



NAYRA DINIZ NOGUEIRA

**RESÍDUOS PLÁSTICOS NA PRODUÇÃO DE
PAINÉIS MDP (*médium density particleboard*) DE
BAGAÇO DE CANA**

LAVRAS - MG

2017

NAYRA DINIZ NOGUEIRA

RESÍDUOS PLÁSTICOS NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS MDP (*médium density particleboard*) DE BAGAÇO DE CANA

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

Dr. Rafael Farinassi Mendes

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).**

Nogueira, Nayra Diniz.

Resíduos plásticos na produção de painéis MDP (*médium density
particleboard*) de bagaço de cana / Nayra Diniz Nogueira. - 2017.

86 p. : il.

Orientador(a): Rafael Farinassi Mendes.

.
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras,
2017.

Bibliografia.

1. Aglomerados. 2. Resíduos agroindustriais. 3. sacola plástica. I.
Mendes, Rafael Farinassi. . II. Título.

NAYRA DINIZ NOGUEIRA

RESÍDUOS PLÁSTICOS NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS MDP (*médium density particleboard*) DE BAGAÇO DE CANA

PLASTIC WASTE IN PRODUCTION OF MDP (*medium density particleboard*) PANELS OF SUGARCANE BAGASSE

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 18 de Agosto de 2017.

Dr. Rafael Farinassi Mendes UFLA

Dr. José Benedito Guimarães Junior UFLA

Dra. Tattiane Gomes Costa IFMG

Dr. Rafael Farinassi Mendes
Orientador

**LAVRAS – MG
2017**

AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus que iluminou o meu caminho durante esta caminhada.

Aos meus pais, pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

À minha irmã pelo incentivo e companheirismo em todos os momentos.

Ao meu namorado, obrigada pelo carinho, paciência e incentivo.

Aos amigos da UEPAM pela contribuição no meu crescimento pessoal e profissional.

Ao professor e orientador Dr. Rafael Farinassi Mendes, pela orientação, ajuda, confiança, paciência e amizade.

Às minhas amigas Carol, Adriele, Lívia, Luciana e Thamirys pela ajuda, amizade, paciência e incentivo.

Aos membros da banca de defesa, pelas correções, sugestões e avaliação deste trabalho.

À Universidade Federal de Lavras (UFLA), em especial ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, pela oportunidade de cursar o mestrado e à FAPEMIG, pela concessão da bolsa, o que tornou possível a realização deste trabalho.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigada.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da utilização de resíduos de sacolas plásticas sobre as propriedades físicas e mecânicas de painéis MDP de bagaço de cana-de-açúcar. Foi realizado um pré-teste para a determinação da melhor temperatura de prensagem, utilizando um delineamento experimental composto por quatro tratamentos, sendo avaliadas quatro diferentes temperaturas (160, 180, 200 e 220°C) em painéis com 20% de substituição de bagaço de cana por resíduos de sacolas plásticas. Posteriormente, o delineamento experimental consistiu de cinco tratamentos, sendo avaliadas cinco porcentagens de substituição de partículas de bagaço de cana-de-açúcar pelo resíduo de sacola plástica (0, 5, 10, 15 e 20%) na melhor temperatura de prensagem encontrada. As partículas de bagaço de cana foram avaliadas quanto às suas características anatômicas, químicas e físicas e, as partículas de sacola plástica, foram avaliadas quanto suas características físicas. Os painéis foram produzidos com densidade nominal de 0,70 g/cm³, relação face/miolo de 40:60, 12% de adesivo para as faces e 8% de adesivo ureia-formaldeído para o miolo, tempo de prensagem de 8 minutos e pressão de 4 MPa. Na avaliação da temperatura de prensagem, os painéis produzidos na temperatura de 220°C apresentaram os melhores resultados para as propriedades físico-mecânicas. Na avaliação da porcentagem de sacola plástica, é viável a produção de painéis com a substituição de até 15% de partículas de bagaço de cana por resíduos de sacola plástica. A adição de resíduos de sacolas plásticas promoveu melhora significativa do isolamento dos painéis MDP de bagaço de cana.

Palavras-chave: Aglomerados. Resíduos agroindustriais. Sacola plástica.

ABSTRACT

The objective in this work was to evaluate the effect of the plastic bag waste use on the physical and mechanical properties of MDP panels from sugarcane bagasse. A pre-test was carried out to determine the best pressing temperature, using an experimental design composed of four treatments. Four different temperatures were evaluated (160, 180, 200 and 220°C) in panels with 20% substitution of sugarcane bagasse for plastic bags waste. Subsequently, the experimental design consisted of five treatments, and five percentages of sugarcane bagasse substitution were evaluated by the plastic bag waste (0, 5, 10, 15 and 20%) at the best pressing temperature found. The sugarcane bagasse particles were evaluated for their anatomical, chemical and physical characteristics and the plastic bag particles were evaluated for their physical characteristics. The panels were produced with a nominal density of 0.70 g/cm³, 40:60 face/crumb ratio, 12% face adhesive and 8% urea-formaldehyde adhesive to the crumb, 8 minute pressing time, and pressure of 4 MPa. For the pressing temperature evaluation, the panels produced at the temperature 220 °C presented the best results for the physico-mechanical properties. For the evaluation of plastic bag percentage, it is feasible the panels production with the substitution of up to 15% of sugarcane bagasse particles for plastic bag waste. The addition of plastic bag waste promoted a significant improvement of the MDP panels insulation of sugarcane bagasse.

Keywords: Agglomerates. Agroindustrial waste. Plastic bag.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Normas utilizadas para análise da composição química do bagaço de cana.....	35
Tabela 2 - Plano experimental da primeira etapa de estudo.	36
Tabela 3 - Tratamentos avaliados na segunda etapa do estudo.	36
Tabela 4 - Ensaio avaliados e normas de execução.	38
Tabela 5 - Caracterização das partículas de bagaço de cana e de sacola plástica.....	42
Tabela 6 - Composição química do bagaço de cana.....	44
Tabela 7 - Densidade aparente, razão de compactação e umidade dos painéis produzidos em função da temperatura de prensagem.....	46
Tabela 8 - Densidade aparente, razão de compactação e umidade dos painéis produzidos em função da temperatura de prensagem.....	60
Tabela 9 - Valores médios de condutividade, resistência e transmitância térmica.....	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Distribuição de camadas dos painéis aglomerados.	15
Figura 2 -	Simbologia utilizada para identificação de embalagens poliméricas, Norma NBR 13.230 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Spinacé e De Paoli (2005). Onde PET= poli(tereftalato de etileno); PEAD= polietileno de alta densidade; PVC= poli(cloreto de vinila); PEBD= polietileno de baixa densidade; PP= polipropileno; PS= poliestireno.	29
Figura 3 -	Composição média dos resíduos plásticos rígidos separados em programas de coleta.	30
Figura 4 -	Esquema do equipamento utilizado para o ensaio térmico.	40
Figura 5 -	Absorção de água dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes temperaturas de prensagem.	47
Figura 6 -	Inchamento em espessura dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes temperaturas de prensagem.	49
Figura 7 -	Módulo de ruptura (MOR) dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes temperaturas de prensagem.	51
Figura 8 -	Módulo de elasticidade (MOE) dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes temperaturas de prensagem.	52
Figura 9 -	Ligação interna (LI) dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes temperaturas de prensagem.	53
Figura 10 -	Microscopia eletrônica de varredura para os painéis produzidos na temperatura de 160°C.	54
Figura 11 -	Microscopia eletrônica de varredura para os painéis produzidos na temperatura de 220°C.	55
Figura 12 -	Dureza <i>janka</i> (DJ) dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes temperaturas de prensagem.	57
Figura 13 -	Arrancamento de parafuso face e topo dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes temperaturas de prensagem.	58
Figura 14 -	Absorção de água dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes porcentagens de sacola plástica.	61

Figura 15 -	Microscopia eletrônica de varredura para os painéis produzidos sem sacola plástica.....	62
Figura 16 -	Microscopia eletrônica de varredura para os painéis produzidos com 5% de sacola plástica.....	63
Figura 17 -	Microscopia eletrônica de varredura para os painéis produzidos com 20% de sacola plástica.....	64
Figura 18 -	Inchamento em espessura dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes porcentagens de sacola plástica.	65
Figura 19 -	Módulo de ruptura (MOR) à flexão estática dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes porcentagens de sacola plástica.	67
Figura 20 -	Ligação interna dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes porcentagens de sacola plástica.	68
Figura 21 -	Módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes % de sacola plástica.....	70
Figura 22 -	Dureza <i>janka</i> dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes % de sacola plástica.....	72
Figura 23 -	Arrancamento de parafuso face e topo dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes % de sacola plástica.....	73

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
2.1	Painéis aglomerados.....	13
2.2.1	Fatores que afetam a qualidade dos painéis	16
2.2	Resíduos agroindustriais	20
2.2.1	Cana-de-açúcar	21
2.2.2	Sacola plástica	26
3	MATERIAL E MÉTODOS	32
3.1	Coleta da matéria-prima	32
3.2	Obtenção das partículas de bagaço de cana	32
3.3	Caracterização das partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resíduo de sacolas plásticas	33
3.3.1	Caracterização morfológica	33
3.3.2	Densidade das partículas.....	34
3.3.3	Caracterização química das partículas de bagaço de cana	34
3.4	Plano experimental e produção dos painéis.....	35
3.5	Retirada dos corpos de prova e avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis.....	37
3.6	Caracterização microestrutural.....	38
3.7	Condutividade térmica	38
3.8	Análise estatística	40
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1	Caracterização das partículas.....	42
4.1.1	Caracterização morfológica	42
4.1.2	Densidade das partículas.....	43
4.1.3	Caracterização química das partículas	44
4.2	Avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis com variação de temperatura de prensagem.....	45
4.2.1	Propriedades físicas	45
4.2.2	Propriedades mecânicas	50
4.3	Avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis com variação de % de sacola plástica no miolo.....	59
4.3.1	Propriedades físicas	59
4.3.2	Propriedades mecânicas	66
4.4	Condutividade térmica	74
5	CONCLUSÕES	76
	REFERÊNCIAS	77

1 INTRODUÇÃO

Os painéis MDP (*medium density particleboard*) são formados por partículas lignocelulósicas que, após serem unidas com adesivo sintético, são posteriormente consolidados através de aplicação de calor e pressão. Tais painéis possuem uma boa versatilidade de aplicações, sendo utilizados principalmente pelas indústrias de móveis (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 et al., 2000). No entanto, a indústria de painéis utiliza madeira de florestas plantadas, principalmente dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, com certo destaque para o primeiro (MENDES et al., 2012; PROTÁSIO et al., 2015).

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). Além de agregar valor a materiais residuais, isso poderá contribuir para o aumento da produção industrial de painéis sem a necessidade de implantação de novos plantios florestais (PROTÁSIO et al., 2015).

Neste sentido, diversos trabalhos vêm apresentando a potencialidade dos resíduos gerados pela agroindústria brasileira como alternativa para atender à demanda de matéria-prima das indústrias de painéis aglomerados, apresentando-se com vários tipos de resíduos lignocelulósicos, dentre os quais destacam-se: o sabugo de milho (SCATOLINO et al., 2013, 2015), casca de mamona (SILVA et

al., 2016), casca de arroz (CESAR et al., 2017), bagaço de sorgo (GUIMARAES JUNIOR et al., 2016), pergaminho do grão de café (SCATOLINO et al., 2017), madeira do cafeeiro (CESAR et al., 2014), podas de erva mate (CARVALHO et al., 2015), pseudocaule da bananeira (GUIMARAES et al., 2014) e palha de milho (SILVA et al., 2015).

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 et al., 2009, 2010, 2012; OKINO et al., 1997; OLIVEIRA et al., 2017; SOARES et al., 2017). Contudo, Mendes et al. (2008) relataram 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.

Visando associar a utilização do resíduo de bagaço de cana como fonte de matéria-prima para produção de painéis MDP e, ainda proporcionar a melhoria nas suas propriedades físicas, foi idealizado a utilização de mais um resíduo: o de sacolas plásticas. Esse resíduo é produzido, apenas no Brasil, em torno de 15 bilhões de unidades por ano (BRASIL, 2016) e apresenta sérias preocupações quanto ao seu descarte. A avaliação consiste em utilizar as sacolas plásticas como mais um tipo de aglomerante das partículas de bagaço de cana, fato que poderá proporcionar redução da absorção de água pelas partículas e, conseqüentemente, resultar em melhoria das propriedades físicas dos painéis aglomerados. Neste contexto, esse trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da utilização de resíduos de sacolas plásticas sobre as propriedades físicas e mecânicas de painéis MDP de bagaço de cana-de-açúcar.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Painéis aglomerados

Os painéis de madeira podem ser definidos como produtos compostos por elementos tais como lâminas, sarrafos, partículas e fibras, obtidos a partir da redução de madeira sólida, e reconstituídos através de ligação adesiva (IWAKIRI, 2005).

Os painéis de partículas de madeira aglomerada surgiram na Alemanha, no início da década de 40, como forma de viabilizar a utilização de resíduos de madeira, diante das dificuldades de obtenção de madeira de boa qualidade para produção de lâminas para compensados, devido ao isolamento do país durante a 2ª Guerra Mundial. A produção foi paralisada logo a seguir, devido à redução na disponibilidade de adesivo, tendo em vista a prioridade de uso de petróleo para finalidade militar. Ao fim da guerra, em 1946, o processo de desenvolvimento foi retomado nos Estados Unidos, com aperfeiçoamentos de equipamentos e processos produtivos (MENDES, 2001).

A partir da década de 60, houve uma grande expansão na produção, com novas instalações industriais e avanços tecnológicos. Em 1966, o Brasil iniciou a produção desse tipo de painel. Em 1967, foi criada a ABIMA - Associação Brasileira da Indústria da Madeira Aglomerada que, em 1994, transformou-se em ABIPA – Associação Brasileira da Indústria de Painéis de Madeira, incorporando as indústrias produtoras de chapas duras (DONATI, 2010). Atualmente, a Indústria Brasileira de Árvores - IBÁ (2017) é a associação responsável pela representação institucional da cadeia produtiva de árvores plantadas do campo à indústria, junto a seus principais públicos de interesse.

Os painéis de partículas mantêm algumas vantagens da madeira sólida e não se encontram restritos às dimensões dos fustes das árvores; agregam valor a materiais de baixa aceitação, como resíduos de serrarias e desbastes e,

possibilitam a eliminação de defeitos provenientes da anatomia da madeira tais como nós, medula e desvio da grã, conferindo ao produto final homogeneidade muito maior que a encontrada na madeira serrada. Adicionalmente, através da especificação da densidade dos painéis, pode-se controlar a maioria de suas propriedades. Além disso, durante o processo de manufatura dos painéis, é possível adicionar produtos específicos com a finalidade de aumentar sua resistência ao fogo e à biodeterioração (IWAKIRI, 2005).

Os painéis de madeira aglomerada possuem inúmeros usos, destacando-se a fabricação de móveis, tampos de mesas, laterais e portas de armários, divisórias, laterais de estantes e, de forma secundária, na construção civil (BERNARDINI, 2006). Segundo Góes (2011), painéis de madeira aglomerada podem ser utilizados em pisos e estruturas leves, atuando como elemento estrutural de pequeno a médio porte em aplicações residenciais. Segundo a IBÁ (2017), cerca de 95% dos painéis aglomerados produzidos no Brasil são consumidos pela indústria moveleira, 4% é revendido e os outros 1% são consumidos por outros setores.

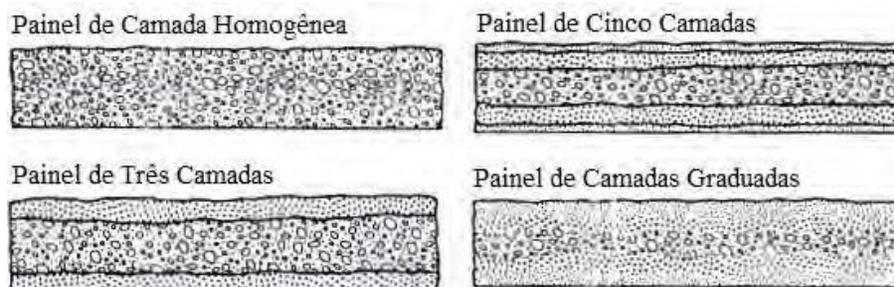
Iwakiri (2005), afirma que os painéis de partículas podem ser classificados de acordo com a densidade, tipo de partículas e a distribuição das mesmas no painel.

- a) Densidade: os painéis podem ser classificados em baixa densidade (até 0,59 g/cm³), média densidade (de 0,59 a 0,80 g/cm³) e alta densidade (acima de 0,80 g/cm³).
- b) Tipo de partículas: com relação às dimensões das partículas podem ser classificados em aglomerados convencionais produzidos com partículas do tipo “sliver”, painéis com partículas do tipo “flake” (“flakeboard”), painéis com partículas do tipo “wafer” (“waferboard”) e painéis com partículas do tipo “strand” (“strandboard”).

- c) Distribuição das partículas no painel: podem ser classificados como painéis homogêneos, painéis de múltiplas camadas e painéis de camadas graduadas.

A Figura 1 apresenta uma ilustração da distribuição de camadas no painel.

Figura 1 - Distribuição de camadas dos painéis aglomerados.



Fonte: Adaptado de Moslemi (1974).

Os painéis aglomerados passaram por períodos de questionamentos, principalmente em relação a algumas de suas limitações técnicas, como alta absorção de água, inchamento em espessura, usinabilidade das bordas e problemas quanto à fixação de parafusos (IWAKIRI et al., 2005).

O desenvolvimento de novas tecnologias, bem como as etapas do processo produtivo, têm sido estudados a fim de proporcionar melhorias quanto às propriedades e qualidade do produto final - NBR 14810-1 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - 2010).

O MDP (*médium density particleboard*) é um painel de material lignocelulósico reconstituído, onde as partículas são posicionadas de forma diferenciada, com as maiores dispostas ao centro e as mais finas nas faces, formando três camadas. São aglutinadas e compactadas entre si com adesivo,

através da ação conjunta de pressão e calor em prensa contínua (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA - ABIPA, 2010).

Painéis do tipo MDP são especialmente indicados para a indústria moveleira e marcenaria, na produção de móveis residenciais e comerciais de linhas retas e, de forma secundária, na construção civil (ZENID, 2004). Suas principais aplicações são: portas retas, laterais de móveis, prateleiras, divisórias, tampos retos, tampos pós-formados, base superior e inferior e frentes e laterais de gaveta (ABIPA, 2010).

Segundo a IBÁ (2017), foi realizado um investimento da ordem de US\$ 1,2 bilhões para o período de 2010/2014, fazendo com que a capacidade instalada das indústrias de painéis desse um salto de 9,1 milhões de metros cúbicos em 2010 para 10,9 milhões de metros cúbicos anuais em 2014.

O consumo de painéis foi crescente em todo o mundo na última década (BASSO et al., 2014), porém, em 2015, a produção de painéis de madeira reconstituída foi de 7,5 milhões de metros cúbicos, o que configura uma redução de 6,3% em relação a 2014. A diminuição do consumo das famílias levou à redução na compra de diversos produtos, incluindo móveis, o principal segmento consumidor de painéis de madeira no Brasil e cuja retração nas vendas em 2015 foi de 16,2% em volume. Nesse contexto, as vendas de painéis de madeira reconstituída no mercado doméstico recuaram 11,3%. No entanto, as exportações atingiram 641 mil metros cúbicos, alta de 52,3% em relação a 2014 (IBÁ, 2017).

2.1.1 Fatores que afetam a qualidade dos painéis

Vários fatores contribuem para a conformação das propriedades e da qualidade final dos painéis. Dentre eles, podem ser destacados os inerentes à matéria-prima tais como: espécies, características anatômicas, densidade, teor de

umidade, extrativo, pH; e os fatores inerentes ao processo, como: densidade, 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).

A densidade das partículas pode ser considerada como a variável mais importante que influencia a qualidade dos painéis aglomerados. Em termos gerais, partículas de densidade mais reduzida possibilitam a produção de painéis dentro da faixa adequada de densidade, além de possuir, normalmente, propriedades de resistência superiores a partículas de densidades mais elevadas (MALONEY, 1993).

Maloney (1993) afirma que a densidade do painel está relacionada à quantidade de partículas para uma determinada dimensão, ou seja, quanto maior a quantidade de partículas de uma mesma densidade para uma dada dimensão, maior sua densidade. Densidade esta que influencia significativamente as propriedades físico-mecânicas dos painéis. Painéis de partículas de uma determinada densidade, produzidos com espécies de baixa densidade, apresentam maior resistência à flexão estática e ligação interna, e a resistência ao arrancamento de parafuso, absorção de água e inchamento em espessura também são afetadas. Isso ocorre porque uma determinada massa de partículas de uma espécie de baixa densidade, ocupa um volume superior ao da mesma massa de partículas de iguais dimensões obtidas de uma espécie de maior densidade. Quando os colchões de partículas de madeira de baixa densidade são comprimidos para as dimensões finais do painel, ocorre um contato relativamente maior entre as partículas devido ao maior volume de partículas e maior área superficial de partículas, resultando em melhor adesão entre as partículas. Por outro lado, para painéis de partículas de alta densidade, a quantidade de adesivo por unidade de área superficial das partículas passa a ser o fator controlador da resistência do painel. Portanto, para se obter certo valor de

resistência com madeira de maior densidade, a densidade do painel deve ser aumentada (MENDES et al., 2010).

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

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. Quanto aos extrativos, eles atuam como adesivo, podendo afetar o processo de cura e, 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 (BUFALINO et al., 2012; CLOUTIER, 1998; IWAKIRI et al., 2005; MALONEY, 1993).

O pH também é considerado uma importante variável utilizada na fabricação dos painéis, influenciando diretamente na aplicação de vernizes e na cura dos adesivos. 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 favorece o pré-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).

De acordo com Teodoro (2008), o adesivo utilizado para fabricação de painéis causa mudança em diversas propriedades significativas como as mecânicas, estabilidade dimensional e, principalmente, na composição do painel produzido. Além disso, a escolha do tipo e do teor de adesivo empregado na produção de painéis de partículas, está relacionada às condições de uso do produto e aos custos. Por ser o componente de maior custo, torna-se muito importante a definição do tipo e quantidade de adesivo a ser utilizado, no sentido de se buscar uma otimização na relação custo-benefício (MENDES et al., 2010).

Outro fator que interfere na qualidade final dos painéis está ligado à geometria das partículas (WEBER, 2011). A produção de painéis MDP envolve a utilização de dois tipos de partículas. Nas extremidades são utilizadas partículas de tamanho menor, favorecendo um melhor acabamento superficial ao painel e na aplicação de materiais de revestimento, enquanto no interior, são utilizadas partículas de tamanho maior. Devido ao aumento da área superficial, a utilização de partículas menores implica em um maior uso de adesivos, aumentando consideravelmente os custos finais do painel (MALONEY, 1993).

Dentre todos os processos envolvidos na fabricação dos painéis, a prensagem, é, sem dúvida, um dos mais importantes e significativos fatores que interferem na qualidade, devido à gama de fatores envolvidos como temperatura da prensa e tempo de prensagem. De acordo com Iwakiri (2005), a temperatura de prensagem é definida em função da temperatura necessária para a cura do adesivo e, portanto, varia de acordo com o tipo de adesivo. Para o adesivo ureia-formaldeído, a temperatura recomendada é na faixa de 140 a 160°C, e para fenol-formaldeído de 160 a 180°C.

2.2 Resíduos agroindustriais

A natureza sempre subsidiou o homem na manutenção da vida, recebendo, em contrapartida, os resíduos gerados. O consumismo e a despreocupação em destinar resíduos adequadamente estabeleceram uma situação de exacerbação dos limites do ecossistema. A preocupação com uma melhor qualidade de vida, aliada às pressões das legislações, levam a sociedade a buscar novas técnicas de aproveitamento de resíduos, garantindo, assim, a continuidade das atividades produtivas, considerando-se os custos ambientais (CHAMMA, 2004).

Na agroindústria brasileira, o aproveitamento de resíduos é realizado com sucesso em diversas culturas, como por exemplo, o bagaço de cana-de-açúcar.

No Brasil, além da cana-de-açúcar, outras culturas também propiciam um bom aproveitamento de seus resíduos. Segundo Carashi et al. (2002) os materiais lignocelulósicos provenientes de subprodutos agroindustriais vêm sendo utilizados com sucesso na fabricação de painéis, sendo possível destacar a casca de arroz, folhas de bambu e também o bagaço de cana-de-açúcar. A utilização desses resíduos traria várias vantagens, entre elas a valorização econômica de materiais antes descartados e a diminuição de CO₂ pela queima desses resíduos.

Sartori (2001) cita diferentes utilizações para o bagaço de cana-de-açúcar, inclusive na confecção de painéis aglomerados. Geralmente, o bagaço de cana é queimado em reservatórios de vapor para produzir energia para uso industrial, mas, atualmente, devido às suas características físico-químicas, está sendo utilizado em um vasto campo de pesquisas, dentre os quais, na produção de ração animal, indústria química para a produção de plástico biodegradável, na

produção de bicarbonato de sódio e cloreto de amônio, e também para a manufatura de painéis aglomerados (SILVA et al., 2007).

O setor agroindustrial depende direta ou indiretamente do ambiente como fonte de matérias-primas para o seu desenvolvimento, bem como da utilização de alguns locais para “área de despejo” de seus subprodutos e resíduos gerados durante os ciclos produtivos. A eliminação de resíduos, uma vez quantificados, controlados e tratados, torna-se facilmente passível de depuração pelo ambiente em determinado tempo. Caso contrário, esse processo pode levar milhares de anos ou, até mesmo, deixar de ocorrer, pela ausência de mecanismos específicos na natureza (FIORELLI et al., 2011).

2.2.1 Cana-de-açúcar

A cultura da cana-de-açúcar está intrinsecamente ligada à história e ao desenvolvimento do Brasil. Desde a época da Colonização, a cana tem experimentado um grande desenvolvimento agrônômico e industrial. O nosso complexo sucroalcooleiro é considerado o mais moderno do mundo, tendo o país assumido a posição de liderança mundial na produção de etanol. A forte expansão da cultura da cana-de-açúcar no Brasil deve-se à valorização do etanol como uma das principais fontes de energia limpa, uma vez que o mundo passou a reconhecer a necessidade de mudar sua matriz energética, até agora baseada quase que exclusivamente em combustíveis fósseis (GOES et al., 2008).

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).

O Brasil domina todos os estágios da tecnologia de produção da cana-de-açúcar e apresenta uma cadeia de produção bem organizada (VIDAL; SANTOS; SANTOS, 2006). Além disso, é o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, tendo grande importância para o agronegócio brasileiro. O aumento da demanda mundial por etanol oriundo de fontes renováveis, aliado às grandes áreas cultiváveis e condições edafoclimáticas favoráveis à cana-de-açúcar, tornam o Brasil um país promissor para a exportação dessa *commodity* (COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB, 2016).

A produção de cana-de-açúcar, estimada para a safra 2016/17, é de 694,54 milhões de toneladas. O crescimento está avaliado em 4,4% em relação à safra anterior. A área a ser colhida está estimada em 9,1 milhões de hectares, aumento de 5,3%, se comparada com a safra 2015/16. A produção de açúcar deverá atingir 39,8 milhões de toneladas, 18,9% superior à safra 2015/16 devido a preços mais rentáveis. A produção de etanol deve se manter acima de 27,9 bilhões de litros, redução de apenas 8,5% em razão da preferência pela produção de açúcar (CONAB, 2016).

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).

Segundo Silva et al. (2007) o bagaço de cana tem sido produzido cada vez em quantidades maiores devido ao aumento da área plantada e da industrialização da cana-de-açúcar, decorrentes principalmente de investimentos públicos e privados na produção alcooleira. A melhoria do balanço energético das antigas usinas e a entrada de atividade de um número cada vez maior de destilarias autônomas aumentou a porcentagem de sobras, consideravelmente. O

bagaço de cana é o resíduo agroindustrial obtido em maior quantidade no Brasil. Ainda de acordo com Silva et al. (2007), cada tonelada processada de cana-de-açúcar gera um total de 280 kg de resíduo.

Geralmente o bagaço de cana é queimado em reservatórios de vapor para produzir energia para uso industrial, mas atualmente, devido às suas características físico-químicas, está 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 manufatura de painéis aglomerados (ANSELMINI, 2007).

A disposição do bagaço excedente que formam pilhas ao ar livre favorece a fermentação, o apodrecimento e a perda de seu valor como combustível (PAOLIELLO, 2006). Assim, num país em que se tem, aproximadamente, 2.300ha cultivados com cana-de-açúcar, faz-se necessário o desenvolvimento de novas pesquisas e técnicas que proporcionem destino sustentável ao montante dos subprodutos oriundos dessa plantação (FIORELLI et al., 2011).

Utiliza-se basicamente a madeira de pinus e eucalipto na produção de painéis aglomerados. No entanto, várias alternativas estão sendo estudadas para a produção desses, dentre as quais, o bagaço de cana é o que tem obtido maior destaque, devido principalmente à quantidade produzida e também em função das boas propriedades físico-mecânicas dos painéis produzidos (MENDES et al., 2010).

Em questão da produção de painéis aglomerados, tal resíduo, além de sofrer uma agregação de valor, poderá atender à crescente demanda da indústria de painéis de madeira, além de possibilitar sua expansão, diminuir a utilização de madeira e conseqüentemente a pressão sobre as florestas, e ainda reduzir os

custos de produção, tornando-os ainda mais competitivos no cenário econômico (MENDES et al., 2010).

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

Battistelle, Marcilio e Lahr (2009) avaliaram a possibilidade de produção de painéis de partículas a partir de fibras das folhas caulinares do bambu (*Dendrocalamus giganteus*) e do bagaço da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e adesivo ureia-formaldeído. Os resultados indicaram que o bagaço da cana-de-açúcar apresenta bom potencial para a produção de painéis de partículas, com propriedades físico-mecânicas que atendem aos requisitos dos documentos normativos internacionais.

Pedreschi (2009) confeccionou painéis de bagaço de cana-de-açúcar homogêneos e em camadas (20/60/20 – face/miolo/face), com granulometria menor nas faces, e utilizando os adesivos ureia-formaldeído (UF) e melamina-formaldeído (MUF) em diferentes teores e tipos na face e no miolo (9% e 12%). Na propriedade absorção de água, o adesivo MUF obteve melhores resultados quando aplicado no miolo e, para o inchamento em espessura, o tratamento com 9% de adesivo MUF nas faces apresentou melhores valores. Para as propriedades mecânicas, o adesivo MUF foi superior ao adesivo UF.

Mendes, Mendes e Almeida (2010) avaliaram a associação de madeira de eucalipto e pinus na produção de painéis aglomerados de bagaço de cana provenientes de alambique utilizando 6% de ureia-formaldeído. Foram confeccionados painéis com 100% de bagaço, 50% de bagaço e 50% de pinus ou 50% de eucalipto. Para a propriedade de absorção de água, os painéis com 50% de bagaço e 50% de eucalipto apresentaram os melhores resultados. Os tratamentos utilizando UF a 6% e 12% e 75% de bagaço de cana, atendendo aos valores estipulados pela norma CS 236-66, com exceção do MOE.

Mendes et al. (2012) manufaturaram painéis de bagaço de cana-de-açúcar e *Pinus* spp. nas porcentagens de 75, 50 e 25%, utilizando como adesivo a ureia-formaldeído (UF) e o fenol-formaldeído (FF) nos teores de 6, 9 e 12%. Utilizou-se também 1% de parafina para todos os tratamentos. 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. Utilizando adesivo UF a 6% e 12% e 75% de bagaço de cana obtiveram os melhores resultados, atendendo aos valores estipulados pela norma CS 236-66, com exceção do MOE.

Jonoobi et al. (2016), estudaram o efeito do pré-tratamento com ozônio das partículas de bagaço de cana sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis aglomerados. Neste estudo, os autores variaram o tempo de exposição das partículas ao ozônio e o período de armazenamento dos painéis. Os autores concluíram que todos os painéis que tiveram suas partículas tratadas com ozônio atingiram a norma para os valores de MOE e MOR. Os valores de absorção de água e inchamento em espessura diminuíram em relação aos painéis sem pré-tratamento, e os valores de todas as propriedades mecânicas também diminuíram quando os painéis foram testados cinco meses depois.

Entretanto, apesar dos painéis aglomerados de bagaço de cana apresentarem grande potencial de utilização, alguns problemas ainda existem, como os maiores valores de absorção de água e inchamento em espessura quando comparados aos 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 (BARROS FILHO et al., 2011; OLIVEIRA et al., 2016; PROTÁSIO et al., 2015). Sendo assim, é de extrema importância a busca por alternativas para controlar estas variáveis a fim de aumentar a utilização destes painéis. Dentre as possíveis alternativas para melhorar a estabilidade

dimensional dos painéis aglomerados de bagaço de cana, podemos citar a utilização de resíduos plásticos no miolo dos painéis.

2.2.2 Sacola plástica

Introduzidos nos anos 70, os sacos plásticos rapidamente se tornaram muito populares, em especial através da sua distribuição gratuita nos supermercados e lojas, levando ao uso inadequado das sacolas plásticas em substituição às embalagens de papel (SANTOS; FREIRE; COSTA, 2012). No Brasil, seu uso ampliou-se a partir da década de 1980 (MARQUES et al., 2010) trazendo diversas vantagens para o consumidor (SANTOS; FREIRE; COSTA, 2012), além delas serem distribuídas gratuitamente durante as compras, fazendo com que a população se habituasse ao uso (ALVES SOBRINHO, 2009).

O plástico vem tomando conta do planeta desde 1862, quando foi inventado pelo inglês Alexander Parkes, reduzindo os custos comerciais e alimentando os impulsos consumistas da civilização moderna. Entretanto, os estragos causados pela disposição indiscriminada de plásticos na natureza, tornaram o consumidor um colaborador passivo de um desastre ambiental de grandes proporções (FERNANDES, 2006).

Pensando em problemas ambientais causados pelo acúmulo de resíduos urbanos e industriais, os produtos que causam maiores danos são sempre aqueles mais resistentes à degradação natural. O plástico, em sua composição natural, é um polímero não biodegradável e o seu consumo acompanha o crescimento das grandes cidades por este ser um produto de baixo custo e versátil (ZOCH, 2013).

Os plásticos são materiais formados pela união de grandes cadeias moleculares chamadas meros, que, por sua vez, são formados por moléculas menores, chamadas monômeros e são produzidos através de um processo químico chamado polimerização, que proporciona a união química de

monômeros para formar polímeros (SINDICATO DA INDÚSTRIA DO MATERIAL PLÁSTICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS - SIMPLAST, 2010). Tais polímeros podem ser de origem natural ou sintética. Os polímeros de origem natural são comuns em animais e plantas, tais como madeira, chifre de boi, cabelos, seda, fibra de algodão, entre outros. Já os polímeros de origem sintética são adquiridos através de reações químicas pelo homem, como o polipropileno (PP), o politereftalato de etileno (PET), o polietileno (PE) e o policloreto de vinila (PVC) (SPINACÉ; DE PAOLI, 2005).

Os plásticos apresentam características bem definidas, sendo elas a resistência à corrosão, baixa densidade, isolamento elétrico, baixa resistência à tração, baixo módulo de elasticidade, baixa resistência às altas temperaturas, coeficiente de dilatação elevado, combustibilidade, baixa condutibilidade térmica e alta resistência à biodegradação. Esta última propriedade, desejada na vida útil do material, torna-se problemática no seu descarte final (CHAMMA, 2004).

Os polímeros se classificam como termoplásticos, ou seja, aqueles que permitem ser remoldados após o resfriamento, pois não sofrem alterações em sua composição química enquanto são aquecidos; e termofixos, que não são mecanicamente recicláveis, pois uma vez moldados não permitem ser fundidos e remoldados novamente. O plástico tem como sua principal matéria-prima o petróleo, que é formado através de uma mistura complexa de compostos (BOSCO, 2010).

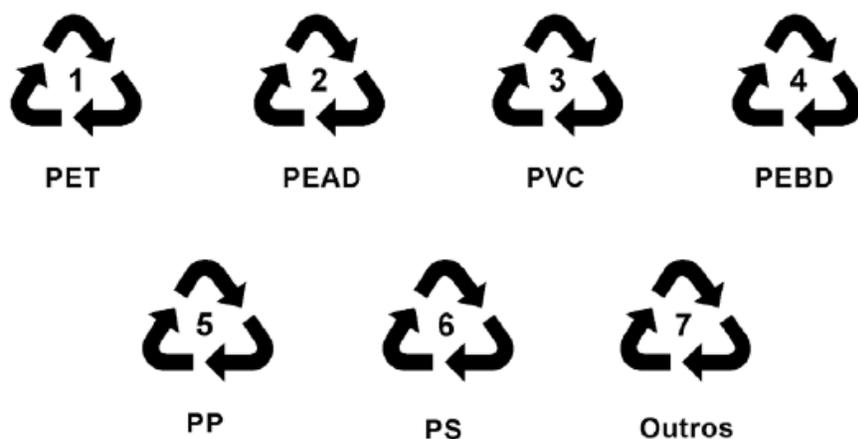
Em relação ao polietileno, polímero que foi utilizado neste estudo, existem dois grupos que são mais utilizados na fabricação de sacolas plásticas: os de alta (HDPE - *High-density polyethylene*) e o de baixa densidade (LDPE - *Low density polyethylene*). Nesses grupos existem muitas variações que permitem ressaltar aspectos desejados nas sacolas plásticas (maior ou menor brilho, resistência, facilidade de abertura, etc.). Uma vez que chega a resina de

polietileno às instalações, segue-se uma série de passos da transformação. Os mais importantes são três: a extrusão, a impressão e o corte. No caso específico das sacolas de supermercado, a matéria-prima é o plástico filme, produzido a partir de uma resina chamada polietileno de baixa densidade (PEBD) (FABRO et al., 2007).

No Brasil, estima-se que o uso de sacola plástica seja de 41 milhões por dia, 1,25 bilhão por mês e 15 bilhões de unidades de sacolas por ano. No entanto, dados da Associação Brasileira de Supermercados (Abras) indicam que, no mundo, são distribuídas de 500 bilhões a 1 trilhão de sacolas plásticas por ano (BRASIL, 2016). Abandonados em aterros, esses sacos plásticos impedem a passagem da água, retardando a decomposição dos materiais biodegradáveis e dificultando a compactação dos detritos (AGENDA AMBIENTAL, 2016).

As embalagens plásticas, por sua vez, são mais facilmente recicladas se separadas por tipos de plásticos. Spinacé e De Paoli (2005) afirmaram que, no Brasil, em empresas de reciclagem, a separação dos polímeros é feita principalmente de forma manual e a sua classificação é facilitada por meio da simbologia que deve estar presente no produto, como pode ser visto na figura abaixo.

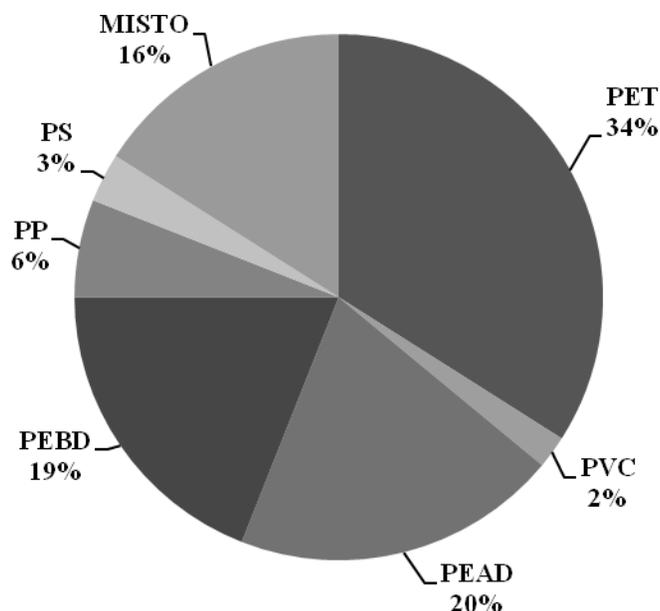
Figura 2 - Simbologia utilizada para identificação de embalagens poliméricas, Norma NBR 13.230 da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas). Spinacé e De Paoli (2005). Onde PET= poli (tereftalato de etileno); PEAD= polietileno de alta densidade; PVC= poli (cloreto de vinila); PEBD= polietileno de baixa densidade; PP= polipropileno; PS= poliestireno.



Fonte: Spinacé e De Paoli (2005).

Existem alguns tipos de plásticos que são encontrados com maior frequência no lixo urbano, pois suas aplicações são muito úteis. A Figura 3 mostra as porcentagens de alguns tipos de plásticos mais encontrados no lixo urbano (COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM - CEMPRE, 2014).

Figura 3 - Composição média dos resíduos plásticos rígidos separados em programas de coleta.



Fonte: Póvoa Neto et al. (2011).

De acordo com a Figura 3, podemos perceber que o tipo de plástico mais encontrado no lixo urbano em programas de coleta seletiva é PEAD/PEBD. O PEBD e o PEAD são os materiais utilizados para a fabricação das sacolas plásticas que são fornecidas pelo supermercado, isso mostra que elas estão ocupando a maior parte do lixo que tem causado problemas ambientais de poluição no mundo (PÓVOA NETO et al., 2011).

Um artigo da Reuter que foi publicado em 2008 dá um balanço dos países que já controlam ou proíbem o uso das sacolas plásticas (ESTOCOLMO, 2010):

- a) O primeiro grande país a banir as sacolas foi Bangladesh, em 2002. O país culpou os milhões de sacolas jogadas pelo entupimento de canais e contribuição para as enchentes que deixaram a maior parte do país submerso em 1988.
- b) A Irlanda foi a primeira nação da Europa a tomar decisões no tocante à produção e uso descontrolados de sacolas plásticas ao criar, em 2002, o PlasTax um imposto que cobra 0,15 € ao consumidor por cada sacola distribuída, resultando na arrecadação de cerca de 23 milhões de euros, para serem investidos em projetos ambientais, além de reduzir o consumo de 97%.
- c) Na China, a distribuição gratuita de sacolas plásticas foi proibida a partir de 2008: eram 3 bilhões de sacolas consumidas por dia.
- d) Na Austrália, os varejistas assinaram o programa do governo para banir as sacolas plásticas e já houve queda de 90% no consumo.
- e) No Brasil, leis municipais regulamentam o uso de sacolas, e para evitar a proibição total de sacolas plásticas, a prefeitura de São Paulo desenvolveu um modelo alternativo, que precisa ter, no mínimo, 51% de matéria-prima proveniente de fontes renováveis.

Esses dados mostram que já existem medidas ou hábitos de mudanças de comportamentos em alguns países. Esses trabalhos que têm sido desenvolvidos são muito importantes, pois contribuem reduzindo o consumo e descarte inadequado de sacolas plásticas. No entanto, ainda não é o suficiente diante da gravidade do problema ambiental que elas representam para o planeta. É necessário que todos os países tenham consciência e assumam a sua parcela de responsabilidade, buscando alternativas que possam contribuir para a preservação do meio ambiente (PÓVOA NETO et al., 2011). Este trabalho vem como uma alternativa para dar uma destinação adequada a dois resíduos (bagaço

de cana e sacolas plásticas), além de transformar o que era lixo em matéria-prima.

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. Para a obtenção deste resíduo, a cana-de-açúcar foi submetida ao processo de extração do caldo, conhecido como moagem, que consiste em fazer a cana passar entre dois rolos, com uma pressão preestabelecida aplicada a eles. A moenda extrai o caldo, como também produz bagaço, no final do processo. Após a obtenção e coleta do resíduo, o mesmo foi levado para Unidade Experimental de Produção de Painéis de Madeira – UEPAM – da Universidade Federal de Lavras (UFLA), onde foram realizadas as etapas deste estudo.

Os resíduos de sacolas plásticas utilizadas foram doados pela empresa Diplapel, situada na cidade de Divinópolis – MG e levadas à UEPAM para serem processadas. Estes resíduos são provenientes da produção de sacolas plásticas, na etapa em que são realizados os cortes para finalização do produto. As aparas obtidas e as sacolas que apresentarem defeitos são moídas e retornam para o início da linha de produção, sendo processadas em um picador.

A ureia-formaldeído utilizada na confecção dos painéis foi doada pela empresa Si Group Crios Adesivos S/A, situada na cidade de Rio Claro – SP.

3.2 Obtenção das partículas de bagaço de cana

Para a obtenção das partículas de bagaço de cana, o material foi moído em um moinho do tipo martelo. Posteriormente, as partículas foram classificadas em um conjunto de peneiras granulométricas, com o objetivo de descartar partículas grosseiras e uniformizar o tamanho das partículas para a face e para o miolo dos painéis. Para o miolo foram utilizadas as partículas que passaram pela peneira de 12mesh e ficaram retidas na peneira de 20 mesh. Para as faces dos painéis MDP as partículas utilizadas, foram aquelas que passaram pela peneira com abertura de 20mesh. Após serem classificadas, as partículas foram secas em estufa a 70°C, até que atingissem uma umidade próxima de 5%.

3.3 Caracterização das partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resíduo de sacolas plásticas

Nesse item estão descritas as caracterizações morfológica, física e química das partículas de bagaço de cana e, para as partículas de sacola plástica, estão descritas as características físicas e morfológicas.

3.3.1 Caracterização morfológica

A caracterização anatômica do material lignocelulósico e da sacola plástica foram realizadas conforme recomendações de Muniz e Coradin (1991) e segundo norma IAWA Committe (1989). Na mensuração das partículas, foram obtidas informações relativas ao seu comprimento e espessura, sendo adotada uma base amostral de 30 medições que foram realizadas utilizando o Software ImageJ. Com esses dados, foi calculada a razão de esbeltez das partículas, que é a relação entre o comprimento e a espessura das partículas (FERREIRA, 2013).

3.3.2 Densidade das partículas

A determinação da densidade básica das partículas de bagaço de cana foi realizada de acordo com metodologia adaptada da norma NBR 11941 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, 2003a), onde é necessário que o material lignocelulósico adquira o volume máximo permitido por sua estrutura e, para isso, o mesmo foi depositado em um béquer com água para a saturação. Posteriormente, o material foi coado para retirada do excesso de água e, em seguida, imerso em uma proveta contendo água destilada.

O volume de água deslocado se refere ao volume do material. Após este processo, o material foi retirado da proveta e colocado em coadores de papel para secagem completa em estufa, a 80 °C, por um período de 24 horas. As amostras foram retiradas da estufa e mantidas em dessecador para resfriamento, e após, foram pesadas. A densidade básica das partículas foi calculada dividindo a massa seca pelo volume saturado das partículas.

A densidade do resíduo plástico foi fornecida pelo fabricante.

3.3.3 Caracterização química das partículas de bagaço de cana

Para a caracterização química, o bagaço de cana foi processado em um moinho martelo e as partículas passaram por uma classificação em peneiras granulométricas de 40 e 60 *mesh*. Os testes químicos foram realizados em triplicata.

O material lignocelulósico foi caracterizado quimicamente para quantificar o teor de cinzas, extrativos, lignina, holocelulose, celulose e hemicelulose. Para isso, foram utilizadas as normas destacadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Normas utilizadas para análise da composição química do bagaço de cana.

TEOR	NORMAS
Cinzas	NBR 13999 (ABNT, 2003b)
Extrativos	NBR 14853 (ABNT, 2010b)
Lignina	NBR 7989 (ABNT, 2010a)
Holocelulose	Browning (1963)
Celulose	Kennedy, Phillips e Willians (1987)
Hemicelulose	(Holocelulose – Celulose)

Fonte: Do autor (2017).

3.4 Plano experimental e produção dos painéis

O estudo foi dividido em duas etapas. Todos os painéis foram produzidos com três camadas e com média densidade. A primeira etapa avaliou o efeito da temperatura de prensagem sobre a qualidade dos painéis produzidos com adição de resíduos plásticos (sacolas plásticas). A melhor temperatura de prensagem foi determinada através da análise das propriedades físicas e mecânicas dos painéis. Na segunda etapa do estudo, foram produzidos os painéis com substituição parcial das partículas de bagaço de cana-de-açúcar do miolo por resíduos de sacolas plásticas e utilizando a temperatura de prensagem definida na primeira etapa do trabalho, com o objetivo de avaliar as propriedades físicas e mecânicas nas diferentes proporções de sacolas plásticas.

Com a finalidade de definir qual a melhor temperatura de prensagem para os painéis, visto que a temperatura é um dos fatores importantes no processo de produção, foi realizado inicialmente um pré-teste, no qual foram testadas quatro diferentes temperaturas. Os painéis foram submetidos aos ensaios físicos e mecânicos, buscando avaliar qual a melhor temperatura a ser adotada. Foram utilizados 20% de resíduos de sacolas plásticas em substituição às partículas do miolo, pois essa foi a porcentagem máxima utilizada no presente trabalho. Na Tabela 2 abaixo está descrito o plano experimental.

Tabela 2 - Plano experimental da primeira etapa de estudo.

Tratamento	% Adesivo face	% Adesivo miolo	% sacola plástica	% partículas BCmiolo	Temperatura
T1	12	8	20	80	160
T2	12	8	20	80	180
T3	12	8	20	80	200
T4	12	8	20	80	220

Fonte: Do autor (2017).

Na Tabela 3 encontra-se o plano experimental dos painéis da segunda etapa. Na produção dos painéis MDP, as sacolas plásticas foram utilizadas como substituição nas proporções de 0, 5, 10, 15 e 20% em relação à massa total de partículas de bagaço de cana do miolo dos painéis.

Tabela 3 - Tratamentos avaliados na segunda etapa do estudo.

Tratamento	% sacola plástica	% partículas BC miolo
T1	0	100
T2	5	95
T3	10	90
T4	15	85
T5	20	80

Fonte: Do autor (2017).

Os painéis produzidos foram do tipo MDP, com densidade nominal de 0,70 g/cm³ e com uma distribuição percentual das partículas de 20/60/20 (face/miolo/face) em relação a sua massa total. A aplicação do adesivo às partículas do miolo e das faces de cada painel foi realizada de forma separada. Foram utilizados 12% de adesivo nas faces e 8% de adesivo no miolo, o adesivo utilizado foi à base de ureia-formaldeído. Para cada tratamento foram produzidos três painéis.

Após determinar a massa de partículas de cada camada dos painéis, as mesmas foram levadas para uma encoladeira, do tipo tambor giratório, para realizar a aplicação do adesivo através do processo de aspersão. As partículas,

depois de impregnadas de adesivo, foram depositadas em uma caixa formadora do colchão, com dimensões de 30cm x 30cm x 1,5cm, para a distribuição das camadas, uma a uma (face/miolo/face) e levada a pré-prensagem. A pré-prensagem do colchão foi realizada com a aplicação de pressão de 0,4 MPa em uma prensa manual, com objetivo de melhorar a conformação no painel e facilitar o carregamento para a posterior prensagem a quente. Após a pré-prensagem, delimitadores de metal com espessura de 1,5cm foram colocados e o colchão seguiu para a prensagem a quente, utilizando o nível de temperatura determinado para cada tratamento e uma pressão de 4 MPa por um tempo de oito minutos.

Posteriormente, os painéis passaram por um resfriamento em temperatura ambiente, e após, foram esquadrejados em serra circular, com a finalidade de retirar algum efeito de borda gerado no processo de fabricação.

3.5 Retirada dos corpos de prova e avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis

Os painéis ficaram acondicionados em uma sala de climatização com uma temperatura de 20 ± 2 °C e umidade do ar de $65 \pm 3\%$. O processo de retirada dos corpos de prova para os painéis produzidos foi realizada através de uma serra circular.

Para a determinação das propriedades físicas e mecânicas, os painéis MDP foram ensaiados após atingirem massa constante. Na Tabela 4 estão descritos os testes e as normas utilizadas neste trabalho para a avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

Tabela 4 - Ensaios avaliados e normas de execução.

TESTES	METODOLOGIA
Absorção de água após 2h de imersão (AA_2h)	
Absorção de água após 24h de imersão (AA_24h)	
Arrancamento de parafuso	
Dureza <i>janka</i>	
Inchamento em espessura após 2h de imersão (IE_2h)	NBR 14810-2 (ABNT, 2013)
Inchamento em espessura após 24h de imersão (IE_24h)	
Umidade	
Densidade aparente	
Ligação Interna (LI)	
Flexão estática – Módulo de elasticidade (MOE)	DIN-52362 (DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG -DIN, 1982)
Flexão estática – Módulo de ruptura (MOR)	

Fonte: Do autor (2017).

3.6. Caracterização microestrutural

Para a caracterização micro estrutural dos painéis, foi realizada uma avaliação por microscopia eletrônica de varredura (MEV) no Departamento de Fitopatologia da Universidade Federal de Lavras. Os ensaios foram realizados em um equipamento da marca ZEISS, modelo DMS 940. Nos ensaios foram utilizados fragmentos representativos das amostras já ensaiadas no teste de ligação interna com o intuito de observar a interface entre as partículas de sacola plástica e bagaço de cana.

3.7 Condutividade térmica

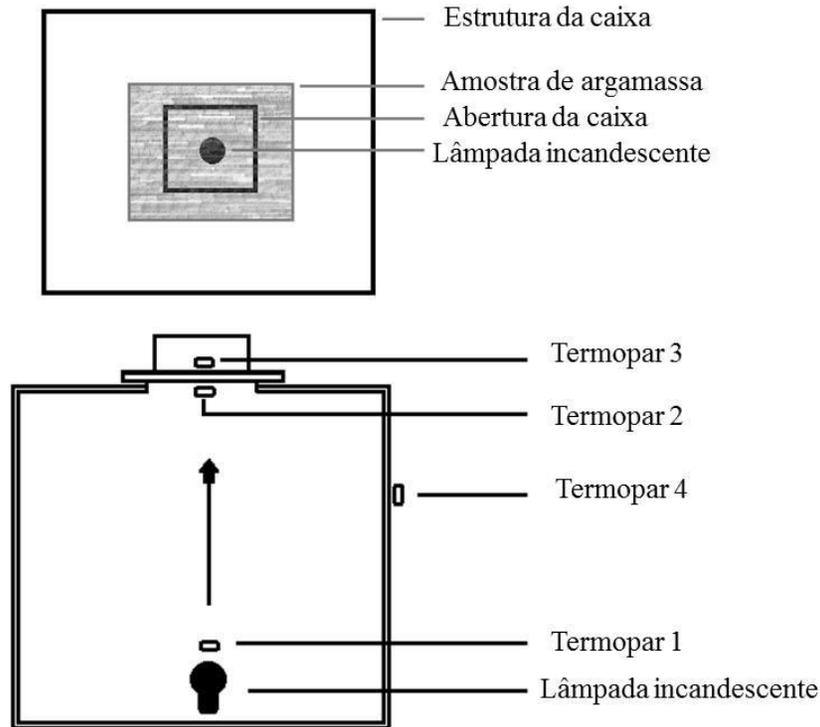
Este ensaio permitiu determinar o efeito das diferentes porcentagens de resíduo de sacolas plásticas sobre o isolamento térmico dos painéis produzidos.

Para o ensaio de condutibilidade térmica, foi utilizado um equipamento advindo de uma adaptação do método da coluna fracionada modificado descrita por Santos (2011) 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, 2013). Para o aquecimento do equipamento utiliza-se uma lâmpada incandescente com temperatura controlada.

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. Para os cálculos das propriedades térmicas foram utilizadas as equações descritas na NBR 15220-2 (ABNT, 2005).

Figura 4 - Esquema do equipamento utilizado para o ensaio térmico.



Fonte: Vilela (2016).

3.8 Análise estatística

Os experimentos foram avaliados obedecendo a um delineamento experimental inteiramente casualizado. Para cada tratamento foram realizadas três repetições. Para os testes físico-mecânicos iniciais, onde foi avaliado efeito da temperatura de prensagem, os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o programa Sisvar, teste de Scott-Knott, ambos a 5% de significância.

Para os resultados físico-mecânicos obtidos pelos tratamentos, foram feitas substituições de bagaço de cana por diferentes porcentagens de resíduo de sacola plástica, submetidos à análise de variância (ANOVA) utilizando o

programa Sisvar, e quando significativa, foi realizada a análise de regressão, a 5% de significância.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização das partículas

4.1.1 Caracterização morfológica

Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios encontrados para a caracterização morfológica das partículas de bagaço de cana e de sacola plástica.

Tabela 5 - Caracterização das partículas de bagaço de cana e de sacola plástica.

Parâmetros	Bagaço de cana		Sacola plástica
	Face	Miolo	
Comprimento (mm)	1,80 ± 0,4	3,59 ± 0,89	5,34 ± 1,05
Espessura (mm)	0,55 ± 0,12	0,74 ± 0,18	4,05 ± 0,85
Razão de esbeltez	3,62 ± 1,29	5,32 ± 1,76	1,36 ± 0,28

Fonte: Do autor (2017).

As partículas de bagaço de cana classificadas para serem utilizadas nas faces dos painéis, apresentaram um comprimento médio de 1,8 mm, sendo o valor máximo de 2,57 mm e o mínimo de 0,88 mm. Para as partículas de bagaço de cana do miolo, foi obtido uma média de 3,59 mm, com um valor mínimo encontrado de 1,97 mm e máximo de 7,93 mm. As partículas de sacola plástica apresentaram um valor médio de comprimento de 5,34mm, com um valor máximo de 7,92mm e mínimo de 3,25mm. Em relação à espessura, as partículas de bagaço de cana da face possuem um valor médio de 0,55mm, sendo o valor máximo de 0,93mm e o valor mínimo de 0,26mm. As partículas de bagaço de cana utilizadas no miolo apresentaram um valor médio de espessura de 0,74mm, sendo o valor máximo de 1,31mm e valor mínimo de 0,41mm. As partículas de sacola plástica possuem um valor médio de espessura de 4,05mm, sendo o valor máximo de 6,4mm e mínimo de 2,61mm.

Em relação à razão de esbeltez, que é a relação entre o comprimento e a espessura das partículas, foi encontrado para as partículas da face, um valor médio de 3,62mm, para o miolo, um valor médio de 5,32mm e para as partículas de sacola plástica, um valor médio de 1,36mm. Segundo Iwakiri (2005), a razão de esbeltez, além de influenciar as propriedades mecânicas e dimensionais, exerce influência sobre a qualidade de acabamento e usinabilidade.

4.1.2 Densidade das partículas

A densidade básica média com o respectivo desvio padrão das partículas de bagaço de cana foi de $0,175 \pm 0,011 \text{ g/cm}^3$.

Mendes et al. (2012) avaliaram o efeito da associação de bagaço de cana, tipo e teor de adesivo nas propriedades físico-mecânicas de painéis aglomerados com madeira de *Pinus spp* e encontraram para densidade básica do bagaço de cana um valor médio de $0,098 \text{ g/cm}^3$.

Em estudo realizado por Barros Filho et al. (2011), os autores caracterizaram e compararam painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana-de-açúcar com ureia-formaldeído e melanina-formaldeído e, para a densidade básica do bagaço, encontraram um valor médio de $0,099 \text{ g/cm}^3$.

Protásio et al. (2013) avaliando resíduos lignocelulósicos brasileiros para produção de bioenergia encontraram para densidade básica para o bagaço de cana-de-açúcar um valor médio de $0,104 \text{ g/cm}^3$.

Ribeiro (2016), estudando painéis MDP produzidos com bagaço de cana tratados termicamente encontrou para a densidade básica do bagaço de cana sem tratamento, um valor médio de $0,166 \text{ g/cm}^3$.

Soares et al. (2017) em seu trabalho, avaliaram as propriedades físicas e mecânicas de painéis aglomerados com diferentes quantidades de bagaço de

cana e madeira de *Eucalyptus grandis*, encontraram para o bagaço de cana uma densidade básica de 0,12 g/cm³.

A diferença entre os valores encontrados para densidade básica das partículas de bagaço de cana tem relação com a origem da matéria-prima.

Para as partículas de sacola plástica, foi encontrado um valor médio de densidade aparente de $0,95 \pm 0,012$ g/cm³. Este valor está coerente com o valor encontrado por Coutinho et al. (2003), que relata para a densidade aparente uma faixa entre 0,94 – 0,97 g/cm³.

4.1.3 Caracterização química das partículas

A composição química das partículas do bagaço de cana está apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 - Composição química do bagaço de cana.

	Média
Holocelulose	62,15 ± 0,69
Celulose	30,71 ± 0,10
Hemiceluloses	31,43 ± 0,10
Extrativos totais	20,87 ± 0,21
Lignina insolúvel	21,12 ± 0,28
Cinzas	0,93 ± 0,19

* Valores médios encontrados em porcentagem na base seca.

Fonte: Do autor (2017).

Satyanarayana et al. (2007), avaliaram a composição química de bagaços de cana de diversos países. Para a avaliação do bagaço de cana brasileiro, encontrou teores variando entre 54,3 a 55,2 % de celulose, 25,3 a 24,6% de lignina, 16,8 a 29,7% de hemicelulose, 0,9 a 1,1% de cinzas e 0,7 a 3,5% de extrativos.

Em um estudo sobre resíduos lignocelulósicos brasileiros para a produção de bioenergia, Protásio et al. (2013) obtiveram valores para a

composição química do bagaço de cana de 26,7% de lignina, 55,7% holocelulose, 16,6% de extrativos e 1% para cinzas. A diferença entre os teores encontrados pelos autores e neste trabalho, é decorrente do método utilizado na análise química e também da procedência do material.

Os extrativos do material são os principais responsáveis pelo pH que ele apresenta. Esse pH pode influenciar na cura do adesivo, já que a presença dessas substâncias favorecem o pré-endurecimento do mesmo. Em relação ao teor de cinzas, Iwakiri et al. (2005) afirmam que esses componentes da biomassa encontram-se geralmente em teores muito baixos e não afetam diretamente as propriedades adesivas do painel. A quantidade de hemicelulose se mostrou elevada, o que pode contribuir para o aumento da absorção de água dos painéis de cana-de- açúcar, e demonstra ainda mais a necessidade de processos e inserção de materiais para melhorar a qualidade final dos painéis MDP.

4.2 Avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis com variação de temperatura de prensagem

4.2.1 Propriedades físicas

Na Tabela 7 estão apresentados os valores médios encontrados para densidade aparente, razão de compactação e umidade dos painéis em função dos níveis de temperatura avaliados durante a prensagem.

Tabela 7 - Densidade aparente, razão de compactação e umidade dos painéis produzidos em função da temperatura de prensagem.

Tratamento	Densidade aparente (g/cm³)	Razão de compactação	Umidade (%)
160°C	0,592 ± 0,01 A	3,485 ± 0,01 A	5,83 ± 0,3 A
180°C	0,591 ± 0,02 A	3,480 ± 0,02 A	5,89 ± 0,12 A
200°C	0,603 ± 0,01 A	3,549 ± 0,01 A	5,65 ± 0,08 A
220°C	0,609 ± 0,03 A	3,581 ± 0,02 A	5,07 ± 0,41 A

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

Fonte: Do autor (2017).

Não houve diferença estatística da densidade aparente, razão de compactação e umidade em função da temperatura aplicada.

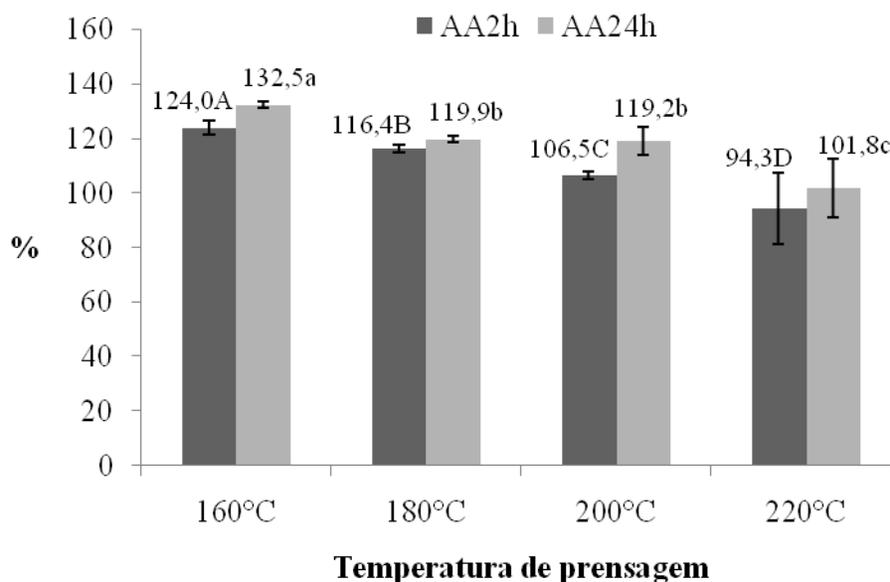
Os valores médios da densidade aparente variaram de 0,591 a 0,609 g/cm³, o que caracteriza os painéis como média densidade, de acordo com a classificação da NBR 14810-2 (ABNT, 2013) que estabelece intervalo de 0,55 à 0,75 g/cm³. De acordo com Iwakiri (2005), os painéis de partículas podem ser classificados em média densidade se estiverem dentro da faixa de 0,59 a 0,80 g/cm³. Tendo como referência a densidade dos painéis de 0,70g/cm³, os baixos valores de densidade observados, podem ser atribuídos à especificidade das condições laboratoriais em relação ao processo industrial, com perdas de materiais durante o manuseio das partículas nas etapas de aplicação de adesivo, formação do colchão e prensagem dos painéis.

A razão de compactação dos painéis produzidos com bagaço de cana variou entre 3,42 a 3,58. Esses valores são 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. Ribeiro (2016) encontrou para a razão de compactação dos painéis produzidos com bagaço de cana sem e com tratamento térmico valores entre 3,77 a 4,55.

Os painéis produzidos apresentaram valor de umidade entre 5,07 a 5,89%, e se encaixam com os valores médios estipulados pela NBR 14810-2 (ABNT, 2013), para chapas de madeira aglomerada, que devem estar entre 5% e 11% e atendem também a norma de comercialização EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993) que estipula como valores adequados de umidade dos painéis a faixa de 5 a 13%. Oliveira et al. (2016) encontraram para painéis comerciais de bagaço de cana, um valor médio de 9% de umidade dos painéis.

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 5.

Figura 5 - Absorção de água dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes temperaturas de prensagem.



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

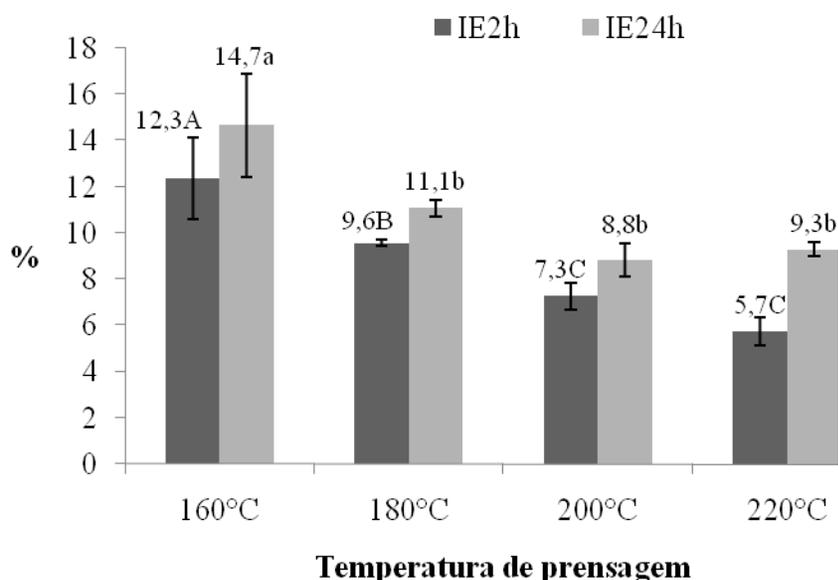
Fonte: Do autor (2017).

Observa-se que houve diferença significativa entre todos os tratamentos para a propriedade absorção de água após 2 horas de imersão (AA2h). À medida que houve aumento da temperatura de prensagem, foi observada a redução dos valores médios de absorção de água. Essa redução está associada à degradação dos grupos hidroxilas do bagaço de cana, à medida que se aumenta a temperatura de prensagem (CONTE et al., 2014; TJEERDSMA; MILITZ, 2005), assim como também ao maior amolecimento da lignina, a qual promove maior aproximação das partículas e diminuição dos espaços vazios do painel (FIGUEROA; MORAES, 2009).

Para absorção de água após 24 horas de imersão (AA24h), os painéis produzidos com temperatura de prensagem 220°C diferenciaram-se estatisticamente dos demais tratamentos, apresentando o menor valor médio de absorção de água. Os painéis produzidos com a temperatura de prensagem de 180°C e 200°C se mostraram iguais estatisticamente e diferenciaram-se dos painéis prensados a 160°C, obtendo menores valores médios. Assim como explicado para a AA2h, a redução da AA24h está associada à diminuição dos grupos hidroxilas em função do aumento da temperatura, principalmente as relacionadas as hemiceluloses que apresentam valores elevados no bagaço de cana (Tabela 2), e apresenta temperatura de degradação baixa, nas faixa de 180°C a 280°C, com pico máximo de 220°C (FIGUEROA; MORAES, 2009; MODES et al., 2017; OLIVEIRA et al., 2017).

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 6.

Figura 6 - Inchamento em espessura dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes temperaturas de prensagem.



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

Fonte: Do autor (2017).

Os painéis produzidos com a temperatura de 160°C diferenciaram-se estatisticamente dos demais tratamentos, obtendo os maiores médios de IE2h e IE24h. As temperaturas de prensagem de 200 e 220°C apresentaram igualdade estatística e diferenciaram-se da temperatura de 180°C, obtendo os menores valores de IE2h. Não houve diferenciação entre as temperaturas de prensagem de 180, 200 e 220°C quando avaliada a propriedade IE24h.

O menor inchamento em espessura após duas horas de imersão em água dos tratamentos com temperatura de prensagem de 200 e 220°C em relação aos tratamentos com 180 e 160°C está relacionado à menor absorção de água das partículas de bagaço de cana desses painéis, devido ao maior recobrimento do

resíduo plástico e o impedimento de absorção de água pela parede celular das partículas (Figuras 10 e 11). No entanto, após o aumento do tempo de exposição à água já ocorre maior penetração da água na parede celular das partículas, promovendo igualdade estatística entre os tratamentos.

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.

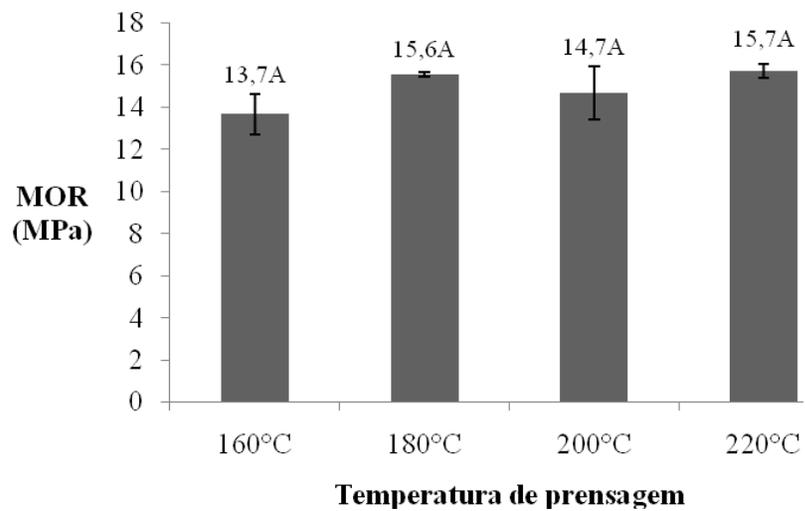
Barros Filho et al. (2011), avaliando a qualidade de painéis aglomerados com bagaço de cana em associação com a madeira de eucalipto e pinus, e utilizando adesivos ureia-formaldeído e melamina-formaldeído, obtiveram valores médios variando entre 7,0 a 26,5% para o IE2h e de 16,3 a 36,2% para o IE24h.

Os resultados obtidos para as propriedades físicas foram satisfatórios de acordo com os dados obtidos na literatura. De acordo com a norma NBR 14.810 (ABNT, 2013), todos os tratamentos atendem à norma, que estipula o valor máximo de 15% para o inchamento em espessura após vinte e quatro horas. A norma EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993) estipula o valor máximo de 8% para inchamento em espessura após vinte e quatro horas de imersão e nenhum dos tratamentos atendem à norma.

4.2.2 Propriedades mecânicas

Os valores médios de módulo de ruptura (MOR) e Módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática e de Ligação Interna (LI), para cada tratamento, estão apresentados nas Figuras 7,8 e 9, respectivamente.

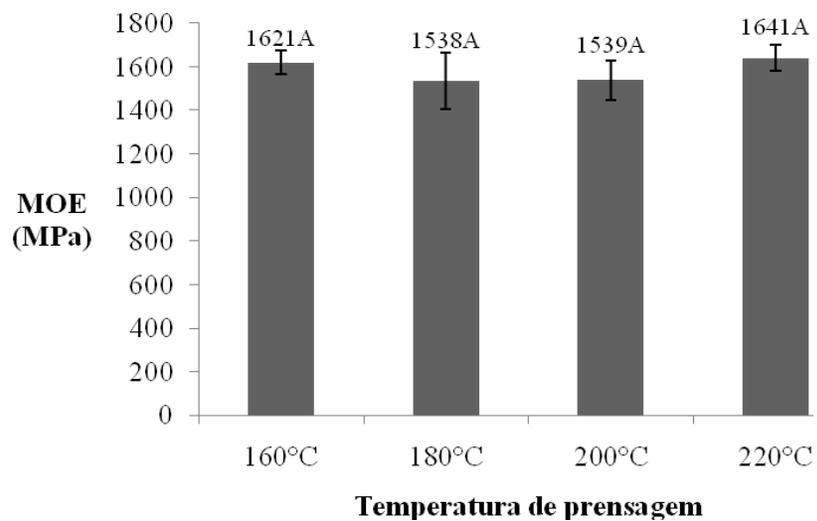
Figura 7 - Módulo de ruptura (MOR) dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes temperaturas de prensagem.



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

Fonte: Do autor (2017).

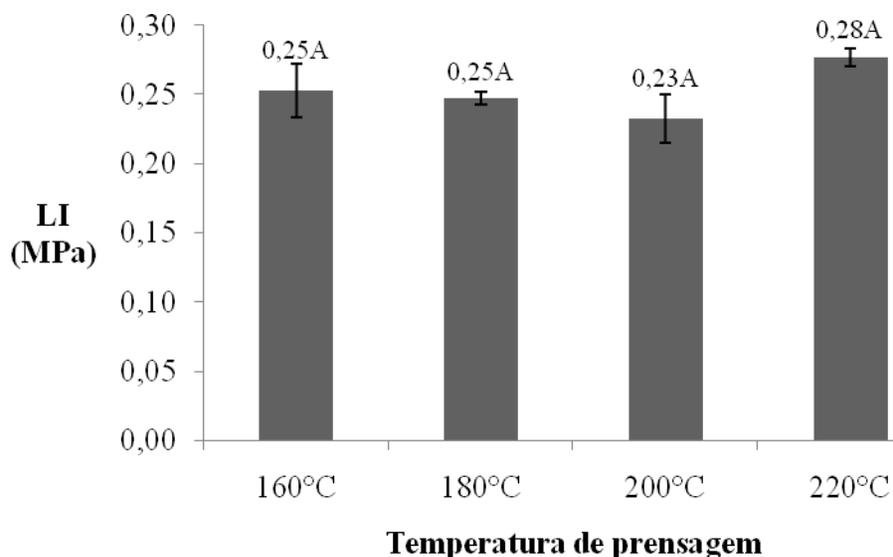
Figura 8 - Módulo de elasticidade (MOE) dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes temperaturas de prensagem.



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

Fonte: Do autor (2017).

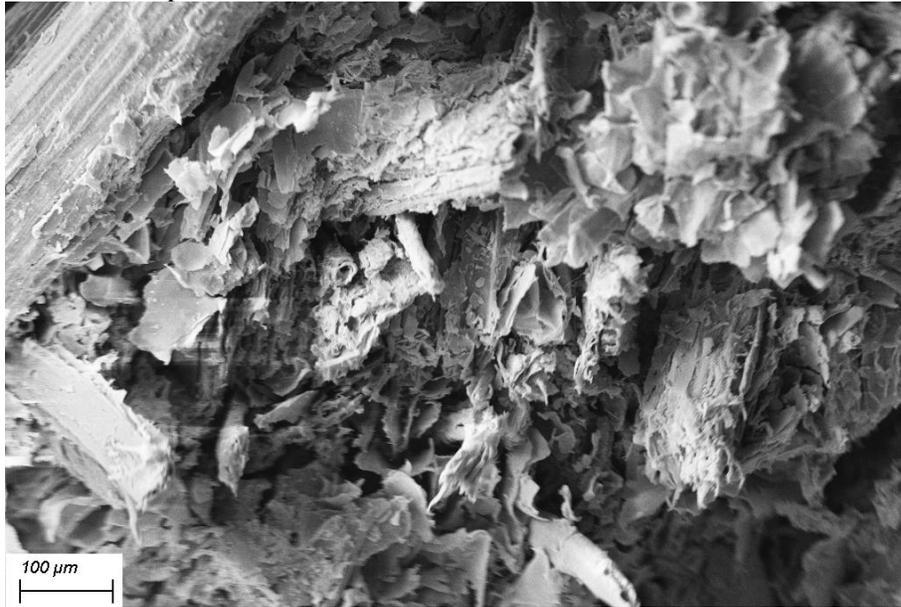
Figura 9 - Ligação interna (LI) dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes temperaturas de prensagem.



*Médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de média Scott-Knott, a 5% de significância.
Fonte: Do autor (2017).

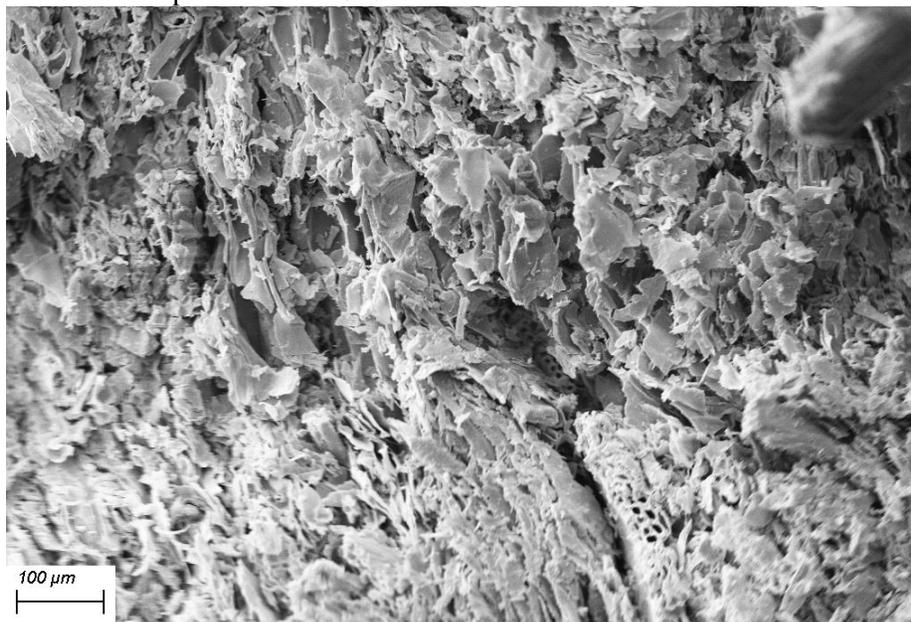
Os painéis produzidos com as diferentes temperaturas de prensagem não se diferenciaram estatisticamente quanto às propriedades de MOR e MOE à flexão estática e de ligação interna. Demonstrando que as partículas de resíduos de sacolas plásticas não promovem interação química e/ou mecânica adequada entre as partículas de bagaço de cana (Figura 10 e 11), não promovendo assim efeito sobre as propriedades de ligação entre as partículas (Figura 9).

Figura 10 - Microscopia eletrônica de varredura para os painéis produzidos na temperatura de 160°C.



Fonte: Do autor (2017).

Figura 11 - Microscopia eletrônica de varredura para os painéis produzidos na temperatura de 220°C.



Fonte: Do autor (2017).

Os baixos valores médios encontrados para ligação interna podem estar relacionados com a menor quantidade de adesivo disponível por partícula, visto que, para obter um painel MDP de densidade nominal $0,70\text{g/cm}^3$, é necessário uma maior quantidade de partículas de bagaço de cana quando comparado com painéis de partículas de pinus e eucalipto, devido à menor densidade básica do bagaço de cana (OLIVEIRA et al., 2016).

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, de MOR

variando entre 9,5 a 11,5 MPa e obtiveram valores médios de ligação interna entre 0,40 a 0,54 MPa.

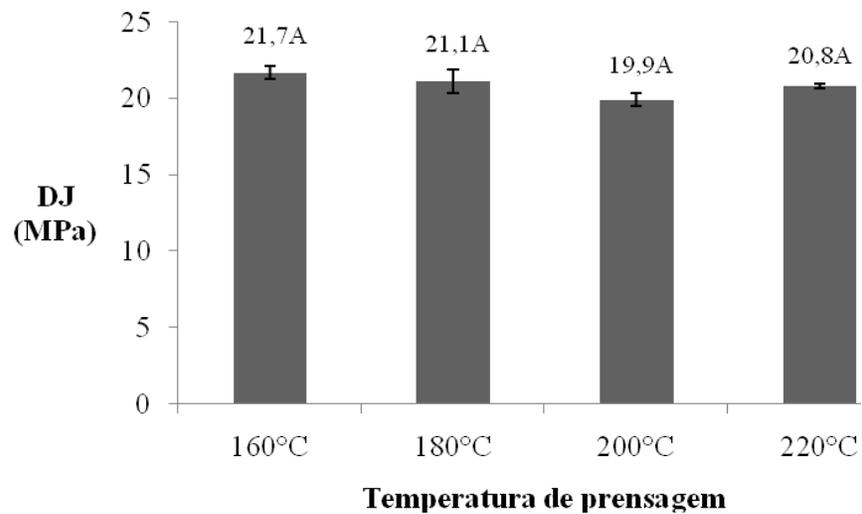
Barros Filho et al. (2011) ao avaliarem a qualidade de painéis aglomerados com bagaço de cana em associação com a madeira de eucalipto e pinus e utilizando adesivos ureia-formaldeído e melamina-formaldeído, obtiveram valores médios de ligação interna variando entre 0,20 a 0,63 MPa, para o MOE valores que variaram entre 710,8 a 1129 MPa e para o MOR valores entre 3,42 a 5,91 MPa.

Mendes et al.(2012) avaliaram o potencial de diferentes resíduos lignocelulósicos para a produção de painéis, e obtiveram para os painéis de bagaço de cana valores médios de MOE de 1643,19 MPa, para o MOR de 20,99 MPa e para LI, um valor médio de 0,55MPa.

A norma ANSI A208.1 (AMERICAN NATIONAL STANDARD - ANSI, 1999) estabelece para os painéis do tipo standard (M-S) os valores mínimos de 12,8 MPa para o MOR, 1943,8 MPa para o MOE e 0,40 MPa para LIA norma EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993) estipula o valor mínimo de 13 MPa para o MOR, 1800 MPa para o MOE e 0,30 MPa para LIA norma NBR 14810-2 (ABNT, 2013) especifica o valor mínimo de 11 MPa para o MOR, 1600 MPa para o MOE e de 0,40 MPa para ligação interna. Sendo assim, todos os tratamentos atenderam às normas de comercialização quando avaliada a propriedade de MOR à flexão estática. Nenhum tratamento atendeu às normas quanto a propriedades de ligação interna e as normas ANSI A208.1 (ANSI, 1999) e EN 312 (1993) quanto à propriedade de MOE à flexão estática. Os painéis produzidos nas temperaturas de 160 e 220°C atenderam à norma NBR 14810-2 (ABNT, 2013) quanto ao MOE à flexão estática.

Os valores médios para a propriedade de dureza *janka* e arrancamento de parafuso-face (APF) e topo (APT) estão apresentados na Figura 12 e 13, respectivamente.

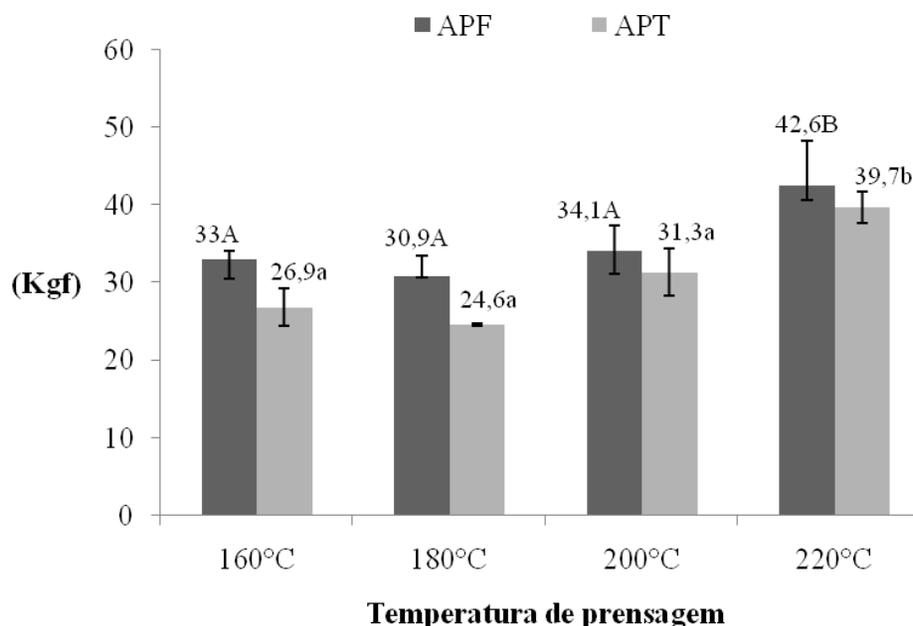
Figura 12 - Dureza *janka* (DJ) dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes temperaturas de prensagem.



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

Fonte: Do autor (2017).

Figura 13 - Arrancamento de parafuso face e topo dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes temperaturas de prensagem.



*Médias seguidas de mesma letra, maiúscula para APF e APT não diferem estatisticamente pelo teste de média Scott-Knott, a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2017).

Não houve efeito da temperatura de prensagem sobre a propriedade de dureza *janka* dos painéis MDP de bagaço de cana e resíduos de sacolas plásticas.

Em relação à propriedade de arrancamento de parafuso na face e no topo, os painéis produzidos com a temperatura de prensagem de 220°C se diferenciaram estatisticamente dos demais tratamentos, obtendo os maiores valores de resistência. Não houve diferença significativa entre os painéis produzidos com as temperaturas de prensagem de 160°C, 180°C e 200°C para o arrancamento de parafuso na face e no topo dos painéis.

A melhora significativa do uso da temperatura de 220°C para a prensagem dos painéis para a propriedade de arrancamento de parafuso está associada ao maior amolecimento do resíduo plástico e o maior preenchimento dos espaços vazios pelo polímero, assim como a maior compactação das partículas pelo fato do amolecimento da lignina, conforme foi discutido para a propriedade absorção de água (Figura 10 e 11).

De acordo com as normas ANSI A208.1 (ANSI, 1993) e ABNT NBR 14.810-2 (ABNT, 2013), que estipulam um valor mínimo de 92 Kgf e 81,6 Kgf, respectivamente, nenhum dos tratamentos conseguiram atender às normas.

O nível de temperatura de prensagem afetou de forma significativa as propriedades AA2h, AA24h, IE2h, IE24h e arrancamento de parafuso de face e topo. Todas as temperaturas avaliadas apresentaram resultados satisfatórios, porém, a temperatura de prensagem de 220°C permitiu a obtenção de painéis de melhor qualidade, sendo, portanto, a temperatura escolhida para o desenvolvimento da etapa 2 desse trabalho, a qual se consistiu da avaliação do efeito da porcentagem de substituição de bagaço de cana por resíduos de sacolas plásticas.

4.3 Avaliação das propriedades físicas e mecânicas dos painéis com variação de % de sacola plástica no miolo

4.3.1 Propriedades físicas

Na Tabela 8 estão apresentados os valores médios encontrados para densidade aparente, razão de compactação e umidade dos painéis em função das porcentagens de substituição de bagaço de cana por resíduos de sacolas plásticas.

Tabela 8 - Densidade aparente, razão de compactação e umidade dos painéis produzidos em função da temperatura de prensagem.

Tratamento	Densidade aparente (g/cm³)	Razão de compactação	Umidade (%)
0%	0,594 ± 0,01 A	3,422 ± 0,02 A	6,24 ± 0,54 A
5%	0,598 ± 0,03 A	3,519 ± 0,02 A	5,90 ± 0,40 A
10%	0,601 ± 0,02 A	3,508 ± 0,01 A	5,82 ± 0,32 A
15%	0,608 ± 0,01 A	3,489 ± 0,01 A	5,58 ± 0,27 A
20%	0,609 ± 0,03 A	3,581 ± 0,02 A	5,07 ± 0,41 A

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

Fonte: Do autor (2017).

Não houve diferença estatística da densidade aparente, razão de compactação e umidade em função das diferentes porcentagens de resíduo plástico utilizadas.

Os valores médios da densidade aparente variaram de 0,594 a 0,609 g/cm³, o que caracteriza os painéis como média densidade, de acordo com a classificação da NBR 14810-2 (ABNT, 2013) que estabelece intervalo de 0,55 à 0,75 g/cm³. De acordo com Iwakiri (2005), os painéis de partículas podem ser classificados em média densidade se estiverem dentro da faixa de 0,59 a 0,80 g/cm³. Tendo como referência a densidade dos painéis de 0,70g/cm³, os baixos valores de densidade observados, podem ser atribuídos à especificidade das condições laboratoriais em relação ao processo industrial, com perdas de materiais durante o manuseio das partículas nas etapas de aplicação de adesivo, formação do colchão e prensagem dos painéis.

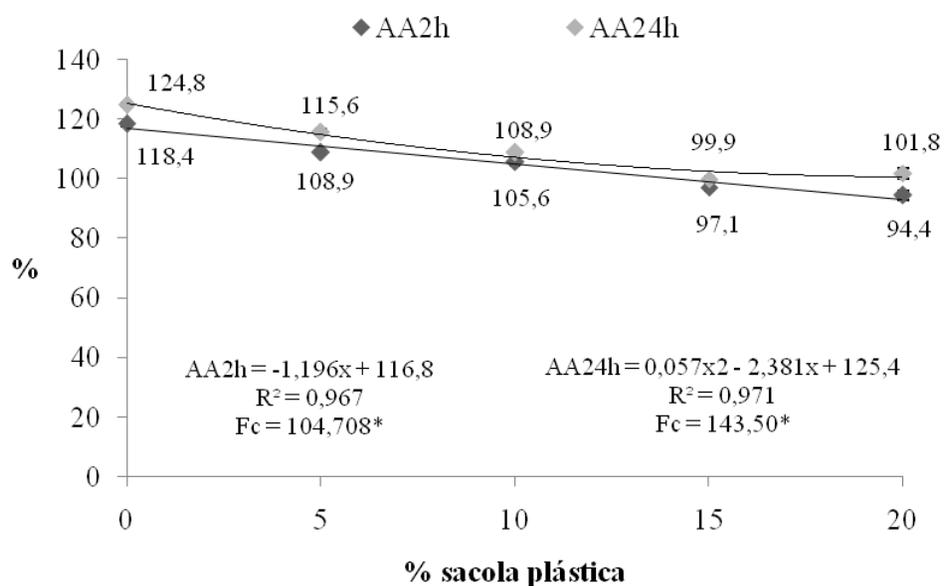
A razão de compactação dos painéis produzidos com bagaço de cana variou entre 3,422 a 3,581. Esses valores são coerentes com os obtidos em literatura para painéis aglomerados produzidos com resíduos agrícolas. Mendes et al. (2010), ao avaliarem o efeito da associação de bagaço de cana com madeira de 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. Ribeiro (2016) encontrou para a razão de compactação dos painéis produzidos com bagaço de cana sem e com tratamento térmico, valores entre 3,77 a 4,55.

Os painéis produzidos apresentaram valor de umidade entre 5,07 a 6,24%, e se encaixam com os valores médios estipulados pela NBR 14810-2 (ABNT, 2013), para chapas de madeira aglomerada, que devem estar entre 5% e 11%.

Os modelos de regressão ajustados em função do aumento da porcentagem de sacola plástica para o valor de absorção de água após 2 e 24 horas de imersão (AA2h e AA24h) estão representados na Figura 14.

Figura 14 - Absorção de água dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes porcentagens de sacola plástica.

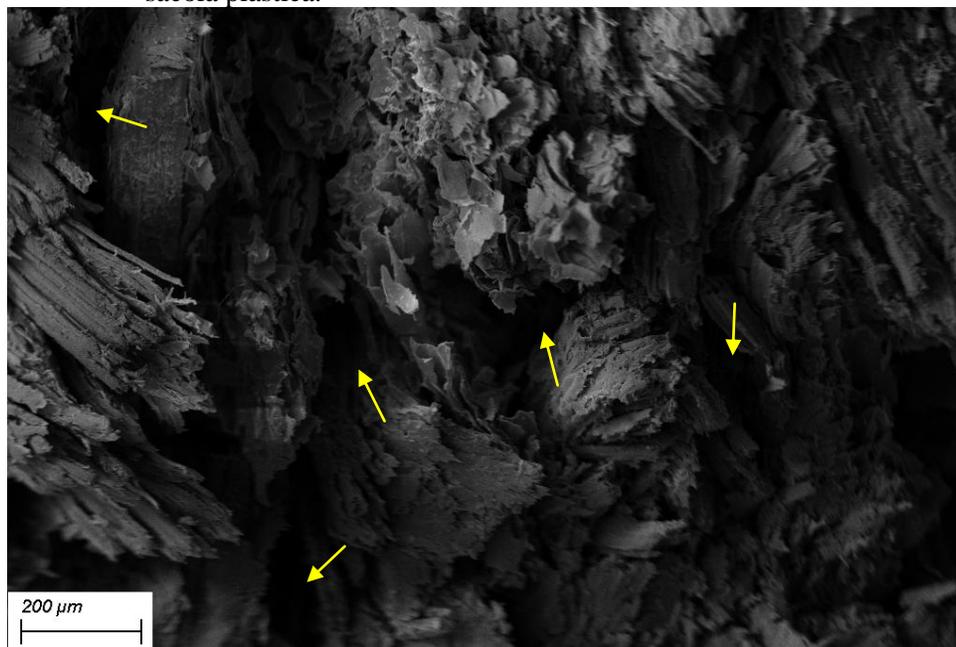


* Regressão significativa a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2017).

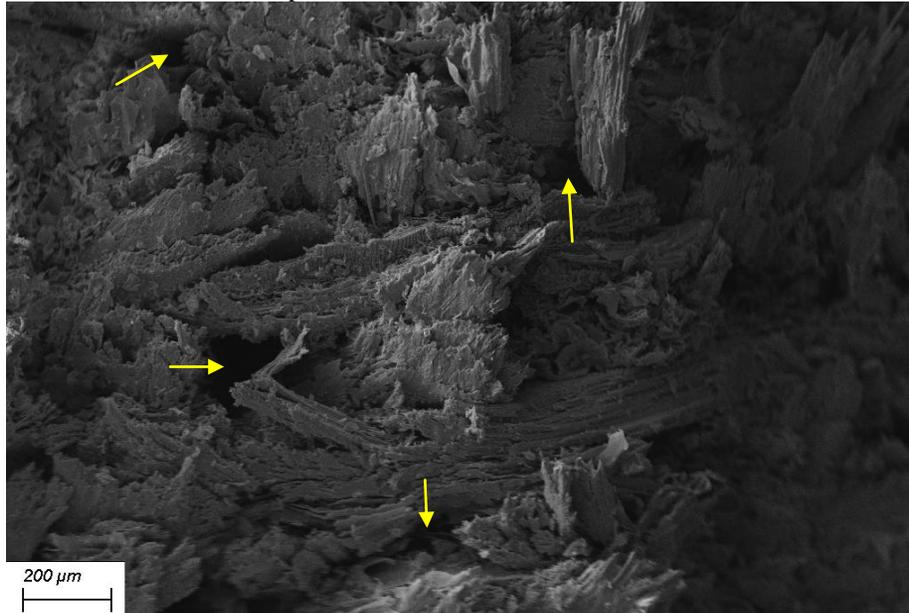
Houve efeito significativo da substituição de bagaço de cana por resíduos de sacolas plásticas para as propriedades de AA2h e AA24h. Em ambas as propriedades, à medida que se aumentou a porcentagem de substituição, ocorreu a diminuição da absorção de água. Fato que está associado às propriedades dos materiais, sendo o bagaço de cana um material hidrofílico e o resíduo de sacolas plásticas hidrofóbico, conforme observado na Tabela 4. Assim como o recobrimento do bagaço de cana, proporcionando uma barreira para absorção de água das partículas e a diminuição da porosidade dos painéis (Figura 15,16 e 17).

Figura 15 - Microscopia eletrônica de varredura para os painéis produzidos sem sacola plástica.



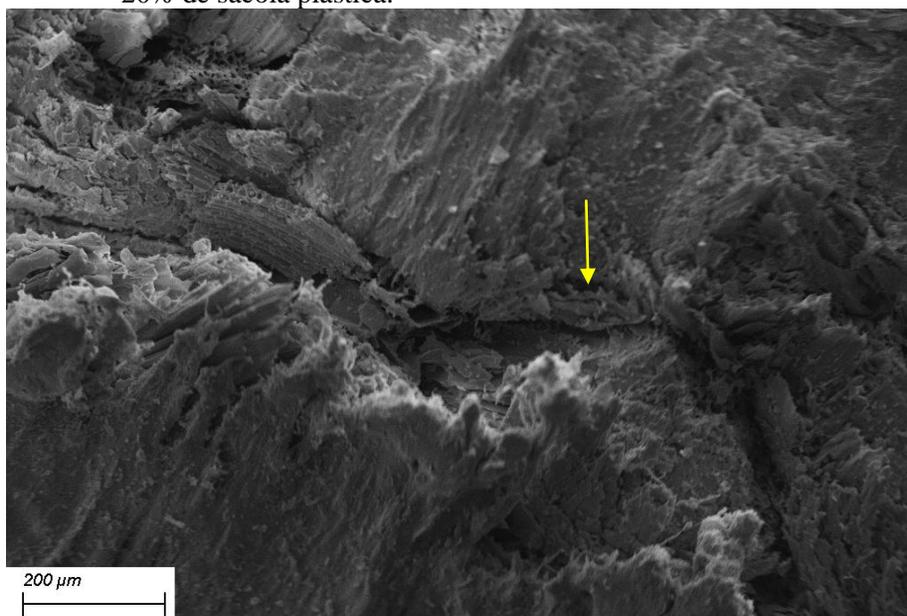
Fonte: Do autor (2017).

Figura 16 - Microscopia eletrônica de varredura para os painéis produzidos com 5% de sacola plástica.



Fonte: Do autor (2017).

Figura 17- Microscopia eletrônica de varredura para os painéis produzidos com 20% de sacola plástica.



Fonte: Do autor (2017).

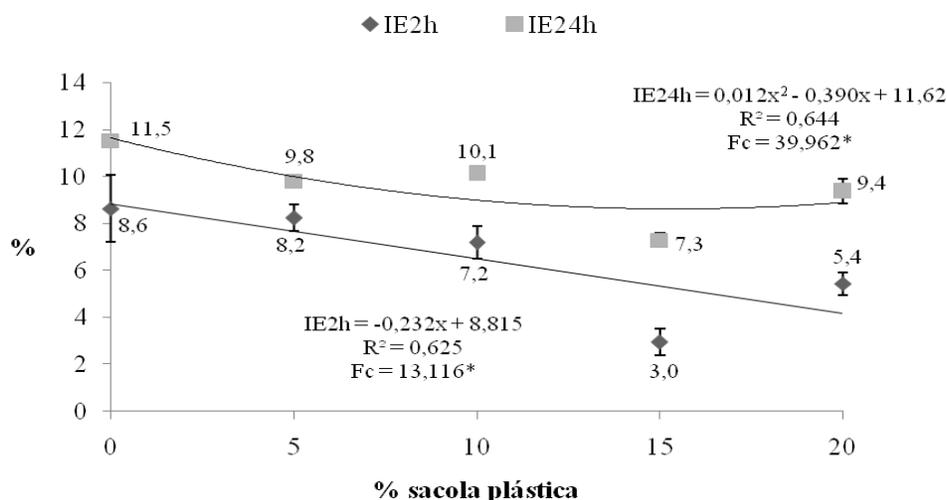
Em estudo feito por Soares et al. (2017), os autores avaliaram a qualidade física e mecânica de painéis aglomerados produzidos com diferentes proporções de eucalipto e bagaço de cana-de-açúcar, e encontraram para absorção de água após 2 horas, valores na faixa de 105 – 120% e para absorção de água após 24 horas, valores entre 125-138%.

Santos et al. (2011) avaliaram painéis aglomerados produzidos com resíduos de madeira de candeia com diferentes porcentagens do plástico tipo PET (polietileno tereftalato) com e sem adição de parafina, e encontram para a AA2h um valor médio de 25,94% para os painéis com parafina, e 41,59% para os ausentes de parafina. Para AA24h, obtiveram valores médios de 54,49% e 64,51% para os painéis com e sem parafina, respectivamente.

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

O modelo de regressão ajustado em função do aumento da porcentagem de sacola plástica para o valor de inchamento em espessura após 2 e 24 horas de imersão (IE2h e IE24h) está representado na Figura 18.

Figura 18 - Inchamento em espessura dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes porcentagens de sacola plástica.



* Regressão significativa a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2017).

Houve efeito significativo da substituição de bagaço de cana por resíduos de sacolas plásticas para as propriedades de IE2h e IE24h. Assim como observado para absorção de água, à medida que se aumentou a porcentagem de resíduos de sacolas plásticas houve redução dos valores de inchamento em espessura. No entanto, observa-se que a porcentagem de 15% de substituição do bagaço de cana por resíduos de sacolas plásticas, promoveu os menores valores de inchamento em espessura dos painéis. Esse fato pode ser explicado pela

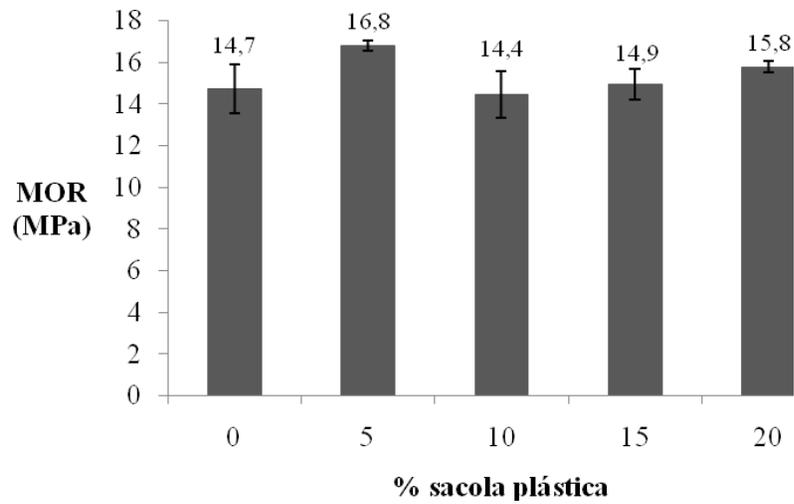
interação entre as partículas de resíduos de sacolas e bagaço de cana, as quais apresentam diferentes geometrias, sendo a geometria dos resíduos de sacola maior que a geometria das partículas de bagaço de cana do miolo dos painéis (Tabela 1), o que em quantidades maiores que 15% já começam a gerar baixo preenchimento dos espaços entre as partículas, devido, provavelmente, à menor eficiência de amolecimento do mesmo e recobrimento das partículas e dos espaços vazios, o que promove maior absorção de água pelas partículas, maior porosidade nos painéis com 20% do que aqueles produzidos com 15% (Figura 18) e conseqüentemente maior inchamento em espessura dos painéis.

De acordo com a norma NBR 14.810 (ABNT, 2013), todos os tratamentos atenderam à norma, que estipula o valor máximo de 15% para o inchamento em espessura após vinte e quatro horas. Em comparação com a norma EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993), que estipula o valor máximo de 8% para o IE24h, somente o tratamento que utilizou 15% de sacola plástica atendeu ao mínimo exigido.

4.3.2 Propriedades mecânicas

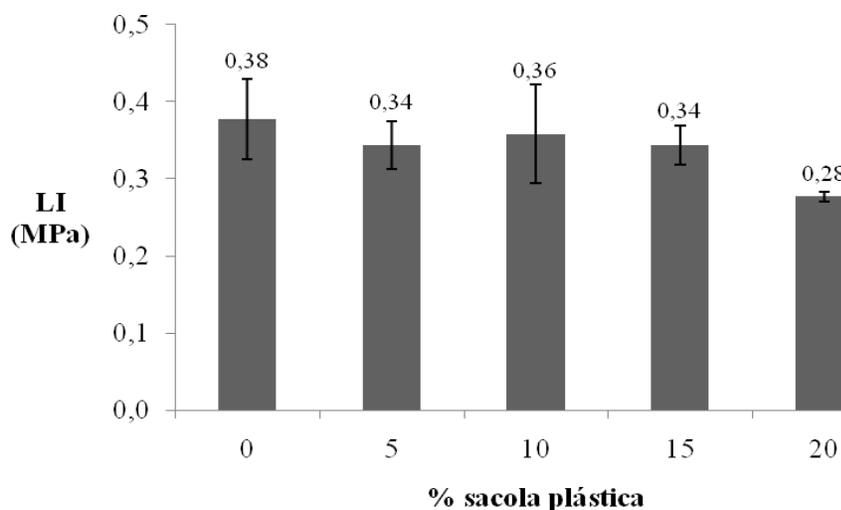
Os valores médios de módulo de ruptura (MOR) à flexão estática e Ligação Interna (LI), para cada tratamento, estão apresentados na Figura 19 e 20. Não houve efeito significativo da adição de resíduos de sacolas plásticas sobre as propriedades de MOR e ligação interna. Sendo possível, para essas propriedades, realizar a utilização de até 20% de resíduos de sacolas plásticas sem prejuízos para a qualidade do painel.

Figura 19 - Módulo de ruptura (MOR) à flexão estática dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes porcentagens de sacola plástica.



Fonte: Do autor (2017).

Figura 20 - Ligação interna dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes porcentagens de sacola plástica.



Fonte: Do autor (2017).

Soares et al. (2017) estudando painéis aglomerados de bagaço de cana em associação com a madeira de eucalipto, encontrou para o MOR valores entre 5,5 a 7MPa.

Ribeiro (2016) avaliando painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana tratadas termicamente, encontrou para o MOR valores entre 10,6 a 16,3 MPa.

Em um estudo feito por Oliveira (2013), onde a autora buscou caracterizar painéis aglomerados visando o uso na indústria moveleira, encontrou um valor médio para LI para os painéis de bagaço de cana de 0,26 MPa.

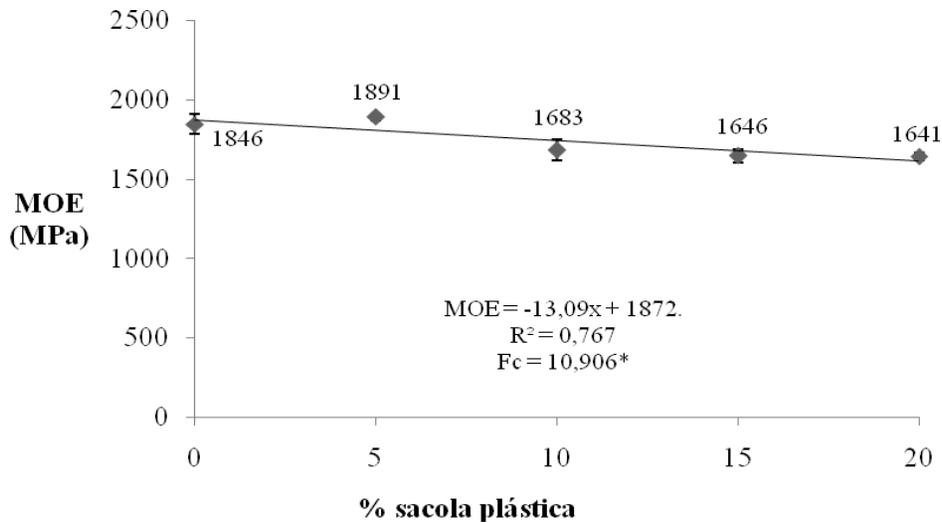
Mendes et al. (2012) avaliando o efeito da associação de bagaço de cana, tipos e teor de adesivo nas propriedades físico-mecânicas de painéis

aglomerados com madeira de *Pinus* spp., obtiveram valores médios de ligação interna entre 0,40 a 0,54 MPa.

A norma ANSI A208.1 (ANSI, 1999) estabelece para os painéis do tipo standard (M-S) os valores mínimos de 12,8 MPa para o MOR e 0,40 MPa para LI. A norma EN 312 (1993) estipula o valor mínimo de 13 MPa para o MOR e 0,30 MPa para LI. A norma NBR 14810-2 (ABNT, 2013) especifica o valor mínimo de 11 MPa para o MOR e de 0,40 MPa para ligação interna. Sendo assim, todos os tratamentos atenderam às normas de comercialização quando avaliada a propriedade de MOR à flexão estática. Para a ligação interna apenas os tratamentos com 0, 5, 10 e 15% atenderam a norma de comercialização EN 312 (1993).

O modelo de regressão ajustado em função do aumento da porcentagem de sacola plástica para o valor de módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática está representado na Figura 21. Houve efeito significativo da substituição do bagaço de cana por resíduos de sacolas plásticas. Observa-se que a adição de 5% mantém a propriedade de MOE dos painéis, seguido de uma pequena queda e estabilização entre as porcentagens de 10, 15 e 20%. Essa redução está relacionada à perda de aderência da sacola, devido, provavelmente, à menor eficiência de amolecimento do mesmo e recobrimento das partículas e dos espaços vazios, como também devido ao menor módulo elástico do resíduo plástico em relação ao bagaço e do menor índice de esbeltez (Tabela 5) o que afeta de forma direta o MOE dos painéis.

Figura 21 - Módulo de elasticidade (MOE) à flexão estática dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes % de sacola plástica.



* Regressão significativa a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2017).

Soares et al. (2017) estudando painéis aglomerados de bagaço de cana em associação com a madeira de eucalipto, encontraram para o MOE valores entre 200 a 600 MPa.

Fiorelli et al. (2011) estudando painéis de partículas à base de bagaço de cana e adesivo de mamona encontraram para MOE um valor médio de 2432 MPa.

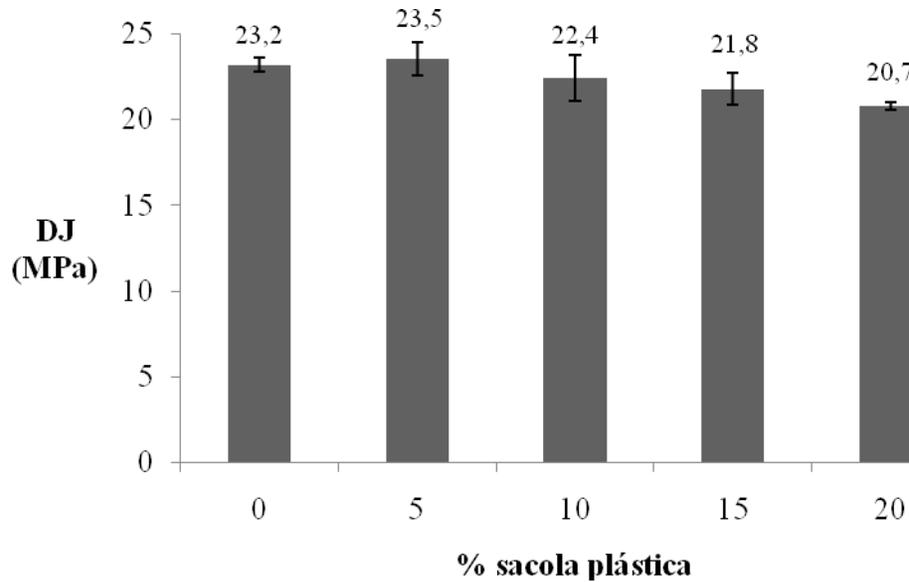
Mendes et al. (2012), ao avaliarem o efeito da porcentagem de associação de bagaço de cana com a madeira de eucalipto (25, 50 e 75%) em diferentes tipos de adesivos (ureia-formaldeído e fenol-formaldeído) e em diferentes teores de adesivo (6, 9 e 12%) na produção de painéis aglomerados, obtiveram valores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

Sartori et al. (2012) estudaram chapas de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e adesivo poliuretano bicomponente à base de óleo de mamona, e encontraram para o Módulo de elasticidade à flexão estática um valor médio de 2848 MPa.

De acordo norma ANSI A208. 1 (ANSI, 1999) que estabelece os valores mínimos de 1943,8 MPa para o MOE, nenhum dos tratamentos atendem ao exigido. Em relação à norma EN 312 (EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 1993) que estipula o valor mínimo de 1800 MPa, somente o tratamento sem sacola plástica e o tratamento com 5% atendem à mesma. Todos os tratamentos atendem à norma NBR 14.810 (ABNT, 2013) que define como valor mínimo 1600 MPa para MOE.

Os valores médios de dureza *janka* (DJ) para cada tratamento estão apresentados na Figura 22. Não houve efeito significativo da porcentagem de resíduo de sacolas plásticas sobre a propriedade de dureza *janka*.

Figura 22 - Dureza *janka* dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes % de sacola plástica.



Fonte: Do autor (2017).

Oliveira et al. (2016), caracterizando painéis aglomerados visando o uso na indústria moveleira, encontraram um valor médio para DJ para os painéis de bagaço de cana de 33,9 MPa.

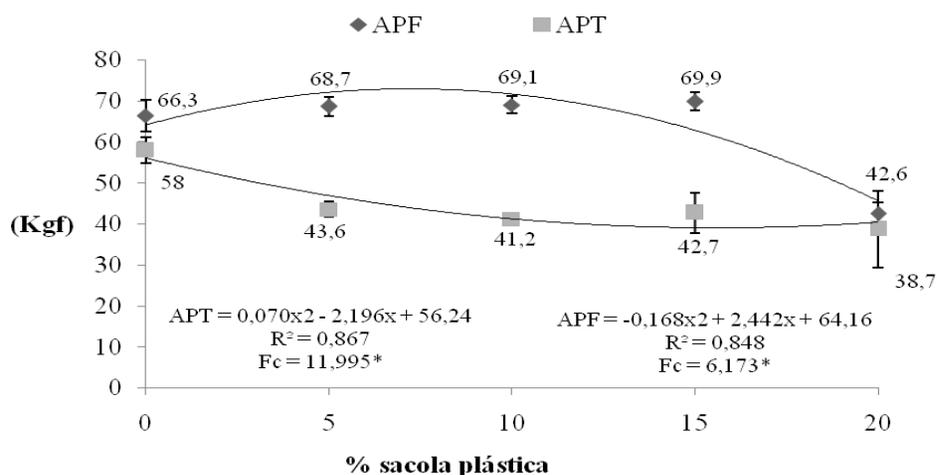
Ao avaliarem a qualidade de painéis aglomerados produzidos com madeiras de *Eucalyptus urophylla* e *Schizolobium amazonicum* em associação com as fibras de vassoura, Bianche et al. (2012) obtiveram valores de dureza *janka* variando entre 34,1 a 50,5 MPa.

De acordo com a norma de comercialização ANSI A208-1 (ANSI, 1993), que exige um valor mínimo de 22,7 MPa para painéis aglomerados, somente o tratamento sem sacola plástica e o tratamento com 5% de sacola plástica atenderam ao exigido pela norma.

Os modelos de regressão ajustados em função do aumento da porcentagem de sacola plástica para o valor de arrancamento de parafuso na face (APF) e no topo (APT) estão representados na Figura 23. Houve efeito significativo da substituição de bagaço de cana por resíduo de sacolas plásticas para as propriedades de arrancamento de parafuso na face e no topo. Para o arrancamento de parafuso da face, houve uma estabilização dos valores até a porcentagem de 15% de substituição, seguida de uma queda abrupta, o que pode estar associado, assim como o discutido para o inchamento em espessura dos painéis, à geometria do resíduo e a ineficiência no derretimento de uma quantidade maior de resíduos plásticos com as maiores porcentagens de substituição.

Para a propriedade de arrancamento de parafuso no topo, houve uma redução com o uso de resíduos plásticos, não tendo uma diferenciação clara entre os tratamentos com utilização de sacolas plásticas.

Figura 23 - Arrancamento de parafuso face e topo dos painéis aglomerados produzidos com partículas de bagaço de cana nas diferentes % de sacola plástica.



* Regressão significativa a 5% de significância.

Fonte: Do autor (2017).

Foram obtidos menores valores médios para o arrancamento de parafuso no topo quando comparados com os valores obtidos para o arrancamento de parafuso na face. Isso ocorre devido às partículas da face apresentarem menores dimensões, promovendo uma maior compactação, e também pelo fato da menor densificação das partículas do miolo.

Oliveira et al. (2016), caracterizando painéis aglomerados visando o uso na indústria moveleira, encontraram um valor médio para arrancamento de parafuso no topo de 5,32 MPa e para arrancamento de parafuso na face de 5,95 MPa, para os painéis de bagaço de cana.

De acordo com as normas ANSI A208.1 (ANSI, 1993) e ABNT NBR 14.810-2 (ABNT, 2013), que estipulam um valor mínimo de 92 Kgf e 81,6 Kgf, respectivamente, nenhum dos tratamentos conseguiram atender às normas.

4.4 Condutividade térmica

Na Tabela 9 estão os valores médios encontrados no ensaio térmico realizado nos painéis de bagaço de cana produzidos com resíduos plásticos.

Tabela 9 - Valores médios de condutividade, resistência e transmitância térmica.

TRATAMENTO	ΔT	λ (W/(m.K))	RT (m ² .K/W)	TT (W/m ² .K)
0%	10,70	0,290	0,052	19,346
5%	11,80	0,263	0,057	17,542
10%	14,65	0,212	0,071	14,130
15%	16,20	0,192	0,078	12,778
20%	17,60	0,177	0,085	11,771

* Onde: ΔT = variação de temperatura; λ = Condutividade térmica; RT = Resistência térmica e TT = Transmitância térmica.

Fonte: Do autor (2017).

A determinação da variação de temperatura entre câmaras foi feita a partir da média coletada pelo termopar incidente da câmara inferior e o máximo valor de temperatura coletada pelo termopar da câmara superior. Esse valor foi usado para complementar o entendimento e auxiliar na predição do isolamento térmico dos painéis de bagaço de cana produzidos com diferentes porcentagens de sacola plástica. De acordo com os resultados obtidos, com o aumento da porcentagem de resíduo plástico no painel, aumentou sua capacidade de isolamento térmico e diminuiu a condutividade térmica, e isso ocorreu devido o plástico ser um bom isolante. Sabe-se que um bom isolante térmico é caracterizado por apresentar baixa densidade e condutividade térmica baixa (LABRINCHA; SAMAGAIO; VICENTE, 2006), características painel do bagaço de cana.

5 CONCLUSÕES

Houve efeito da temperatura de prensagem sobre as propriedades dos painéis aglomerados de bagaço de cana e resíduos de sacolas plásticas. Os painéis produzidos com a temperatura de 220°C obtiveram os melhores resultados.

Em relação às diferentes porcentagens de sacolas plásticas utilizadas em substituição das partículas do miolo dos painéis, o tratamento com 15% de sacola plástica apresentou os melhores resultados para as propriedades físicas, e o tratamento com 20%, apresentou os melhores resultados para as propriedades mecânicas. De acordo com a utilização do painel, é viável a produção de painéis MDP de bagaço de cana com 15% de sacola plástica no miolo.

A adição de resíduos de sacolas plásticas promoveu melhora significativa do isolamento dos painéis MDP de bagaço de cana.

REFERÊNCIAS

AGENDA AMBIENTAL. Disponível em: <<http://www.tse.gov.br/>>. Acesso em: 26 nov. 2016.

ALVES SOBRINHO, E. J. M. Eu não sou de plástico. In: SERVA, L. P. **Ecobags: meio ambiente e moda**. São Paulo: Senac, 2009.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI A208.1**: mat-formed wood particleboard: specification. Gaithersburg , 1993.

AMERICAN NATIONAL STANDARD. **ANSI A208.1**. Medium density fiberboard for interior use. National particleboard assoc. Gaithersburg, 1999.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DE PAINÉIS DE MADEIRA. **Nossos produtos**. 2010. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/produtosMDP.php>> . Acesso em: 17 dez. 2010.

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**: chapas de madeira aglomerada. Rio de Janeiro, 2013. 51 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 NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2:** desempenho térmico de edificações Parte 2: método de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

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.

BASSO, V. M. et al. Mercado de produtos madeireiros certificados na indústria de painéis. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 140, out. 2014. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1760&subject=Pain%20E9is&title=Mercado%20de%20produtos%20madeireiros%20certificados%20na%20ind%20FAstri%20de%20pain%20E9is>. Acesso em: 22 jan. 2017.

BATTISTELLE, R. A. G.; MARCILIO, C.; LAHR, F. A. R. Emprego do bagaço da cana-de-açúcar (*saccharum officinarum*) e das folhas caulinares do bambu da espécie *dendrocalamus giganteus* na produção de chapas de partículas. **Revista Minerva**, São Carlos, v. 5, n. 3, p. 297-305, 2009.

BERNARDI, R. **Reconstituição de chapas de aglomerado**. Bento Gonçalves: Centro Tecnológico do Mobiliário, 2006. Dossiê Técnico.

BERTOLINI, M. S. et al. Accelerated artificial aging of particleboards from residues of CCB treated *Pinus sp* and castor oil resin. **Materials Research**, São Carlos, v. 16, p. 293-303, 2014.

BIANCHE, J. J. et al. Propriedades de painéis aglomerados fabricados com partículas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla*), paricá (*Schizolobium amazonicum*) e vassoura (*Sida spp.*). **Cerne**, Lavras, v. 18, n. 4, p. 623-630, 2012.

BORGES, L. M.; QUIRINO, W. F. Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado termicamente. **Biomassa & Energia**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

BOSCO, J. **Reuso do plástico para preservação do solo**. Disponível em: <<http://webartigos.com/artigos/reuso-do-plastico-para-preservacao-do-solo/54624>>. Acesso em: 13 dez. 2010.

- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/responsabilidade-socioambiental/producao-e-consumo-sustentavel/saco-e-um-saco/saiba-mais>>. Acesso em: 19 dez. 2016.
- BROWNING, B. L. **The chemistry of wood**. New York: J. Wiley, 1963. 689 p.
- 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.
- CARASCHI, J. C. et al. Avaliação das propriedades mecânicas dos plásticos reciclados provenientes de resíduos sólidos urbanos. **Acta Scientiarum**. Maringá, v. 24, n. 6, p. 1599-1602, 2002.
- 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. et al. Thermal properties of chipboard panels made of sugar cane bagasse (*Saccharum officinarum* L.). **Materials Research**, São Carlos, v. 16, n. 5, p. 1183-1189, 2013.
- CESAR, A. A. S. et al. Transforming rice husk into a high-added value product: potential for particleboard production. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 303-313, 2017.
- CESAR, A. A. S. et al. Use of coffee plant stem in the production of conventional particleboards. **Key Engineering Materials**, Zurich, v. 600, p. 703-708, 2014.
- CHAMMA, P. V. C. **Produção de painéis a partir de resíduos sólidos para uso como elemento arquitetônico**. 2004. 138 p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Paulista, Botucatu, 2004.
- 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.

COMMERCIAL STANDARD. **CS 236-66**: mat formed wood particleboard. Geneva, 1968.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar**. Brasília, 2016. v. 1. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 7 jan. 2017.

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA A RECICLAGEM. **Reciclagem e negócios**: plástico granulado. São Paulo, 2014.

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.

COUTINHO, F. et al. Polietileno: principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2003.

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.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. **DIN52362**: testing of wood chipboards, bending test, determination of bending strength. Berlin, 1982. 40 p.

DONATI, R. D. **Produção de painéis reconstituídos no Brasil**: passado, presente e futuro. 2010. [Entrevista disponibilizada em março de 2010, à Internet]. Disponível em: <<http://www.abipa.org.br/entrevistaRosane.php>>. Acesso em: 24 jan. 2017.

ESTOCOLMO, Síndrome de. **Sacolas plásticas banidas na China... e o Brasil?** 2010. Disponível em: <http://sindromedeestocolmo.com/2008/05/sacolas_plasticas_banidas_na_china_e_o_brasil/>. Acesso em: 19 nov. 2016.

FABRO, A. T. et al. Utilização de sacolas plásticas em supermercados. **Revista Ciências do Ambiente On-Line**, Campinas, v. 3, n. 1, p. 15-23, fev. 2007.

FERREIRA, B. S. **Propriedades físico-mecânicas de painéis particulados de Eucalyptus saligna e casca de noz macadâmia**. 2013. 78 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Guaratinguetá, 2013.

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

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

FIGORELLI, 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.

GÓES, J. N. L. **Materiais derivados de madeira: aplicação estrutural**. Campo Mourão: UTFPR, 2011.

GOES, T. et al. Setor sucroalcooleiro no Brasil: situação atual e perspectivas. **Revista da Política Agrícola**, Brasília, v. 16, n. 2, p. 39-51, 2008.

GUIMARÃES, B. M. R. et al. Chemical treatment of banana tree pseudostem particles aiming the production of particleboards. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 38, n. 1, p. 43-49, 2014.

GUIMARAES JUNIOR, J. B. et al. Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Brasília, v. 36, n. 88, p. 435-442, 2016.

INDÚSTRIA BRASILEIRA DE ÁRVORES. **Relatório de 2017**. Disponível em: <http://www.iba.org/images/shared/iba_2017.pdf>. Acesso em: 12 jun. 2017.

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

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

JONOOBI, M. et al. Effect of ozone pretreatment on the physical and mechanical properties of particleboard panels made from bagasse. **Measurement**, Amsterdam, v. 94, p. 451-455, 2016.

LABRINCHA, J.; SAMAGAIO, A.; VICENTE, R. **Associação para o desenvolvimento da casa do futuro**. Aveiro, Portugal: Universidade de Aveiro, 2006. 64 p.

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

MARQUES, T. R. F. et al. Sacolas ecológicas: um desafio cultural do marketing verde. Ecological bags: a cultural challenge of green marketing. **Revista Gestão Industrial**, Ponta Grossa, v. 6, n. 4, p. 133-152, 2010.

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.

MELO, R. F. 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**. Piracicaba, 2010. 115p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Produtos Florestais) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

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

MENDES, R. F. et al. Qualidade de painéis aglomerados produzidos na China utilizando bagaço de cana. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11., 2008, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL, 2008. 1 CD-ROM.

MENDES, R. F. et al. The adhesive effect on the properties of particleboards made from sugar cane bagasse generated in the distiller. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, 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, 2010. 1 CD-ROM.

MODES, K. S. et al. Effect of heat treatment on mechanical properties of Pinus taeda AND Eucalyptus grandis WOODS. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 27, n. 1, p. 291-302, 2017.

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

MUÑIZ, G. I. B.; CORADIN, V. R. **Normas de procedimentos em estudo de anatomia da madeira**: I – Angiospermae. II - Gimnospermae. Brasília: Laboratório de Produtos Florestais, 1991. (Série Técnica, 15).

OKINO, E. Y. A. et al. Resistência físico-mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 52, p. 35-42, dez. 1997.

OLIVEIRA, S. L. et al. Particleboard panels made from sugarcane bagasse: characterization for use in the furniture industry. **Materials Research**, São Carlos, v. 19, n. 4, p. 914-922, 2016.

OLIVEIRA, S. L. et al. The effect of post-heat treatment in mdf panels. **Materials Research**, São Carlos, v. 20, n. 1, p. 183-190, 2017.

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.

PAOLIELLO, J. M. M. **Aspectos ambientais e potencial energético no aproveitamento de resíduos da indústria sucroalcooleira**. 2006. 200 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Faculdade de Engenharia da Universidade Paulista, Bauru, 2006. Disponível em: <http://www.udop.com.br/ebiblio/pagina/arquivos/tese_mestrado_jose_maria.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2016.

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.

PÓVOA NETO, H. H. et al. Sacolas plásticas: consumo inconsciente. **Perspectivas online: Biologia & Saúde**, Campos dos Goytacazes, v. 3, n. 1, p. 50-70, 2011.

PROTÁSIO, T. P. et al. Brazilian lignocellulosic wastes for bioenergy production: characterization and comparison with fossil fuels. **Bioresources**, Raleigh, v. 8, n.1, p. 1166-1185, 2013.

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.

RIBEIRO, D. P. Painéis MDP produzidos com bagaço de cana tratado termicamente. 2017. 58 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biomateriais) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2016.

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

SARTORI, D. et al. Painel em madeira de reflorestamento e chapas de partículas para instalações rurais. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 19, n. 2, p. 171-178, 2012.

SARTORI, M. M. P. **Otimização da produção de energia e biomassa do resíduo de colheita em variedades de cana-de-açúcar**. 2001. 108 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

SATYANARAYANA, K. G. et al. Studies on lignocellulosic fibers of Brazil. Part I: Source, production, morphology, properties and applications. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, Kidlington, v. 38, n. 7, p. 1694-1709, 2007.

SCATOLINO, M. V. et al. Eucalyptus wood and coffee parchment for particleboard production: physical and mechanical properties. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 41, n. 2, p. 139-146, 2017.

SCATOLINO, M. V. et al. Thermal stability of *Pinus oocarpa* and maize cob particleboards. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 39, n. 4, p. 348-354, 2015.

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.

SILVA, D. W. et al. Addition of different proportions of castor husk and pine wood in particleboards. **Waste Biomass Valorization**, Heidelberg, v. 16, p. 1-7, 2016.

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

SILVA, V. L. M. M. et al. 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.

SINDICATO DA INDÚSTRIA DO MATERIAL PLÁSTICO DO ESTADO DE MINAS GERAIS. **Plástico: o que é plástico?** Disponível em: <<http://www.simplast.com.br>>. Acesso em: 16 jan. 2017.

SOARES, S. S. et al. Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, Pelotas, v. 8, n. 2, p. 1-10, 2017.

SPINACÉ, M. A. S.; PAOLI, M. A. A tecnologia da reciclagem de polímeros. **Química Nova**, São Paulo, v. 28, n. 1, p. 65-72, 2005.

TEODORO, A. S. **Utilização de adesivos à base de taninos na produção de painéis de madeira aglomerada e OSB**. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Florestais) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2008.

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, n. 2, p. 102-111, 2005.

VIDAL, M. F.; SANTOS, J. A. N.; SANTOS, M. A. **Setor sucroalcooleiro no nordeste brasileiro**: estruturação da cadeia produtiva, produção e mercado. Fortaleza: Sociedade Brasileira de Economia e Sociologia Rural, 2006. Disponível em: <http://www.banconordeste.com/content/aplicacao/etene/artigos/docs/sober_sucroalcooleiro.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2017.

VILELA, A. P. **Utilização da borracha de pneu para produção de painéis MDP e cimento-madeira**. Lavras: UFLA, 2016. 104 p.

WEBER, C. **Estudo sobre viabilidade de uso de resíduos de compensados, mdf e mdp para produção de painéis aglomerados**. 2011. 80 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

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/pt/revista_materia.php?edicao=84&id=630>. Acesso em: 6 fev. 2017.

ZOCH, V. P. **Produção e propriedades de compósitos madeira-plástico utilizando resíduos minimamente processados**. Brasília: Universidade de Brasília, 2013.