.br/revistadamadeira_materia.php?num=630&subject=Valor)>. Acesso em: 4 jan. 2016.