UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS

ANA CAROLINE PINHEIRO XEREZ

**Desenvolvimento e caracterização de painel de partículas homogêneas de bagaço de
cana-de-açúcar com reforço têxtil para aplicação em embalagens de transporte de
alimentos**

PIRASSUNUNGA

2018

ANA CAROLINE PINHEIRO XEREZ

Desenvolvimento e caracterização de painel de partículas homogêneas de bagaço de cana-de-açúcar com reforço têxtil para aplicação em embalagens de transporte de alimentos

Versão Corrigida

Tese de Doutorado apresentado à Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Doutora em Engenharia de Alimentos.

Área de Concentração: Ciências da Engenharia de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. Holmer Savastano Junior

Co-orientadora: Prof^a Dr^a Maria Teresa Freire

Ficha catalográfica elaborada pelo
Serviço de Biblioteca e Informação, FZEA/USP,
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Xerez, Ana Caroline Pinheiro
Desenvolvimento e caracterização de painel de
partículas homogêneas de bagaço de cana-de-açúcar
com reforço têxtil para aplicação em embalagens...
/ Ana Caroline Pinheiro Xerez; orientador Holmer
Savastano Junior ; coorientadora Maria Teresa de
Alvarenga Freire. -- Pirassununga, 2018.
112 f.

Tese (Doutorado - Programa de Pós-Graduação
em Engenharia de Alimentos) -- Faculdade de
Zootecnia e Engenharia de Alimentos,
Universidade de São Paulo.

1. Embalagens sustentáveis. 2. Reforço têxtil
de fibra de juta. 3. Reforço têxtil de fibra de
vidro. 4. Material alternativo. 5. Resina
poliuretana de óleo de mamona. I. Savastano
Junior, Holmer, orient.

Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte - o autor

DEDICATÓRIA

À Deus pela oportunidade de fazer o doutorado em uma das melhores Universidades do Brasil, em uma cidade maravilhosa como Pirassununga, em um Campus deslumbrante de beleza natural como o da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos (FZEA), em um laboratório com excelente infraestrutura como o laboratório de Construções e Ambiente (CONSTRAMBI), fazendo parte de uma equipe competente, unida e comprometida, tendo como orientador o professor Dr. Holmer Savastano Junior, que é grande modelo a ser seguido no meio acadêmico.

À minha família, em especial à minha mãe Solange e meu pai Washington (in memoriam), por terem suportado as dificuldades e sofrimentos advindos de tantas provas que surgiram nessa fase da minha vida e terem se sacrificado de inúmeras maneiras para que eu conseguisse finalizar o doutorado.

AGRADECIMENTO

Ao professor Dr. Holmer Savastano, pela imensa dedicação, atenção, paciência e perseverança diante de tantas adversidades.

À professora Dra Maria Teresa Freire, pelo grande apoio na co-orientação.

Aos professores Dr. Juliano Fiorelli, Dr. Rubens Tabile e Dra Julia Baruque pelo auxílio durante a pesquisa.

À toda equipe do Laboratório de Construções e Ambiência (CONSTRAMBI).

À CAPES pelo período que tive auxílio à bolsa de estudo.

À Baldin Bioenergia pela doação do bagaço de cana-de-açúcar.

À tapetes São Carlos pela orientação na execução de ensaios mecânicos dos reforços têxteis.

À Saint-Gobain pela doação do reforço têxtil de fibra de vidro.

À da Faculdade de Zootecnia de Alimentos (FZEA) e a todos os seus colaboradores pelo suporte no atendimento em diversos setores.

Ao Luis Jaime Perez Córdoba pela colaboração nos ensaios mecânicos dos reforços têxteis.

RESUMO

XEREZ, A. C. P. **Desenvolvimento e caracterização de painel de partículas homogêneas de bagaço de cana-de-açúcar com reforço têxtil para aplicação em embalagens de transporte de alimentos**. 2018. 112f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

Algumas embalagens de transporte de alimentos necessitam de alta resistência, para suportar a carga com segurança e as flutuações durante o transporte. O emprego de subprodutos da agroindústria na produção de embalagens de transporte pode contribuir para o desenvolvimento de tecnologia que disponibilize materiais alternativos para embalagens mais sustentáveis. A proposta desta pesquisa foi estudar o emprego do bagaço de cana-de-açúcar como matéria-prima para a fabricação de embalagens de transporte que requerem alto desempenho mecânico, como o palete PBR-I, padrão para supermercados, cujo algumas partes que compõem o palete necessitam de madeira com o mínimo de resistência à flexão de 63 MPa. Para tanto, é necessário promover um aumento na resistência do produto final, de modo a viabilizar sua aplicação para este fim. Assim, esta pesquisa analisa o efeito da aplicação de reforço têxtil no aumento do desempenho mecânico de painéis de partículas do bagaço de cana-de-açúcar. Dois tipos de reforços têxteis foram avaliados para aplicação em paletes: um tecido de fibra natural de juta e um tecido sintético de fibra de vidro. Os painéis foram avaliados de acordo com suas propriedades físicas e mecânicas: módulo de ruptura (MOR) e elasticidade (MOE), dureza Janka, inchamento da espessura (IE), a absorção de água (AA) e resistência ao arrancamento de parafuso. A caracterização dos painéis foi feita com base na norma NBR 14810-3. Os painéis foram fabricados a partir de bagaço de cana-de-açúcar com resina de poliuretana à base de óleo de mamona, sob a prensagem de 20 MPa, à temperatura de 110°C. A densidade alvo foi de 0,8 g/cm³ para todas as placas. Os resultados mostraram que o aglomerado fabricado com duas camadas de tecido de fibra de vidro apresentou maior valor de MOR (61,8 MPa) e promoveu um aumento de 36% na resistência do material em relação ao painel sem qualquer reforço. Concluiu-se, portanto, que este reforço têxtil é eficaz no aumento da resistência do painel de partículas de bagaço de cana-de-açúcar. Os painéis obtidos com esse reforço têm resistência suficiente para serem aplicados em tábuas intermediárias, que compõem a maioria dos componentes do palete que requerem resistência de pelo menos 34 MPa.

Palavras-Chave: embalagens sustentáveis; reforço têxtil de fibra de juta; reforço têxtil de fibra de vidro; material alternativo; resina poliuretana à base de óleo de mamona.

ABSTRACT

XEREZ, A. C. P. **Development and characterization of sugarcane bagasse particle board with textile reinforced for use in packaging food transportation**. 2018. 112 f. Thesis (PhD) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2018.

Some food transport packages require high strength to safely withstand loading and fluctuations during transportation. The use of agribusiness by-products in the production of transport packaging can contribute to the development of technology that makes alternative materials available for more sustainable packaging. The purpose of this research was to study the use of sugarcane bagasse as a raw material for the manufacture of transport packages that require high mechanical performance, such as the PBR-I pallet, standard for supermarkets, whose parts that make up the pallets require wood with a minimum bending strength of 63 MPa. Therefore, it is necessary to promote an increase in the resistance of the final product, in order to enable its application for this purpose. Thus, this research analyzes the effect of the application of textile reinforcement in increasing the mechanical performance of sugarcane bagasse particleboard. Two types of textile reinforcements have been evaluated for pallet application: a natural jute fiber fabric and a synthetic fiberglass fabric. The panels were evaluated according to their physical and mechanical properties: modulus of rupture (MOR) and elasticity (MOE), Janka hardness, thickness swelling (IE), water absorption (AA) and screw pullout resistance. The characterization of the panels was based on NBR 14810-3. The panels were made from sugarcane bagasse with castor oil-based polyurethane resin under the pressure of 20 MPa at 110°C. Target density was 0.8 g / cm³ for all plates. The results showed that the agglomerate made of two layers of fiberglass fabric presented higher MOR value (61.8 MPa) and promoted a 36% increase in the material resistance in relation to the panel without any reinforcement. It is therefore concluded that this textile reinforcement is effective in increasing the strength of the sugarcane bagasse particleboard. The panels obtained with this reinforcement have sufficient strength to be applied to intermediate boards, which make up the majority of pallet components requiring strength of at least 34 MPa.

Keywords: sustainable packaging; jute textile fiber reinforcement; fiber glass textile reinforcement; alternative material; castor oil polyurethane resin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Percentual de produção de cana-de-açúcar por estado brasileiro.....	17
Figura 2– Ilustração sem escala do palete padrão utilizado no transporte de alimentos em supermercados com as respectivas dimensões finais e tolerâncias.....	27
Figura 3 – Partes que compõem o palete, dimensões, quantidades e tipos de pregos para montagem.....	29
Figura 4 – Diagrama esquemático sem escala, mostrando o modelo de um painel do tipo sanduíche com reforço têxtil em ambas as faces.....	31
Figura 5 – Ilustração sem escala que representa um fio formado por filamentos de fibras....	34
Figura 6 – Representação dos fios de urdume e de trama no tecido.....	35
Figura 7 – Tecido de fibra de juta cortado em ângulo de 90° e ilustração da direção dos fios de trama e urdume.....	36
Figura 8 – Desenho esquemático e micrografias das armações fundamentais: (a) tecido de seda com armação do tipo tela, (b) tecido de algodão com armação do tipo sarja e (c) tecido de poliéster com armação do tipo cetim.....	38
Figura 9 – O estireno butadieno é feito pela emulsão de polimerização do estireno e butadieno.....	39
Figura 10 – Micrografia da fibra de juta.....	42
Figura 11 – Principais países produtores de fibra de juta no mundo.....	43
Figura 12 – Micrografia da fibra de vidro.....	45
Figura 13 – Organização das atividades experimentais.....	49
Figura 14 – Tratamentos dos painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar.....	49
Figura 15 – Imagens das quadruplicatas dos painéis para cada tratamento.....	50
Figura 16 – Reforços têxteis: (a) tecido de fibra de vidro; (b) tecido de fibra de juta.....	52
Figura 17 – Processo de mistura do poliálcool ao catalisador para formação da resina.....	55
Figura 18 – Identificação da ourla e dos fios na direção de trama e urdume no tecido de fibra de juta.....	56
Figura 19 – Classificação dos tipos de fios utilizados no ensaio de tração.....	58
Figura 20 – Ensaio de tração do fio de fibra de juta.....	59
Figura 21 – Ensaio para análise de tração do reforço têxtil: tecido de fibra de juta.....	60
Figura 22 – Corpos de prova dos tecidos utilizados no ensaio de tração.....	61

Figura 23 – Representação esquemática das medidas do corpo de prova utilizado no ensaio de tração do tecido	62
Figura 24 – Fluxograma das etapas de preparação dos painéis.....	63
Figura 25 – Esquema do posicionamento de camadas de reforço têxtil no painel de partículas e as direções dos fios de trama e urdume nos tecidos.....	64
Figura 26 – Esquema com a descrição dos 5 tratamentos dos painéis de partículas.....	64
Figura 27 – Etapas do processo de elaboração dos painéis particulados.....	65
Figura 28 – Comparação entre a superfície do painel com diferentes camadas de reforço têxtil de fibra de vidro: (A): 1 camada e (B) 2 camadas.....	66
Figura 29 – Corte dos corpos de prova (a) e serra utilizada (b).....	67
Figura 30 – Ensaio mecânico de flexão para determinação da resistência à ruptura do corpo de prova.....	68
Figura 31 – Corpos de prova com as bordas seladas: (A) imagem de todos os corpos de prova analisados e (B) imagem ampliada de um corpo de prova de cada tratamento.....	72
Figura 32 – Arrancamento de parafuso no topo: (A) perfuração dos corpos de prova; (B) dispositivo para arrancamento e (C) corpos de prova com o parafuso no topo.....	74
Figura 33 – Dispositivo utilizado no ensaio de dureza Janka.....	74
Figura 34 – Foto da identificação dos fios de trama e urdume nas direções vertical e horizontal dos corpos de prova: (A) reforço têxtil de fibra de juta e (B) reforço têxtil de fibra de vidro.....	77
Figura 35 – Análise por microscopia óptica da seção transversal dos fios de fibra de vidro e fibra de juta: (a) seção do fio de fibra de vidro na direção urdume, com área de 0,2 mm ² , (b) seção do fio de fibra de vidro na direção trama, com área de 0,4 mm ² (c) seção do fio de fibra de juta na direção trama com área de 0,9 mm ² (d) sessão do fio de fibra de juta na direção urdume, com área de 0,6 mm ²	79
Figura 36 – Micrografia obtida no microscópio de eletrônico de varredura que ilustra uma torção no feixe de fibras de vidro na direção urdume.....	83
Figura 37 – Curvas típicas de tensão e deformação específica dos compósitos	88
Figura 38 – Interface entre os fios e a matriz do painel.....	90
Figura 39 – Bordas dos painéis de partículas após o corte na serra: (a) com duas camadas de reforço têxtil de fibra de vidro e (b) com duas camadas de reforço têxtil de fibra de juta.....	91
Figura 40 – Imagens dos fios na malha dos tecidos de juta e fibra de vidro antes de serem incluídos como reforço têxtil.....	91

Figura 41 – Recobrimento do polímero estireno-butadieno: (a) Superfície do polímero (b) Superfície do fio de fibra de vidro com recobrimento (c) Interface entre polímero e fibras de vidro. Fio de fibra de vidro composto por multifilamentos que precisam ser quantificados...	97
Figura 42 – Micrografias indicando interface entre o polímero de recobrimento, a resina e o fio de fibra de vidro inserido no compósito.....	98
Figura 43 – Micrografia ilustrando a resina poliuretana de óleo de mamona unindo as fibras de juta.....	99
Figura 44 – (a) Torção e dispersão dos fios de fibra de juta. (b) Entrelaçamento e compactação dos fios de fibra de vidro.....	100

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Porcentagem de holocelulose e lignina no bagaço de cana-de-açúcar e na fibra de juta.....	20
Tabela 2 – Resistência à flexão de painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar com diferentes densidades e tamanhos de partículas.....	21
Tabela 3 – Propriedades mecânicas requeridas pela American National Standard.....	24
Tabela 4 – Diferença entre tábuas do tipo I e do tipo II para produção de paletes.....	28
Tabela 5 – Resistência mecânica de diferentes painéis particulados de bagaço de cana-de-açúcar.....	30
Tabela 6 – Propriedades físico-mecânicas das fibras de vidro.....	46
Tabela 7 – Características do tecido de fibra de vidro contidas na ficha técnica fornecida pela Saint-Gobain Adfords.....	53
Tabela 8 – Especificações do tecido de fibra de juta cedidos pela Companhia Têxtil Castanhal.....	54
Tabela 9 – Informações da resina fornecidas pela Plural Química.....	54
Tabela 10 – Informações dos equipamentos utilizados na análise microscópica dos tecidos.....	57
Tabela 11 – Quantidade da análise de microscopia.....	57
Tabela 12 – Classificação e quantidade dos corpos de prova utilizados no ensaio de tração dos tecidos.....	61
Tabela 13 – Dimensões e quantidade dos corpos de prova para determinação das propriedades físico-mecânicas.....	67
Tabela 14 – Características mecânicas mínimas da madeira para produção de paleta.....	68
Tabela 15 – Número de corpos da avaliação de arrancamento de parafuso.....	73
Tabela 16 – Área da sessão transversal dos fios de fibra de vidro e juta.....	78
Tabela 17 – Medida da força de ruptura dos fios que formam os tecidos.....	80
Tabela 18 – Alongamento na ruptura à tração dos fios que formam os tecidos.....	81
Tabela 19 – Tensão na ruptura dos fios no ensaio de tração.....	82
Tabela 20 – Gramatura dos tecidos de fibra de juta e fibra de vidro.....	84
Tabela 21 – Força máxima de ruptura na tração dos tecidos.....	85
Tabela 22 – Deformação dos tecidos no ensaio de tração.....	86
Tabela 23 – Valores médios do ensaio de flexão dos compósitos.....	87
Tabela 24 – Valores médios de densidade aparente para cada tratamento dos painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar.....	92
Tabela 25 – Valores médios do ensaio padrão de absorção de água e inchamento dos compósitos com a borda não selada.....	93
Tabela 26 – Valores médios do ensaio de absorção de água e inchamento com selagem das bordas.....	95
Tabela 27 – Valores médios de arrancamento de parafuso do topo.....	96
Tabela 28 – Valores médios de arrancamento de parafuso da superfície.....	96
Tabela 29 – Valores médios de dureza Janka.....	97

SUMÁRIO

1 . INTRODUÇÃO	13
2. OBJETIVOS	15
3. REVISÃO DE LITERATURA	16
3.1. Aspectos econômicos da produção de cana-de-açúcar no mundo e no Brasil	16
3.2. Produção de resíduos no Brasil e aproveitamento de bagaço de cana-de-açúcar.....	18
3.3. Materiais compósitos e painéis de partículas	19
3.4. Considerações sobre a aplicação de painéis particulados em paletes.....	25
3.5. Reforço têxtil	33
3.6. Considerações finais	47
4. MATERIAL E MÉTODOS	48
4.1. Matérias-primas	51
4.2. Caracterização dos reforços têxteis	56
4.3. Produção dos painéis de partículas	63
4.4. Caracterização dos painéis de partículas	66
4.5. Análise estatística	75
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	76
5.1. Caracterização física e mecânica dos fios	76
5.2. Caracterização física e mecânica dos tecidos	84
5.3. Caracterização física, mecânica e microscópica dos painéis.....	86
6. CONCLUSÃO.....	100
7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	101
REFERÊNCIAS	102

1. INTRODUÇÃO

O interesse da ciência no desenvolvimento de materiais produzidos com matérias-primas naturais e biodegradáveis tem aumentado devido às atuais preocupações com impactos ambientais gerados pelas atividades industriais. Nesse contexto, diversos setores da sociedade têm se manifestado pela conscientização e educação ambiental. Os veículos de comunicação reforçam esse tema, valorizando atitudes que contribuem para a preservação do meio ambiente.

O maior acesso à informação favorece mudanças no perfil de consumidores que, nos dias de hoje, optam por produtos que produzam menor impacto ambiental. Instituições de ensino e pesquisa passam a abordar com maior frequência o tema da sustentabilidade em suas atividades. Ao mesmo tempo, este novo comportamento impulsiona empresas a investirem no desenvolvimento de produtos sustentáveis que atendam a esta demanda. Como resultado, pode-se observar a oferta de uma gama diversa de produtos e serviços que apelam para a sustentabilidade.

No segmento de alimentos, há uma tendência para a redução do número de embalagens e desenvolvimento de materiais biodegradáveis. Em vista da grande busca por materiais alternativos e sustentáveis neste setor, esta pesquisa propôs o desenvolvimento de painéis particulados produzidos à base de subprodutos agroindustriais e a avaliação de suas propriedades mecânicas, objetivando-se a aplicação no setor de embalagens de transporte para alimentos.

Os resultados alcançados neste trabalho podem contribuir para a elaboração de um protocolo de produção para inclusão de reforços têxteis em painéis, identificando os parâmetros de processo que levam ao melhor desempenho do material a ser desenvolvido. Exemplos destes possíveis parâmetros são: número de camadas, tipo de reforço que proporciona maior resistência mecânica à flexão, densidade, tamanho de partícula, tipo de resina, assim como a identificação das principais características dos tecidos que favorecem a melhoria do desempenho físico e mecânico do painel.

O principal desafio deste estudo foi aumentar a resistência do painel de partículas de bagaço de cana-de-açúcar com a aplicação de um reforço têxtil, de maneira a alcançar a resistência mínima requerida para fabricação de componentes de um palete a partir deste material. Foi desenvolvido um material não convencional que tem potencial como uma alternativa em relação à madeira e outros painéis particulados já existentes no mercado,

devido às suas favoráveis características mecânicas (elevados módulos de ruptura e elasticidade) e viabilidade econômica.

Dentre as oportunidades de aplicação de painéis particulados no setor de embalagens, destacam-se a produção de caixas de transporte e paletes. Um exemplo de utilização de materiais alternativos para a produção de paletes foi proposta por Masood e Rizvi (2006) que obtiveram paletes seguros e estáveis em condições de elevação, utilizando material alternativo como compósito de papelão ondulado e madeira compensada.

Dentre os tratamentos de painéis de partículas avaliados por Fiorelli et al. (2012), a resistência máxima obtida foi de 22,6 MPa, em painel com densidade de 1000 kg/m³. Mendes et al. (2010) obtiveram valores menores, 14,7 MPa, com painéis de densidade de 600 kg/m³. Estes resultados sugerem a necessidade de novas propostas visando o aumento da resistência para aplicações de maior solicitação mecânica. Ensaio preliminares sobre a elaboração de painéis particulados com bagaço de cana-de-açúcar mostraram que os resultados de resistência à flexão apresentaram-se abaixo da especificação mínima para madeira destinada à produção de paletes convencionais, que é de 34 MPa (com densidade de 400 kg/m³) para tábuas intermediárias e 63 MPa (com densidade de 600 kg/m³) para tábuas da extremidade (ABRAS; CPP, 1993).

Portanto, esta pesquisa propôs a aplicação de reforço têxtil, ainda pouco explorado, nos painéis particulados, para a obtenção de um material de alto desempenho mecânico. Os reforços testados foram utilizados na forma de tecido que foi inserido como uma camada na superfície do painel.

Considera-se esta pesquisa como alternativa inovadora, tanto para o aumento da resistência deste material, como para possibilitar seu uso para outras aplicações. Até onde se tem conhecimento, pesquisas sobre o desenvolvimento de embalagens de transporte com painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar não foram encontradas até a finalização deste trabalho. As bases de dados pesquisadas foram: Web of Science e Scopus. Portanto, este estudo sobre o desenvolvimento de materiais não convencionais para esta finalidade pode contribuir de forma inovadora para o aproveitamento de subprodutos regionais que são produzidos em grande volume, agregando-lhes valor, além de apresentar uma proposta sustentável para produção de embalagem biodegradável de transporte e que também atenda à demanda do mercado.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve por objetivo a confecção de painéis de partículas homogêneas obtidas do bagaço de cana-de-açúcar, subproduto agroindustrial, com a introdução de reforço têxtil de fibras vegetais e sintéticas, para elaboração de material para embalagens de transporte destinadas à indústria de alimentos. Estas embalagens requerem material de alto desempenho, tanto mecânico quanto físico, necessitando atender a requisitos como resistência mecânica, tenacidade, adesão interna, arrancamento de parafuso, leveza e durabilidade.

Os objetivos específicos do presente estudo foram:

- Caracterizar os reforços têxteis de fibra de juta e vidro;
- Desenvolver painéis de alta resistência mecânica com partículas de bagaço de cana-de-açúcar e reforço têxtil;
- Aprimorar o processo de produção de painéis de partículas aglomeradas à base de bagaço de cana-de-açúcar;
- Avaliar o desempenho do material e comparar com as recomendações dos documentos normativos, por meio de ensaios físicos e mecânicos como flexão, inchamento e absorção de água, arrancamento de parafuso e dureza Janka;
- Verificar se as características dos painéis de partículas homogêneas de bagaço de cana-de-açúcar com reforço têxtil atendem às especificações de resistência para madeiras que compõem partes dos paletes;
- Analisar as propriedades microestruturais dos painéis produzidos utilizando a microscopia óptica e eletrônica de varredura;
- Fazer um estudo comparativo entre o desempenho de cada reforço têxtil (de fibra de juta e de fibra de vidro), na melhoria das propriedades mecânicas do painel.

3. REVISÃO DE LITERATURA

Os tópicos seguintes irão discorrer sobre um abrangente número de conceitos correlatos a esta pesquisa, que envolve o estudo conjunto de:

- Embalagens de transporte de alimentos do tipo paletes;
- Painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar;
- Reforços têxteis de fibra de juta e fibra de vidro.

Esta revisão teve como foco a pesquisa das principais informações científicas das características e comportamento dos painéis de partículas e reforços têxteis, para embasar a previsibilidade de sua ação conjunta. Nesse mesmo sentido, a pesquisa também levou em consideração alguns aspectos destes materiais considerados relevantes nas áreas econômica e ambiental.

Além disso, o presente estudo levantou informações sobre o bagaço de cana-de-açúcar, seu desempenho na produção de painéis de partículas, circunstâncias relativas aos tipos de resina utilizados na aglomeração das partículas e limitações da resistência mecânica dos painéis de partículas, para sua possível aplicação na produção paletes.

Ainda, nossa investigação focou as principais características dos reforços têxteis e sua atuação no aumento da resistência mecânica de compósitos, assim como as características individuais das fibras de juta e fibras de vidro, que compuseram os reforços têxteis incluídos nos painéis de partículas analisados. Todas estas informações interligadas serviram de fundamento para o desenvolvimento de novos conceitos de painéis particulados com reforço têxtil.

3.1. Aspectos econômicos da produção de cana-de-açúcar no mundo e no Brasil

Segundo a *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), a cana-de-açúcar é a segunda comódite mais produzida no mundo. A produção mundial em 2016 foi de 1,8 bilhão de toneladas. Os principais produtores de cana-de-açúcar no mundo são o Brasil (768 milhões de toneladas), em primeiro lugar, seguido da Índia (348 milhões de toneladas) e China (123 milhões de toneladas). A cana-de-açúcar é a comódite de maior produção no Brasil. Embora o Brasil seja o maior produtor, ele não é o maior exportador, provavelmente em razão do grande consumo interno. Desse modo, os maiores exportadores são Colômbia,

Malásia e Egito. Por outro lado, os maiores importadores são China, Estados Unidos e Venezuela. Embora estes países também sejam produtores de cana-de-açúcar, presumivelmente seu consumo é maior que sua produção (FAO, 2018).

Como o maior produtor, o Brasil é responsável por mais da metade do açúcar comercializado no mundo e São Paulo é o maior estado produtor, com mais da metade da produção total (BRASIL, 2012). As influências climáticas na produtividade da cana-de-açúcar variam de região para região do Brasil. Nesse contexto, na safra de 2015/16, as chuvas ocasionaram redução na área colhida nas regiões Sudeste e Centro-Oeste, enquanto, no Nordeste, a falta de chuvas declinou a produção (CONAB, 2018).

No Brasil, a área cultivada de cana-de-açúcar em 2015 foi de 10 milhões de hectares, enquanto o rendimento médio da produção foi de 73 mil quilos por hectare (IBGE, 2016). O Brasil é um país de grande extensão territorial, mas a produção de cana-de-açúcar concentra-se somente em algumas regiões que apresentam condições climáticas propícias para o seu cultivo, como o estado de São Paulo, que destaca-se pela concentração da maior parte da produção na distribuição de cana-de-açúcar no Brasil. Consequentemente, o território paulista é o que mais produz bagaço de cana-de-açúcar (CONAB, 2018). Considerando a discussão proposta neste parágrafo, ilustraremos, a seguir, a Figura 1, que apresenta o percentual de produção de cana-de-açúcar por estado brasileiro.

Figura 1 – Percentual de produção de cana-de-açúcar por estado brasileiro.

Fonte: Adaptado de: CONAB (2016).

Os principais produtos da cana-de-açúcar são o açúcar, o etanol e a energia produzida a partir da queima do bagaço. Da produção total, 46,9% destina-se para a produção de açúcar e 53,1% para a produção de etanol. O Brasil é o maior produtor mundial de açúcar e a Índia é o segundo, ao passo que os três maiores consumidores são Índia, União Europeia e China (CONAB, 2018). O Brasil produziu 37,6 milhões de toneladas de açúcar e 26,7 milhões de metros cúbicos de etanol na safra de 2016/17 (BRASIL, 2017).

3.2. Produção de resíduos no Brasil e aproveitamento de bagaço de cana-de-açúcar

A agricultura é a base econômica do Brasil. Dentre os produtos agrícolas, o arroz, a cana-de-açúcar, a laranja, a mandioca, o milho e a soja são os produzidos em maior quantidade (IBGE, 2016).

A produção agroindustrial gera quantidade de resíduos que pode ocasionar impactos ambientais, caso esses resíduos não tenham um destino adequado. Segundo Brasil (2011), em 2009, o Brasil gerou 290 milhões de toneladas de resíduos sólidos orgânicos agrosilvopastoris, dos quais 201 milhões provém da produção de cana-de-açúcar. Os resíduos agrícolas têm baixo valor econômico e são geralmente destinados à queima para geração de energia, alimentação animal e fertilizante orgânico (BRASIL, 2011). Segundo Scaramucci et al. (2006), esmagando-se 1 tonelada de cana de açúcar, obtém-se 270 kg de bagaço.

O bagaço de cana-de-açúcar é constituído por um conjunto de fibras emaranhadas de celulose (MENDES, 2012), sendo composto, aproximadamente, por 44,5% de fibras lignocelulósicas, 50% de umidade, 2,5% de sólidos solúveis em água e 3% de teor de cinzas. A estrutura lignocelulósica do bagaço é semelhante à da madeira (SANTANA; TEIXEIRA, 1993). Esta similaridade está relacionada principalmente com as madeiras duras que contêm menor teor de lignina e maior teor de hemicelulose do tipo pentosana (SOUSA et al., 1986).

Em virtude da sua abundância e baixo custo, o bagaço de cana-de-açúcar tem sido considerado por alguns autores, como Bufalino (2013), o substituto mais promissor para a produção de materiais compósitos do tipo painéis particulados (materiais de uso alternativo à madeira), em razão da sua anatomia e características químicas. Segundo informação do setor de vendas da indústria Baldin, localizada em Pirassununga, SP, o valor de mercado do bagaço no ano de 2018 estava em torno de R\$ 100,00/t, enquanto o cavaco de madeira custava, em média, R\$ 140,00/t.

3.3. Materiais compósitos e painéis de partículas

Diferentes combinações de dois ou mais materiais distintos podem originar um novo material chamado compósito, que pode apresentar propriedades melhores do que as de materiais convencionais (DE LIMA MESQUITA, 2018). É possível elevar a resistência de um material compósito através da combinação entre diferentes resíduos agroindustriais e também com a combinação de materiais com características distintas, tais como os polímeros sintéticos (BENTUR; MINDESS, 2007).

Compósitos com reforço de fibras têm substituído o metal na produção de vários materiais na área espacial, automotiva e militar por causa da melhoria nas propriedades mecânicas do compósito, especialmente com relação à resistência do material. As fibras usadas como reforço podem ser sintéticas ou naturais (TRIPATHI et al., 2018).

3.3.1. Produção de painéis de partículas produzidos com resíduos agroindustriais

Painel de partículas é um material compósito usualmente produzido pela indústria madeireira. A produção de tais painéis se dá por pequenas partículas ou fibras vegetais que são aglutinadas por uma resina sintética que forma ligações rígidas entre as partículas (BONO; CHU; POGAKU, 2013).

Materiais derivados de resíduos agroindustriais podem ser usados na produção dos painéis mencionados. A origem dos painéis aglomerados deu-se na Alemanha na década de 40, quando o país passava pelo isolamento no contexto da Segunda Guerra Mundial. A finalidade era aproveitar resíduos de madeira em virtude da dificuldade de obter madeiras de boa qualidade para produção de lâminas para compensados (MENDES, 2010).

Custos de produção e aproveitamento de resíduos são tópicos de interesse relevante. Tendo em vista a competição para adquirir a madeira como matéria-prima para diversos produtos manufaturados, o preço da madeira industrial e das partículas de madeira utilizadas na fabricação de painéis de partículas tem aumentado (BENTHIEN et al., 2018).

Pesquisas têm investido no aproveitamento de resíduos agroindustriais contendo fibras naturais lignocelulósicas como matéria-prima alternativa na produção de painéis de partículas de madeiras. Painéis particulados contendo partículas de fibras de bagaço de cana-de-açúcar e juta, aglutinadas com resina poliuretana à base de óleo de mamona, apresentaram

propriedades físico-mecânicas similares ou superiores comparados a painéis particulados convencionais de madeira (FIORELLI et al., 2018).

Estudos sobre a produção de painéis obtidos a partir de partículas de bagaço de cana-de-açúcar têm sido realizados na tentativa de promover um destino sustentável e agregar valor a este tipo de subproduto da agroindústria. Estes painéis são produzidos a partir de partículas de bagaço de cana-de-açúcar que são misturadas a uma resina sintética e prensadas a quente por tempo suficiente para que a cura da resina se efetue (BELINI et al. 2012; BUFALINO et al., 2013; FIORELLI et al., 2013; MENDES et al., 2010).

3.3.2. Influência das partículas e da resina no desempenho dos painéis

Diversos fatores têm influência sobre o desempenho do painel, como, por exemplo, características das partículas, tipo de resina e parâmetros de prensagem do painel (DOOST-HOSEINI; TAGHIYARI; ELYASI, 2014).

3.3.3. Composição química e tamanho das partículas

Quanto às características das partículas, os painéis podem ser produzidos por qualquer material lignocelulósico com composição química similar à da madeira (MENDES, 2010). As fibras de bagaço de cana-de-açúcar e juta são materiais compatíveis para a produção de painéis de partículas, pois são ricas em holocelulose e lignina e são encontradas abundantemente no Brasil. O fácil acesso e a boa disponibilidade dessas matérias-primas é um fator positivo para a cadeia de processo que utiliza esse tipo de material (FIORELLI et al., 2018). Na sequência, a Tabela 1 apresenta as porcentagens de holocelulose e lignina nas fibras de bagaço de cana-de-açúcar e juta.

Tabela 1 – Porcentagem de holocelulose e lignina no bagaço de cana-de-açúcar e na fibra de juta.

Material	Holocelulose (%)	Lignina (%)
Fibra de juta	83,5	9,9
Bagaço de cana-de-açúcar	73,8	17,5

Fonte: Adaptado de Fiorelli et al. (2018).

A aplicação de calor nas partículas de materiais lignocelulósicos durante o processamento dos painéis de partículas ocasiona alterações químicas que favorecem a autoaglutinação das partículas sem que seja necessário acrescentar um produto aglutinante. Isto ocorre por conta da hidrólise da hemicelulose, assim como em razão da degradação da lignina e da celulose pelo calor. Em um estudo sobre painéis de fibras vegetais produzidos sem resina, os de bagaço de cana-de-açúcar apresentaram melhor desempenho na avaliação das propriedades físico-químicas do que os painéis de partículas de madeira reciclada (NONAKA; UMEMURA; KAWAI, 2013).

Além da composição química, é necessário considerar o tamanho das partículas. Segundo Kelly (1977), o tamanho das partículas influencia na resistência dos painéis, mas desde muito tempo há uma dificuldade em entrar em um consenso sobre qual tamanho de partícula contribui melhor para um máximo módulo de ruptura (MOR), pois também há outras variáveis envolvidas, como tipo de resina, densidade do painel e condições de prensagem. Atualmente, o tamanho das partículas de bagaço de cana-de-açúcar utilizadas na produção de painéis continua bem variado nas pesquisas já realizadas, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Resistência à flexão de painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar com diferentes densidades e tamanhos de partículas.

Autores e data	Tamanho da partícula (mm)	Densidade aparente kg/m³	MOR MPa
Shahidan e Muhammed (2011)	2	650	10,69
Yoshico et al. (1997)	3	710	23,2
Sartori et al. (2015)	8	947	22,6

Fonte: Própria autoria.

Sartori et al. (2015) produziram painéis com partículas de até 8mm, contudo observa-se Yoshico et al. (1997) obtiveram painéis de resistência semelhante, embora tenha utilizado partículas menores (3mm) e densidade inferior.

Visto que segundo Magzoub et al. (2014), partículas pequenas de bagaço de cana-de-açúcar (aproximadamente 1 mm) resultam em ligações pobres entre a matriz e o reforço, os pesquisadores têm optado por utilizar partículas maiores. Assim, Fiorelli et al. (2013) produziram diferentes painéis com partículas maiores, de 5 e 8 mm, e observaram que não houve diferença significativa no módulo de ruptura. Contudo, os tamanhos de partículas influenciam de maneira distinta nas propriedades dos painéis. Os painéis com partículas de

5 mm apresentaram maior módulo de elasticidade, mas mostraram maior inchamento em espessura que painéis produzidos com partículas de 8 mm e imagens de microscopia eletrônica de varredura mostraram que partículas de 8 mm favorecem a dispersão da resina nos espaços entre as partículas. Portanto, a combinação entre estes diferentes tamanhos de partículas pode levar a uma sinergia benéfica na qual cada tamanho de partícula pode contribuir com suas propriedades intrínsecas.

3.3.4. Tipo de resina

A resina é o componente de maior custo do painel de partículas. O tipo e teor desse material influenciam nas propriedades físico-mecânicas dos painéis. Além disso, as principais resinas utilizadas são à base de formaldeído. Outra questão a ser destacada é que a resina fenol-formaldeído (FF) é mais comum por causa da melhor resistência à umidade quando comparada a outras resinas, como a ureia-formaldeído (UF). Por isto, a resina fenol-formaldeído é mais indicada para painéis de uso externo ou ambiente de alta umidade relativa (MENDES, 2010).

Embora as resinas à base de formaldeído sejam as mais utilizadas para a aglutinação das partículas em painéis particulados, em razão do menor custo, elas podem causar danos à saúde humana e ao meio ambiente quando o formaldeído é liberado na cadeia produtiva do painel (NAKANISH et al., 2018).

A tendência de um mercado mais sustentável ocasionou a preocupação com a emissão de formaldeído pelas tradicionais resinas utilizadas na produção de painéis de partículas. Isto despertou o interesse em investimentos na pesquisa e produção de resinas alternativas que não geram emissão de formaldeído ou com níveis de emissão bem menores (NÚÑEZ-DECAP; BALLERINI-ARROYO; ALARCÓN-ENOS, 2018).

Resinas que não são derivadas do petróleo, mas de fontes naturais, como óleos vegetais, são consideradas de origem de fontes renováveis. O desenvolvimento de poliuretanos derivados de óleo de mamona (obtido da semente da planta “*Ricinus Communis*”), planta abundante no Brasil, teve origem na década de 40 (VILLAR, 1993).

A resina bicomponente poliuretana à base de óleo de mamona é considerada menos nociva ao meio ambiente que as resinas à base de formaldeído. A resina à base de óleo de mamona é composta pela união de dois compostos: poliol derivado de óleo de mamona mais o pré-polímero chamado isocianato (BATTISTELLE et al., 2016). As fibras vegetais são

compatíveis com este tipo de resina termorrígida. Elas têm natureza rica em hidroxilas e seus grupos hidroxilas podem reagir com o grupo isocionato do poliuretano (BUFALINO, 2013).

Eco painéis de partículas de fibra de açaí foram desenvolvidos com resina poliuretana bicomponente à base de óleo de mamona para uso comercial na indústria de construção e moveleira, como alternativa aos painéis de partículas industriais (DE LIMA MESQUITA et al., 2018). Estudos realizados com a produção de painéis de bagaço de cana-de-açúcar e resina poliuretana à base de óleo de mamona apresentaram painéis de boa qualidade comparados aos painéis comerciais. Esses estudos mostraram que a resina à base de óleo de mamona é eficiente como matriz polimérica para produção de painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar, com propriedades mecânicas equivalentes às chapas produzidas em escala industrial à base de partículas de madeira (FIORELLI, 2011).

Painéis particulados de bagaço de cana-de-açúcar produzidos com resina poliuretana de óleo de mamona apresentam uma microestrutura com melhor acomodação das partículas. Isto contribui para minimizar a absorção de água do painel (BATTISTELLE et al., 2016).

3.3.5. Temperaturas de prensagem

A aplicação de resina poliuretana à base de óleo de mamona permitiu otimizar o processo de produção de painéis com relação ao menor consumo de energia no processamento, pois esta resina requer menores temperaturas de prensagem que as resinas à base de formaldeído (FIORELLI, 2013).

A escolha do processo de fabricação dos painéis é definida principalmente de acordo com as características da matriz polimérica e da temperatura de polimerização mais adequada ao tipo de matriz optada. A moldagem por compressão aplica-se a polímeros termoplásticos ou termorrígidos. Neste método, o material (fibra mais resina) é colocado dentro de um molde e mantido à alta pressão e temperatura. Esta técnica permite o uso de reforços com diferentes geometrias (SILVA, 2003).

Painéis de bagaço de cana-de-açúcar sem resina foram produzidos sob alta temperatura (de 200 à 280° C) e os resultados mostraram que o aumento da temperatura a 280°C melhoraram as propriedades mecânicas e a estabilidade dimensional dos painéis. A densidade do painel aumentou com a elevação da temperatura até 240°C, a partir de então, o

aumento da temperatura ocasionou a redução da densidade (NONAKA; UMEMURA; KAWAI, 2013).

Embora o bagaço de cana-de-açúcar possa suportar altas temperaturas como estas sem comprometer o potencial de suas propriedades mecânicas, o tipo de resina utilizado para a aglutinação das partículas pode ser um fator determinante na temperatura máxima que o processo produtivo pode atingir. A temperatura utilizada na produção de painéis de bagaço com resina poliuretana à base de óleo de mamona é normalmente em torno de 100°C, fator que contribui para economia no consumo de energia no processamento de painéis (FIORELLI et al., 2013).

3.3.6. Aplicações dos painéis particulados de bagaço de cana-de-açúcar

As análises das medidas do desempenho mecânico são necessárias no desenvolvimento de novos materiais compósitos, a fim de conhecer suas características e prever se o comportamento mecânico do material será adequado para atender as especificações do produto que será projetado (CALLISTER JÚNIOR, 2008).

Segundo a American National Standard, os painéis particulados de alta densidade geralmente destinam-se ao uso industrial e têm como característica apresentar densidade acima de 800 kg/m³. Ademais, esses painéis são designados pela letra H (inicial da palavra “*Hight*”) e são classificados em três graus: H-1, H-2 e H-3, (ANSI, 1999). Os principais requerimentos das propriedades mecânicas para cada grau estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades mecânicas requeridas pela American National Standard.

Grau	Módulo de ruptura (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Arrancamento de parafuso (N)	
H-1	16,5	2400	1800	1325
H-2	20,5	2400	1900	1550
H-3	23,5	2750	2000	1550

Fonte: Adaptado de ANSI (1999).

Várias pesquisas têm sido realizadas para verificar as possíveis aplicações de painéis com bagaço de cana-de-açúcar. Além das propriedades mecânicas destes painéis, foram estudadas, nos trabalhos de alguns autores, suas aplicações para absorção de som, isolamento

e conforto térmico (AZMI et al., 2013; DOOST-HOSEINI, TAGHIYARI; ELYASI, 2014; PANYAKAEW; FOTIOS, 2011).

Painéis de bagaço de cana-de-açúcar com resina poliuretana à base de óleo de mamona apresentaram propriedades mecânicas que permitem sua aplicação em uso estrutural comercial e industrial em ambientes internos de residências, construções civis e agrícolas, setor moveleiro, decorativo e também para aplicações não estruturais (FIORELLI et al., 2011, 2013). Estudos comprovaram que painéis de bagaço de cana-de-açúcar são eficientes para aplicação de uso estrutural em instalações de gado e apresentaram-se resistentes aos impactos com os animais (SARTORI et al., 2015).

Embora já existam inúmeros estudos que certificam a eficiência e qualidade dos painéis de bagaço de cana-de-açúcar para aplicações de uso estrutural e não estrutural, estudos que visam aplicação desses painéis para embalagens de transporte não foram encontrados na base de dados da *Web of Science*, ou seja, essa vertente de aplicações para esse material ainda não foi explorada.

3.4. Considerações sobre a aplicação de painéis particulados em paletes

3.4.1. Paletes

O palete é uma embalagem terciária de transporte sobre a qual se apoiam as mercadorias impedindo o contato direto com o solo. Ele propicia maior facilidade nos processos de embalagem, transporte e armazenamento dos materiais. Normalmente são retornáveis e sua perda, por extravio ou danos, ocasiona custos para as empresas. A madeira é o material predominante no palete (SABBADINI; PEDRO; BARBOSA, 2005).

Paletes são elementos obrigatórios nos dias atuais em indústrias que movimentam materiais com potencial para o empilhamento. A introdução de paletes e máquinas de uso especial, como as empilhadeiras, proporcionou um ganho de eficiência na logística das empresas (MASSOD; RIZVI, 2005).

Nos EUA, cerca de 450 milhões de novos paletes são produzidos anualmente e, destes, 1,9 mil milhões estão em uso a qualquer momento. Paletes de madeira maciça correspondem a 95% do total em uso em nos EUA. Em 2005, estimou-se que 33% (3,8 bilhões de pés cúbicos) de madeira serrada produzida nos Estados Unidos foram utilizados para a fabricação de paletes (KIM; KIM; PARK, 2009).

Um estudo de caso com uma grande empresa de bebidas no Brasil mostrou que são utilizados, em média, 12.000 paletes na operação de movimentação e embarque de produtos aos clientes. Estes paletes devem retornar à empresa após a entrega ao cliente. Havia uma perda de 45% desses paletes ao longo do ano, graças ao extravio e falta de retorno pelos clientes e transportadoras. Uma das alternativas sugeridas para minimizar as perdas foi a substituição de paletes retornáveis por paletes descartáveis (SABBADINI; PEDRO; BARBOSA, 2005). No tocante ainda aos paletes, convém destacar que aquele paleta que não retorna ao ponto de origem é chamado *one way* e normalmente é um tipo utilizado no comércio exterior (LEANDRO, 2006).

Os principais problemas que levam ao fim da vida útil dos paletes são a quebra e o inchaço da madeira. Muitos paletes são feitos com madeira de pouca durabilidade e quando ocorre alguma deformação, normalmente o descarte é preferível à reconstituição. Com relação ao método de eliminação de tais paletes, salientamos que a incineração é um método prejudicial à natureza para a eliminação destes paletes, por isso as empresas procuram parceiros que reutilizem as ripas para produção de caixas. O reaproveitamento dessas madeiras dos paletes descartados possibilita a fabricação de 8 caixas de transporte, além das ripas, pregos e tocos também são reutilizados (LEANDRO, 2006).

3.4.2. Características físico-mecânicas das tábuas componentes dos paletes

Uma madeira precisa estar livre de defeitos para que seja adequada para a produção de paletes. Os defeitos que não são permitidos em componentes de madeiras para paletes são: nós, rachaduras, colorações ou manchas, bolsas de resina, furos de insetos, quina morta e odores (ABRAS; CPP, 1993).

Segundo a Norma Brasileira ABNT NBR 8254 Paletes – Terminologia, o paleta apresenta uma abertura, que é um vão livre para entrada do garfo rodante da empilhadeira que fará o transporte do paleta, conforme está apresentado na Figura 2 sem escala.

Figura 2 – Ilustração sem escala do palete padrão utilizado no transporte de alimentos em supermercados com as respectivas dimensões finais e tolerâncias.

Fonte: Adaptado de ABRAS; CPP(1993).

O palete pode ser composto por tábuas com propriedades de resistência diferentes, pois as tensões de esforços aplicadas em cada tábua que compõe o palete podem variar de acordo com a posição em que ela se encontra no palete. Algumas tábuas estão susceptíveis a maiores esforços de tensão causados pelo contato com o garfo da empilhadeira e pela carga transportada. A Tabela 4 apresenta os dois grupos de tábuas que fazem parte do palete e as características específicas de cada grupo, como densidade, resistência à flexão para cada tipo de tábua e dureza Janka, que é um ensaio mecânico para determinar a dureza superficial do material, método tradicionalmente empregado para madeiras (ABRAS; CPP, 1993).

Tabela 4 – Diferença entre tábuas do tipo I e do tipo II para produção de paletes.

Grupo	Utilização	Densidade (kg/m³)	Resistência à flexão (MPa)	Dureza Janka (N)	Exemplos de madeiras
I	Tábuas intermediárias da face superior e tábuas da face inferior.	400	34	1700	Pinus Faveira Pinho-do-paraná Louro-vermelho Cedrinho/Quaru barana
II	Tábuas da extremidade da face superior; tábuas de ligação/transversais e todos os blocos.	600	63	4000	Eucalipto Andiroba Amapá Oiticica/Guariúba Timborana

Fonte: (ABRAS; CPP, 1993).

A Figura 3 mostra os tipos de tábuas que compõem cada parte do paleta, a quantidade de cada um desses tipos de tábuas, suas dimensões e localização no paleta, o tipo de grupo a que pertencem e sua resistência mínima à flexão.

Figura 3 – Partes que compõem o palete, dimensões, quantidades e tipos de pregos para montagem.

Quadro de Componentes do Palete				
Itens	Qtde	Dimensões (mm)	Parte componente	Madeira
1	2	1200 x 95 x 21	Tábuas da extremidade da face superior	Grupo II
2	6	1200 x 95 x 21	Tábuas centrais da face superior	Grupo I ou Grupo II
3	3	1000 x 145 x 21	Tábuas de ligação	Grupo II
4	9	145 x 145 x 75	Blocos	Grupo II
5	3	1200 x 145 x 21	Tábuas da face inferior	Grupo I ou Grupo II
6	126	2,8x55	Prego espiralado	XXXX (Não se aplica aos Grupos I e II da madeira)

- 1** Tábuas que requerem no mínimo 63 MPa de resistência à flexão
- 2** Tábuas que requerem no mínimo 34 MPa de resistência à flexão
- 6** Prego espiralado

Fonte: Adaptado de ABRAS; CPP(1993).

3.4.3. Limitações e perspectivas dos painéis para aplicação em paletes

Um material pode ser separado em duas ou mais partes quando é imposto a uma tensão maior que sua capacidade de resistência ou ocasionar falha que é indesejável nos materiais, pois pode causar perdas econômicas e colocar vidas humanas em risco. Por isso, é necessário desenvolver mecanismos que evitem falhas, para que estas sejam prevenidas ou controladas (CALLISTER, 2008).

Especificações e normas são responsáveis por determinar os níveis de resistência adequados para a aplicação segura dos materiais. A Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS), por exemplo, elaborou uma especificação para produção de paleta padrão para distribuição nacional. Segundo ela, as madeiras destinadas à produção de paletes necessitam apresentar alta resistência à flexão (63MPa) para determinadas tábuas que compõem o paleta (ABRAS; CPP, 1993). Na Tabela, 5 é possível observar que pesquisas sobre painéis de partículas com bagaço de cana-de-açúcar têm mostrado que estes painéis ainda não apresentam resistência mecânica suficiente para atender esta especificação para aplicação na produção de paletes.

Tabela 5 – Resistência mecânica de diferentes painéis particulados de bagaço de cana-de-açúcar.

Autor	Tipo de resina	Densidade do painel (kg/m ³)	Espessura do painel (mm)	Módulo de ruptura (MPa)
NONAKA; UMEMURA; KAWAI, 2013	Resina polimérica difenilmetano diisocianato	800	9	39,4
NAKANISHI et al., 2018	Látex	900	15	6,32
SARTORI et al., 2015	Resina poliuretana bicomponente de óleo de mamona	947	10	22,6
FIGORELLI et al., 2011	Resina poliuretana bicomponente de óleo de mamona	930	10	22,4

Fonte: Nonaka, Umemura e Kawai (2013), Nakanishi et al. (2018), Sartori et al. (2015), Fiorelli et al.(2011).

Nakanish et al. (2018) observaram que, embora o látex seja uma resina polimérica natural, livre de formaldeído e com boas propriedades de isolamento térmico, não é uma resina que contribua para elevar a resistência mecânica do painel. Sartori et al. (2015) e Fiorelli et al. (2012) obtiveram resultados que indicam que a resina poliuretana de óleo de mamona contribui para a obtenção de painéis que tenham aplicação que requer alta resistência mecânica.

Nonaka, Umemura e Kawai (2013) obtiveram bom desempenho mecânico utilizando a resina polimérica difenilmetano diisocianato. Porém, segundo a *Health Building Network* (2008), este tipo de resina pertence a uma classe química de isocianatos e a exposição a estes compostos pode causar uma série de impactos negativos em relação à saúde, como problemas na pele, mucosas, trato respiratório e também problemas associados ao câncer.

Painéis tipo sanduíche são compósitos estruturais em que um material (recheio) é separado por duas lâminas superficiais que proporcionam alta rigidez e resistência ao material. Essas lâminas devem ter resistência suficiente às tensões de tração e compressão da carga aplicada (CALLISTER, 2008).

A aplicação de reforço têxtil pode contribuir para elevar a resistência de materiais compósitos (MOHAREB et al., 2015). A Figura 4 apresenta um modelo representativo de painel sanduíche com reforço têxtil nas duas faces das superfícies do painel.

Figura 4 – Diagrama esquemático sem escala, mostrando o modelo de um painel do tipo sanduíche com reforço têxtil em ambas as faces.

Fonte: Adaptado de: MOHAREB et al. (2015).

Localizar a lâmina de reforço na superfície do material proporciona uma capacidade de reforço superior àquela proporcionada quando essa lâmina é colocada na região central. Isto se explica pela existência de uma superfície neutra no interior do material, que não está sujeita a tensões. A maior concentração de tensões e deformações dá-se na superfície do material e vai diminuindo à medida que se aproxima da zona neutra no interior do painel (HIBBELER, 2010; MINDESS, 2007).

O uso de produtos têxteis como alternativa de reforços em materiais é comum na engenharia. Uma das principais vantagens da aplicação de têxteis como reforços é a grande flexibilidade na sua produção, que permite uma variada gama de matéria prima natural ou artificial (TRANTAFILLOU, 2016).

A elevação da resistência de materiais através de reforço têxtil já se mostrou eficaz em outros tipos de materiais aplicados nas indústrias automotiva, aeronáutica, técnica e de infraestrutura (MISNONet al., 2014).

Na construção civil, a aplicação de reforço têxtil é comum em materiais cimentícios. Em pesquisas realizadas com vigas de concreto, a resistência do material foi elevada em 39%. Isto se deveu à contribuição do reforço na absorção de tensões de tração, quando o material submetido a uma carga se encontra no seu limite de resistência (PALIGA; CAMPOS FILHO; REAL, 2012).

Em materiais lignocelulósicos, há poucos estudos sobre esse tipo de aplicação. Wehsener et al. (2014) afirma que tensões e deformações aplicadas em compósitos precisam ser compensadas com reforço têxtil. Este reforço pode ser incluído com a finalidade de transferência de carga e distribuição de tensões. A adição de reforço têxtil na combinação sanduíche ocasiona a diminuição da tração e aumento da elasticidade do material durante a moldagem. Portanto, o reforço aumenta a maleabilidade e a capacidade de carga do material.

Segundo Misnon et al. (2014), a capacidade de carga do reforço têxtil de fibra natural também é influenciada pela quantidade, alinhamento e dispersão de fibras. Apesar das fibras vegetais serem alvo de estudo de vários pesquisadores no mundo todo, pesquisas relacionadas à aplicação de camadas de tecido de fibras vegetais em painéis de partículas são escassas, portanto é necessária uma investigação experimental sobre o tema para o desenvolvimento deste novo material.

3.5. Reforço têxtil

Os materiais têxteis são muito usados na agroindústria e na produção de alimentos há milhares de anos. Na indústria de pesca, por exemplo, são utilizados na forma de redes, cordas e linhas. Na agricultura e horticultura, destinam-se para fins de proteção, armazenamento e transporte de produtos, como por exemplo, o saco de juta (BYRNE, 2000).

3.5.1. Principais elementos constituintes do tecido

A compreensão dos elementos que formam os materiais têxteis e suas propriedades mecânicas pode auxiliar o entendimento do desempenho que os têxteis podem exercer quando estão em conjunto com outros materiais. As principais atividades da indústria têxtil compreendem a fabricação de fibras, fios e tecidos que são produzidos no processo de tecelagem (PEREIRA, [s.d]). Assim, algumas definições são importantes, como as apresentadas na sequência:

a. Fibras

De acordo com as terminologias contidas na ASTM D 123-03 *Satandard Terminology Relating to Textiles*, fibra é um termo genérico para qualquer um dos vários tipos de matéria que formam os elementos têxteis básicos e é caracterizado por ter um comprimento de ao menos 100 vezes o seu diâmetro. Filamento é uma denominação para fibras contínuas de comprimento extremamente longo. Segundo Sinclair (2015), a fibra é o elemento básico dos produtos têxteis caracterizada por ser um material filamentosos flexível e com elevada relação entre o comprimento e espessura. Considerando essas características de tal elemento e sua importância na produção de produtos têxteis, destacamos que as fibras formam os fios quando são combinadas e torcidas. Fibras naturais são encontradas na natureza e fibras sintéticas são obtidas por processos artificiais (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1992). Fibras naturais ou sintéticas também são utilizadas na fabricação de tecidos de engenharia que requerem alta resistência (CARDOSO, 2009). Segundo Stanley (2015), o impacto ambiental que um determinado produto pode causar está influenciando a decisão de compra dos consumidores e mudando sua característica de consumo, o que tem levado muitas empresas a investirem em “produtos

verdes” produzidos com fibras naturais e em marketing sustentável para criar uma boa imagem frente ao consumidor.

b. Fio

O fio é um material caracterizado por ter elevado comprimento em relação à sua seção transversal. O fio de multifilamentos é formado por um grupo de fibras, com ou sem torção. O processo de formação do fio é chamado fiação. A Figura 5 exemplifica um fio formado por vários filamentos de fibras (SINCLAIR, 2015).

Figura 5 – Ilustração sem escala que representa um fio formado por filamentos de fibras.

Fonte: SINCLAIR (2015).

Segundo a terminologia da norma ASTM D 123-03 *Standard Terminology Relating to Textiles*, fio é um termo genérico utilizado para designar um fio contínuo de fibras ou filamentos têxteis de forma adequada para formar um tecido. Um fio de filamentos contínuos é um fio cujos filamentos estendem-se substancialmente ao longo do comprimento do fio. Ruptura dos fios é uma falha evidenciada quando os fios se rompem no corpo de prova analisado no ensaio de tração.

As propriedades do fio são influenciadas pelas propriedades das fibras e por fatores como diâmetro do fio, torção, forma da seção transversal e grau de compactação das fibras (BARUQUE, 2006).

c. Tecido

Segundo as terminologias contidas na ASTM D 123-03 *Standard Terminology Relating to Textiles*, tecido consiste em uma estrutura plana composta por fios ou fibras. O tecido é formado pelo entrelaçamento dos fios e é caracterizado por apresentar uma considerável área de superfície em relação à espessura (SINCLAIR, 2015). As propriedades dos tecidos são determinadas pelas propriedades dos fios e por suas características geométricas, como tecimento, número de fios por área e grau de empacotamento do fio na estrutura. Destaca-se que a crimpagem do fio é o formato ondulado que o fio pode assumir

quando se acomoda no tecido (BARUQUE, 2006). Um tecido técnico pode ser produzido com requerimentos funcionais específicos para a aplicação pretendida para o tecido. Este material pode ser produzido com uma técnica especial para a produção de fios e também pela combinação de diferentes tipos de fibras. Neste caso, sua produção não tem finalidade estética, mas sim visa a atender a performance técnica e as propriedades funcionais às quais se destina. No que concerne à dimensão dos tecidos, destacamos que a maioria é bidimensional, mas há um crescente número de tecidos tridimensionais sendo produzidos. Por fim, quanto à produção, frisamos que o número de estruturas têxteis que podem ser produzidas é ilimitado (GONG; CHEN, 2000).

d. Urdume e trama

Os fios de urdume são entrelaçados no comprimento do tecido, ao passo que os fios de trama são entrelaçados na largura do tecido. O tipo de superfície têxtil a ser produzido é definido de acordo com a aplicação do tecido. O tecido de malha pode ser classificado em urdume ou trama (PEREIRA, 2011). A Figura 6 mostra a disposição dos fios de urdume e de trama no tecido.

Figura 6 – Representação dos fios de urdume e de trama no tecido.

Fonte: Pereira (2011).

A Figura 7 mostra um tecido de fibra de juta cortado em um ângulo de 90°.

Figura 7 – Tecido de fibra de juta cortado em ângulo de 90° e ilustração da direção dos fios de trama e urdume.

Fonte: Adaptado de: Rafiquzzaman et al. (2017).

3.5.2. Características do tecido que influenciam em sua atuação como reforço têxtil

a. Quantidade de fios do tecido

Utilizando-se a norma da ABNT NBR 10588 (Tecidos Planos - Determinação da densidade de fios), é possível fazer a contagem dos fios do tecido para saber quantos fios foram alinhados por centímetro do tecido. O resultado é apresentado em fios/cm no urdume e batidas/cm para a trama. Um maior número de fios proporciona um tecido mais aberto e um menor número de fios proporciona um tecido mais fechado (PEREIRA, 2011).

A contagem de fios é feita ao se contar o número de fios de urdume e trama por polegada em um tecido. Dessa forma, quanto maior o número de fios por polegadas, mais denso é o tecido. No tecido, existem orifícios causados pelo entrelaçamento de fios de urdume e trama. Na contagem de fios do tecido, o grau de abertura influencia na capacidade de penetração de substâncias no tecido. Assim, tecidos com mais espaços livres entre os fios são mais permeáveis (BARUQUE, 2006).

b. Massa do tecido

A massa do tecido utilizado como reforço pode influenciar na densidade e resistência do compósito ao qual ele será adicionado. A determinação da gramatura do tecido é a relação de massa por unidade de área expressa em gramas por metro quadrado. A norma

que orienta esta determinação é a ABNT NBR 10591 (Materiais têxteis - Determinação da gramatura de superfícies têxteis) (PEREIRA, 2011).

c. Espessura

A titulação é uma caracterização do fio que mede sua numeração em unidade TEX, nesse sentido, quanto mais alto o valor da titulação, mais grosso é o fio. Já a qualidade do fio é influenciada pela combinação das fibras, seu comprimento, torção e espessura. A titulação, por sua vez, é uma caracterização do fio que mede sua numeração em unidade TEX, assim, quanto mais alto o valor da titulação, mais grosso é o fio (PEREIRA, 2011).

d. Torção

A torção do fio influencia nas suas propriedades mecânicas, por isso, o tipo de aplicação do tecido define a necessidade de menor ou maior torção. Portanto, a característica desejada do fio e sua aplicação podem determinar a torção imposta pelo produtor. Então, a torção é necessária para manufaturar os fios formados de fibras cortadas, pois contribui para dar integridade, compactação, resistência ao rompimento e abrasão do fio. Neste sentido, a torção exerce efeito na resistência à ruptura do fio e uma torção pode ser selecionada para produzir resistência máxima ao rompimento. O aumento da resistência pela torção ocorre em razão de as fibras assumirem um caminho helicoidal, envolvendo-se e pressionando-se umas com as outras (BARUQUE, 2006).

e. Entrelaçamento dos fios

A geometria da fibra, do fio e do tecido influencia no entrelaçamento dos fios, sendo necessário haver coesão suficiente para dar uma força mecânica útil ao tecido (SINCLAIR, 2015). Segundo Pereira (2011), o ligamento dos fios pode ocorrer de três formas básicas: tela (ou tafetá), sarja e cetim, como são exemplificados na Figura 8.

Figura 8 – Desenho esquemático e micrografias das armações fundamentais: (a) tecido de seda com armação do tipo tela, (b) tecido de algodão com armação do tipo sarja e (c) tecido de poliéster com armação do tipo cetim.

Fonte: Adaptado de Velloso et al. (2016).

f. Elementos de revestimento/tratamento

Segundo Pereira (2011), os tecidos podem receber beneficiamentos que podem melhorar suas propriedades para aplicações específicas, como por exemplo:

- Aplicação de resinas antibacterianas;
- Aplicação de microencapsulado;
- Hidrofugação: aplicação de resinas que repelem ou impedem a passagem de líquidos;
- Impermeabilização: resinas que bloqueiam os poros dos tecidos.

O termo “à prova d’água” (*waterproof*) é usado para um tecido que é resistente à penetração de água. Tecidos dessa natureza são obtidos por meio de acabamentos que se aplicam na forma de recobrimentos com substâncias como parafinas e resinas resistentes à água (BARUQUE, 2006).

Há uma diversidade de recobrimentos de produtos têxteis que variam em sua composição de acordo com a sua finalidade. A borracha de estireno-butadieno (SBR), por exemplo, tem a vantagem de possuir fácil processamento e aumentar a resistência do tecido às intempéries (HALL, 2000). A Figura 9 mostra como se obtém o estireno butadieno, feito pelo processo polimerização em emulsão dos monômeros de estireno e butadieno.

Figura 9 – O estireno butadieno é feito pela emulsão de polimerização do estireno e butadieno.

Fonte: Hall (2000).

g. Fibras naturais e manufaturadas

As fibras podem ser classificadas como naturais (fibra de juta) ou manufaturadas (fibra de vidro). As fibras naturais têm como característica a alta absorção de umidade e a sensibilidade a agentes químicos (PEREIRA, 2011).

As propriedades de uma fibra são influenciadas pela característica da substância polimérica da qual é formada. A repelência e a resistência à água dependem da natureza da fibra, da geometria do tecido e se este é recoberto por uma cobertura impermeável. Embora muitas fibras sintéticas sejam hidrofóbicas, não significa que seus tecidos serão repelentes à água, pois os espaços entre fibras e fios podem atuar como capilares que podem promover a penetração do fluido (BARUQUE, 2006).

3.5.3. Propriedades do reforço têxtil podem influenciar na resistência do compósito

a. Alongamento

Indica o quanto o tecido aumenta sua dimensão até o rompimento no dinamômetro (PEREIRA, 2011). Algumas fibras resistem mais, mas alongam menos. Outras fibras resistem menos e alongam mais, até o ponto de ruptura. O alongamento pode ser um critério utilizado no controle de qualidade dos tecidos (BARUQUE, 2006).

b. Elasticidade

É capacidade do tecido de alterar suas dimensões mediante uma força e retornar ao tamanho original (PEREIRA, 2011). A resistência não é o único critério pelo qual a fibra deve ser avaliada. Os fios e tecidos são aplicados por causa da sua flexibilidade, capacidade de se deformar, resistir a cargas, absorver energia, além da sua capacidade de recuperação quando a carga é removida. Fibras têxteis são chamadas viscoelásticas e exibem propriedades de tensão e alongamento. A natureza molecular e estrutural desses materiais permite que eles funcionem como um elástico ou uma mola. Se uma força de tensão for aplicada abaixo do ponto que levaria à ruptura, esta amostra é alongada. Caso a força seja removida, uma recuperação ao alongamento ocorrerá (BARUQUE, 2006).

c. Resistência das fibras, fios e tecidos

A resistência do fio depende de propriedades intrínsecas das fibras, como resistência, alongamento, área da seção transversal, comprimento e coeficiente de fricção. As fibras vegetais têm alta variação nas áreas das seções transversais. Fatores geométricos também influenciam na resistência, tais como: o diâmetro do fio, as voltas por polegada e o grau de empacotamento da fibra (razão entre o espaço da fibra e o espaço vazio no interior do fio). Quando uma fibra está sujeita a uma força de tensão, sua resistência depende tanto da habilidade da fibra de manter-se intacta, como também das dimensões da fibra. Embora uma fibra possa apresentar alta resistência, a proporção desta resistência é diminuída quando a fibra se encontra no tecido. Isto ocorre principalmente no caso de fibras cortadas, dada à existência de vários fatores como: não uniformidade das fibras, deslizamento entre as fibras

e orientação aleatória e helicoidal das fibras por conta do retorcimento do fio (BARUQUE, 2006).

As fibras de vidro encontram-se entre aquelas de alto desempenho que são utilizadas em aplicações que requerem alta resistência (MORTON; HEARLE, 2008).

d. Módulo elástico (Módulo de Young)

O módulo de Young também é chamado de dureza do material. Nesse sentido, quanto maior seu valor, menor é a deformação do material. A ASTM define o Módulo de Young como a razão da variação da tensão por variação do alongamento dentro do limite elástico do material. A determinação deste módulo faz-se importante quando se trabalha com materiais que são usados abaixo do seu limite elástico. Materiais com elevados módulos de Young são rígidos e mostram pequeno alongamento sob carga. Por outro lado, materiais com baixos valores de módulo são extensíveis e mostram grande alongamento sob carga. A dureza ou flexibilidade de um material pode determinar a aplicação para o qual ele é destinado. A flexibilidade dos tecidos é uma característica que possibilita uma infinidade de aplicações destes materiais (BARUQUE, 2006).

e. Rigidez ou energia de absorção

A rigidez é uma propriedade que expressa a medida do trabalho feito ou a capacidade de energia absorvida pelo filamento expresso no diagrama carga-alongamento. É desejável que o material possua uma combinação entre a capacidade de suportar carga e o alongamento, além de ser essencial que a energia absorvida ocorra com um mínimo de deformação ou alongamento da amostra. Isto colabora para que o material mantenha sua estabilidade dimensional. Têxteis que são sujeitos a forças de impacto necessitam apresentar capacidade de absorver grande quantidade de energia em um curto período de tempo (BARUQUE, 2006).

3.5.4. Fibras de juta e de vidro aplicadas em reforços têxteis

A valorização das fibras vegetais tem ocorrido em decorrência do aumento da consciência da preservação ambiental, que conseqüentemente promove um maior interesse nos materiais biodegradáveis, os quais causam menores danos ao meio ambiente (SILVA;

FREIRE JÚNIOR; AQUINO, 2004). Têxteis ecológicos fazem parte de um seguimento do mercado têxtil que está em crescimento. Portanto, a indústria têxtil tem investido no potencial destes produtos, adotando o uso de fios mais leves, fortes e precisos (BYRNE, 2000).

Estruturas têxteis podem ser produzidas com fibras vegetais ou sintéticas. Essas fibras possuem diversas áreas de aplicação, em razão de suas características, como baixa densidade, baixo custo e elevada resistência. Tecidos podem apresentar excelentes propriedades para melhorar o desempenho mecânico de compósitos, graças às variações de direção das fibras (SEZGIN; ALI; ERHAN, 2009). Assim, as propriedades de um tecido são afetadas principalmente pelas propriedades das fibras (UNAL; TASKIN, 2007).

A fibra de juta é extraída do caule da planta *Corchorus capsularis*, sendo uma das fibras vegetais mais fortes. A Figura 10 mostra uma micrografia da fibra de juta, que se constitui como a segunda fibra natural mais produzida, perdendo somente para a produção do algodão. Cada hectare pode render 2 toneladas de fibra de juta, além de poder consumir cerca de 15 toneladas de dióxido de carbono e, ainda, liberar 11 toneladas de oxigênio (NATURAL FIBERS, 2009).

Figura 10 – Micrografia da fibra de juta.

Fonte: Adaptação de Khan et al. (2015).

A fibra de juta contém grande quantidade de celulose, aproximadamente 58–63%, que é um biopolímero muito hidrofílico. A unidade básica da celulose é a β -D-glucose, que contém três grupos hidroxila ($-\text{OH}$) e é responsável pela forte natureza hidrofílica da fibra de juta. A fibra de apresenta alta absorção de água em curto intervalo de tempo (KHAN et al., 2010). Como se trata de uma fibra natural, não é possível controlar sua composição química, a qual pode variar. Segundo Dalbehera e Acharya (2014), a fibra de juta é composta por celulose (61–72%), hemicelulose (14–20,4%), lignina (12–13%) e pectina (0,2%).

Diferentemente da cana-de-açúcar, a produção de fibra de juta não abrange todos os continentes. Sua produção dá-se principalmente na Ásia e América do Sul, como mostra a Figura 11. Os principais produtores no mundo são Índia e Bangladesh, com produção de 1,9 e de 1,3 milhões de toneladas, respectivamente. A produção brasileira é de 106 toneladas. Destaca-se que estes dados são referentes ao ano de 2016, sendo os dados mais recentes da FAO até o presente momento (FAO, 2018).

Figura 11 – Principais países produtores de fibra de juta no mundo.

Fonte: Adaptado de: (FAO, 2018).

Milhões de pessoas empregam-se nos setores relacionados à fibra de juta, possibilitando a inclusão social no seu processo produtivo. Os fios de fibra de juta são utilizados na produção de cortinas, revestimentos de cadeira e tapetes, coberturas de almofada, brinquedos, tapeçarias, abajures e sapatos. Há também novas aplicações da fibra de juta, como na fabricação de embalagens (sacarias), substituição da madeira na produção de papel, produção de geotêxteis biodegradáveis, flexíveis, que podem absorver a umidade, drenando-a bem (NATURAL FIBERS, 2009).

Na indústria alimentícia, os sacos de juta são utilizados para transporte e armazenamento de batatas, sementes de cacau, nozes, café e arroz (BISCEGLIE et al., 2005; BONVEHÍ; COLL, 2014; GROB et al., 1991). Embora os sacos plásticos de polipropileno tenham entrado no mercado competindo com os sacos de juta, os sacos desta fibra natural são preferíveis para o armazenamento de café e batata, por favorecer um melhor controle da umidade e pela sustentabilidade da sua cadeia produtiva (TOLEDO, 2010).

A fibra de juta é uma fibra disponível em território nacional e de fácil acesso no mercado. Essa fibra, proveniente do Norte do Brasil, além das boas propriedades mecânicas, tem a vantagem de apresentar resistência térmica adequada para a produção de painéis. Assim, a mencionada fibra pode ser utilizada no processamento do painel de partículas de bagaço de cana-de-açúcar, no qual a temperatura de prensagem é 100 °C. Contudo, há um limite de temperatura que esta fibra é capaz de suportar, pois um estudo do efeito da temperatura em um compósito epóxi laminado com tecido de fibra de juta mostrou que o tecido de fibra de juta apresentou uma perda de suas características mecânicas a partir da temperatura de 180 °C (MIR et al. 2010).

As fibras de juta são suscetíveis à degradação e perda de resistência mecânica quando em condição úmida (BARUQUE, 2006). Porém, elas têm muitas vantagens em relação às fibras sintéticas, como as de vidro. As citadas fibras de juta são biodegradáveis, têm baixo custo, baixa densidade, boa tenacidade, boas propriedades térmicas, baixo consumo energético e não requerem grande número de maquinários para seu processamento (SILVA; FREIRE JÚNIOR; AQUINO, 2004).

Como as fibras vegetais decompõem-se naturalmente, o que é melhor para o meio ambiente, muitas aplicações têm sido encontradas para fibras vegetais, como a fibra de juta, para utilizá-las em substituição às fibras sintéticas de vidro (BYRNE, 2000).

A fibra de vidro é um material de origem mineral cujo potencial foi subestimado por muito tempo, limitando-se principalmente a aplicações como material isolante de baixo custo, reforço de telhas e plásticos. Atualmente, a fibra de vidro tem obtido reconhecimento como um material de engenharia sofisticada, com excelentes propriedades de resistência térmica e amplamente usada em compósitos para aplicações de alta performance, inclusive em embalagens (GONG; CHEN, 2000).

O tipo de fibra de vidro mais utilizado é o *E-glass*. Ele tem boas propriedades isolantes que são mantidas até a temperatura de 815 °C (KHAN et al., 2010). Por causa da alta disponibilidade e de seu baixo custo, esse tipo de fibra de vidro também tem sido usado como reforço de compósitos (TRIPATHI et al., 2018).

A primeira produção comercial de fibra de vidro foi em 1936, mas, desde a antiguidade, a técnica de aquecer o vidro e transformá-lo em fibras é utilizada. A produção da fibra dá-se quando fios finos à base de sílica ou outras formulações de vidro são extrudados em muitas fibras de pequeno diâmetro, apropriado para o processo têxtil (KHAN et al., 2010). A Figura 12 apresenta uma micrografia da fibra de vidro.

Figura 12 – Micrografia da fibra de vidro.

Fonte: Adaptação de Khan et al. (2010).

Pode-se produzir fibras de vidro com qualidades e especificações diferenciadas. Gong e Chen (2000) classificaram as fibras de vidro em três tipos:

- *E-glass* – Fibras com elevada resistência elétrica, térmica e ao ataque de umidade. São muito utilizadas na forma de tecidos, como reforço de fibra de vidro para plásticos.
- *C-glass* – Fibras reconhecidas por sua resistência química ao ataque de ácidos e álcalis. São muito aplicadas em filtragens químicas.
- *S-glass* – Fibras de vidro de alta resistência mecânica utilizadas na fabricação de compósitos.

O vidro é composto por uma rede amorfa ligada de sílica (SiO_2) que é aberta pela presença de íons metálicos ligados por ligações eletrovalentes dos óxidos metálicos presentes na formulação do vidro. O desempenho mecânico, químico, térmico e elétrico da fibra de vidro depende da composição utilizada na fabricação do vidro. Algumas fibras de vidro precisam ter composições específicas para poderem atender às aplicações para as quais são

direcionadas. A fibra de vidro do tipo *E-glass*, por exemplo, contém apenas pequenas quantidades de álcalis, Na₂O e K₂O, mais CaO, e também óxidos de boro, B₂O₃, alumínio, Al₂O₃, ferro, Fe₂O₃ e magnésio, MgO. Já a fibra de alta resistência *S-glass* também é um óxido de magnésio, tipo alumino silicato, com baixo teor de álcali (MORTON; HEARLE, 2008).

A Tabela 6 apresenta as principais propriedades físico-mecânicas das fibras de vidro do tipo *E-glass* e *S-glass*.

Tabela 6 – Propriedades físico-mecânicas das fibras de vidro.

Fios	Densidade (g/cm ³)	Resistência à tração direta (GPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Alongamento (%)
<i>E-glass</i>	2.60	3.5	72	4.8
<i>S-glass</i>	2.50	4.6	86	5.2

* *E-glass* significa “*Electric glass*”. O “E” em *E-glass* se refere a “elétrico”. São fibras mais resistentes à condução elétrica do que as fibras *S-glass*. O “S” significa Strength e se refere à resistência (MORTON; HEARLE, 2008).

Fonte: (GONG; CHEN, 2000).

Embora seja muito resistente, a fibra de vidro também é frágil e, por isso, alonga-se pouco. Ela tem um módulo de Young muito acima das outras fibras têxteis, por isso, fibras de vidro, fios ou tecidos são utilizados em laminados plásticos, que necessitam sofrer o mínimo de distorção sob baixas cargas. Por ter um alto módulo e inabilidade de se deformar sob baixas cargas, a fibra de vidro é um material frágil e pode fraturar em altas concentrações de tensões. É uma fibra que absorve pouca energia em razão do seu baixo alongamento. Outras fibras podem alongar consideravelmente e absorver muita quantidade de energia, mas podem apresentar baixa capacidade de suportar cargas. Já em fibras com menor módulo, os grandes esticamentos resultantes das aplicações de cargas reduzem a concentração de tensões e a fibra pode permanecer intacta (BARUQUE, 2006).

Segundo Miraftab (2000), a fibra de vidro pode ser melhor utilizada quando é incorporada em matrizes nas quais as fibras estão protegidas por resinas (como as poliméricas), pois, por causa do seu alto módulo, é um material frágil e suscetível a danos e defeitos em sua superfície.

Há muitos artigos que investigaram a atuação da fibra de juta e de vidro como reforços de materiais compósitos. Mas não foram encontrados estudos com aplicação de reforço têxtil de fibra de juta e fibra de vidro em painéis particulados de bagaço de cana-de-açúcar nas bases de dados *Web of Science* e *Scopus*. Os principais aspectos analisados nos

compósitos reforçados são: o aumento que o reforço têxtil proporciona na resistência do material, a interferência do reforço na capacidade de absorção de água do compósito e os aspectos da interface entre o reforço têxtil e a matriz do compósito.

Jha, Samantaray e Tamrakar (2018) desenvolveram um compósito híbrido de resina epóxi com reforço têxtil de fibra de juta e fibra de vidro e obtiveram um significativo aumento de aproximadamente 150% na resistência à tração e no módulo. Eles compararam a resistência entre compósito híbrido (com reforço têxtil de fibra de juta e fibra de vidro) ao compósito reforçado com apenas cada um dos tipos de reforço têxtil (fibra de juta ou fibra de vidro). O compósito reforçado somente com reforço têxtil de fibra de juta ou fibra de vidro apresentou resistência à tração inferior à do compósito híbrido com reforço têxtil de fibra de juta e fibra de vidro aplicados juntamente. A resistência dos compósitos reforçados somente com: a) reforço têxtil de fibra de juta, b) somente reforço têxtil de fibra de vidro e c) híbrido de reforço têxtil de fibra de juta e fibra de vidro foram aproximadamente 86 MPa, 89 MPa e 95 Mpa, respectivamente. Além disso, observaram que o tratamento que apresentava maior proporção de fibra de juta em relação à fibra de vidro obtinha maior resistência à tração.

Khan et al. (2010) fizeram um estudo comparativo entre as propriedades mecânicas de um compósito de polipropileno reforçado com reforços têxteis de fibra de juta e fibra de vidro. O estudo revelou que o compósito com reforço têxtil de fibra de vidro apresentou propriedades mecânicas com valores que foram quase o dobro das propriedades do compósito com reforço têxtil de fibra de juta. A resistência à tração para os compósitos com reforço têxtil de fibra de juta foi de 48 MPa e com reforço têxtil de fibra de vidro foi de 85 MPa. Análises de microscopia eletrônica de varredura também confirmaram que a adesão entre as fibras de vidro e a matriz do compósito foi melhor do que a adesão das fibras de juta à matriz.

Tripathi et al. (2018) estudaram compósitos epóxi com reforço têxtil de fibra de juta e fibra de vidro e observaram que a absorção de água pelo compósito aumentava à medida que aumentava a porcentagem de fibras naturais. Os autores notaram também a diminuição da resistência do compósito à tração após esse compósito ser imerso em água por 24h.

3.6. Considerações finais

O bagaço de cana-de-açúcar apresenta-se como um subproduto promissor para produção de painéis de partículas, visto que as pesquisas científicas mostraram que ele

apresenta características que contribuem para as propriedades físico-mecânicas do painel particulado e atendem os requisitos normativos para este material.

Ademais, o bagaço da planta em estudo configura-se como subproduto regional produzido em abundância, de baixo custo e com potencial para tornar-se matéria-prima com maior valor agregado. Em razão da similaridade com a madeira, os painéis particulados com bagaço de cana-de-açúcar também podem ser uma boa alternativa para o desenvolvimento de embalagens de transporte de alimentos que utilizam a madeira, como por exemplo, caixas e paletes.

É importante considerar não apenas as características químicas e físico-mecânicas das matérias-primas que serão empregadas no desenvolvimento de novos materiais, mas também os aspectos econômicos e socioambientais que envolvem seu uso. A aplicação de bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis particulados pode contribuir para a disponibilidade de materiais não convencionais no mercado, que atendam à demanda por produtos inovadores e sustentáveis.

Estudos apresentados nesta revisão de literatura evidenciaram que o tecido de fibra de juta e fibra de vidro são eficientes para a elevação da resistência de materiais compósitos. A inclusão de reforço têxtil em painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar pode contribuir para abranger as possibilidades de aplicação deste material para uso estrutural que requerem maior resistência mecânica e também embalagens de transporte do tipo paletes, que estão sujeitas a cargas elevadas. Portanto a adição deste tipo de reforço pode contribuir para a inovação de produtos alternativos à madeira e outros materiais utilizados no transporte de alimentos. O grande desafio desta pesquisa está em obter painéis com reforço têxtil que atinjam o valor mínimo de resistência à flexão para aplicação como partes componentes de paletes.

4. MATERIAL E MÉTODOS

Essa etapa da pesquisa referente aos materiais e à metodologia está dividida em 4 etapas sequenciais, como mostra a Figura 13.

Figura 13 – Organização das atividades experimentais.

Fonte: Própria autoria.

O bagaço de cana-de-açúcar foi adquirido em um único lote, que foi homogeneizado e dividido em 5 partes, de acordo com o número de tratamentos, que estão apresentados na Figura 14.

Figura 14 – Tratamentos dos painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar.

Fonte: Própria autoria.

Cada tratamento foi repetido em quadruplicata, ou seja, foram produzidos quatro painéis de partículas para cada tratamento, conforme apresenta a Figura 15.

Figura 15 – Imagens das quadruplicatas dos painéis para cada tratamento.

Fonte: Própria autoria.

Todas as análises físicas e mecânicas foram realizadas com 10 repetições para cada tipo de tratamento. Portanto, o número total de amostras para cada ensaio foi de 10, para obtenção da média e da análise estatística. Em vista disso, os procedimentos de amostragem para obtenção dos corpos de prova retirados dos tecidos e dos painéis foram realizados como descrito a seguir:

- Os reforços têxteis de fibra de juta e fibra de vidro foram fornecidos em rolos e os corpos de prova foram retirados aleatoriamente de diferentes partes do rolo (centro, laterais e extremidades), para a amostragem;

- A obtenção dos corpos de prova de cada painel foi realizada de maneira planejada e cuidadosa, para que as amostras fossem retiradas aleatoriamente entre o grupo de quatro painéis de cada tratamento. Assim os 10 corpos de prova foram retirados de áreas variadas de cada painel, tanto da área central como das áreas mais próximas às extremidades. Deste modo, o planejamento desta etapa foi realizado como a montagem de um quebra-cabeça, para garantir a aleatoriedade e variabilidade dos corpos de prova.

O condicionamento de todos os corpos antes de serem analisados nos ensaios foi padronizado de acordo com a norma ABNT NBR 14810-3:2006 - Chapa de madeira aglomerada. A atmosfera padrão foi temperatura de (20 ± 3) °C e umidade relativa de (65 ± 5) % na câmara climática da marca Solab.

4.1. Matérias-primas

Foram utilizadas as seguintes matérias-primas: bagaço de cana-de-açúcar, resina poliuretana de óleo de mamona (tipo bi componente), reforço têxtil de fibra de vidro e reforço têxtil de fibra de juta. Os tópicos a seguir apresentam informações mais detalhadas sobre as matérias-primas.

4.1.1. Obtenção das partículas de bagaço de cana-de-açúcar

As partículas de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum sp*) foram doadas pela Baldin Bioenergia, Pirassununga, SP e coletadas em pátio da usina. O bagaço apresentava 50% de umidade quando foi coletado.

O bagaço de cana-de-açúcar passou por alguns processos antes da moldagem dos painéis de partículas. Primeiro foi secado em estufa a 65°C durante 48 h até atingir 3% de umidade. Em seguida, foi submetido à moagem no equipamento desintegrador e picador de forragem modelo DPC-1 com orifícios de 8 mm.

A partículas que passaram nos orifícios de 8mm do desintegrador foram transferidas para um sistema de peneiras modelo THOLZ TDH, marca Marconi, Brasil. Então o bagaço passou por uma sequência de duas peneiras. Primeiro por uma com malha composta por

orifícios de 8 mm seguida por outra peneira com malha com tamanhos de orifícios de 2 mm, para retenção de partículas menores que 8mm, maiores que 2 mm e eliminação de pó e partículas menores. Cada peneira apresenta uma identificação do fabricante que informa a dimensão da abertura da malha.

4.1.2. Características dos reforços têxteis

Dois tipos de tecidos foram utilizados como reforço têxtil: um vegetal de fibra de juta e um sintético de fibra de vidro, como apresentado na Figura 16. Com efeito, o tecido de fibra de juta (*Corchorus capsularis*) foi comprado na Companhia Têxtil Castanhal, localizada no Pará, região amazônica do Brasil. O tecido de fibra de vidro foi obtido pela empresa multinacional Saint-Gobain, localizada em São Paulo.

Figura 16 – Reforços têxteis: (a) tecido de fibra de vidro; (b) tecido de fibra de juta.

Fonte: Própria autoria.

O tecido de fibra de vidro utilizado nesta pesquisa é denominado Vertex R131 A101, segundo a classificação da Saint-Gobain e não foi desenvolvido com a finalidade de aplicação de reforço de painéis particulados de bagaço, mas foi escolhida para adaptação a esta pesquisa devido à fibra de vidro estar entre as fibras mais resistentes e apresentar baixo custo.

O tecido foi doado pela Saint-Gobain Adfors do Brasil, em 2016, ao laboratório de Construções Rurais na FZEA/USP e seu custo era de apenas R\$ 4,50/m. Embora se trate de

fibra de vidro, seu custo não diferiu muito em relação à fibra de juta que custou R\$ 4,50/m, em 2015. Esse tecido de fibra de vidro é produzido fora do Brasil, na República Checa.

Uma vez que possui alta resistência mecânica e estabilidade dimensional, é aplicada na construção civil (em construções ou reformas) no reforço de paredes internas e nas fachadas, ao ar livre. De fato, sua principal utilização é como componente de sistemas de isolamento externos. Essa tela é composta por fios de fibra de vidro recobertos por uma camada de um polímero à base de estireno-butadieno que tem por finalidade proporcionar resistência aos álcalis agressivos presentes nos rebocos e argamassas (SAINT-GOBAIN ADFORS, 2012). Assim, as características do tecido de fibra de vidro fornecidas pela Saint-Gobain Adfors estão contidas na Tabela 7 que contém dados da ficha técnica do produto que está no Anexo A.

Tabela 7 – Características do tecido de fibra de vidro contidas na ficha técnica fornecida pela Saint-Gobain Adfors.

Características	Tecido fibra de vidro
Abertura da malha na direção urdume (mm)	3,5
Abertura da malha na direção trama (mm)	3,8
Espessura da tela (mm)	0,52
Peso da tela sem revestimento(g/m²)	131
Peso da tela com revestimento(g/m²)	160
Tipo de revestimento	Álcali resistente

Fonte: Adaptado da ficha técnica fornecida pela Saint-Gobain Adfors.

Antes da escolha do tecido de fibra de juta, o responsável pelo setor de produção da Companhia Têxtil Castanhal foi contatado para prestar auxílio com informações técnicas a respeito dos tecidos produzidos pela empresa. Assim a escolha do tecido, classificado pela empresa como F9100, ocorreu após o setor produtivo informar que este era o tecido de maior resistência à tração produzido pela companhia, que informou as especificações do tecido em questão apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Especificações do tecido de fibra de juta cedidos pela Companhia Têxtil Castanhal.

Características do Tecido de classificação F9100	Valores
Número de fios por trama (unidades por amostra de 20 cm)	90
Número de fios por urdume (unidades por amostra de 20 cm)	86
Gramatura (g/m)	329
Diâmetro (mm)	1
Torção dos fios (TPM)*	150
Título (LBS)**	10
Abertura da malha (mm)	2***

* Significado de TPM (Torção Por Metro).

** O título do fio é uma relação entre massa e comprimento. Pelo Sistema Escocês de Juta, o título é o peso em libras de 14.400 jardas de fio.

*** A abertura de malha foi igual tanto para a trama como para o urdume.

Fonte: Companhia Têxtil Castanhal.

4.1.3. Resina bicomponente poliuretana de óleo de mamona

A resina bicomponente poliuretana a base de óleo de mamona foi obtida da empresa Plural Química, localizada em Cerquilha, São Paulo. Ela é composta por dois componentes:

Componente A – Poliol

Componente B – Isocianato

As principais características de cada componente encontram-se na Tabela 9 e informações mais completas da resina podem ser obtidas na ficha técnica que está disponível no Anexo B.

Tabela 9 – Informações da resina fornecidas pela Plural Química.

	Componente A	Componente B
Produto	Poliol para obtenção de poliuretanas, derivado de óleos vegetais	Isocianato di ou polifuncional
Densidade	1,0 - 1,2	1,24
Aspecto	Líquido colorido com odor característico	Líquido marrom escuro
Fogo	Não inflamável	Não inflamável
Saúde	Produto pouco irritante para pele e olhos. Pode causar irritação em contatos prolongados com a pele.	Produto irritante para pele e olhos. Pode causar irritação em contato prolongado com a pele. Contato prolongado com a pele deve ser evitado.

Meio ambiente	Não causa efeitos adversos para o meio ambiente.	Insolúvel em água com a qual reage liberando CO ₂ . Produz resíduo inerte e não biodegradável.
----------------------	--	---

Fonte: Adaptado da ficha técnica fornecida pela Plural Química.

A resina foi obtida pela mistura de duas partes de massa do polioliol com uma parte de massa do isocianato. A preparação da resina foi feita conforme a indicação do fabricante, portanto o polioliol foi bem homogeneizado antes da mistura com o isocianato. Em seguida, os dois componentes foram bem misturados, durante 3 a 5 min, até a mistura ficar com uma cor bem homogênea, como mostra a Figura 17.

Figura 17 – Processo de mistura do polioliol ao catalisador para formação da resina.

Fonte: Própria autoria.

As misturas foram feitas em pequenas quantidades, somente o suficiente para ser utilizado em até no máximo 15 min, pois após a mistura dos dois componentes, a reação de polimerização inicia-se imediatamente e não cessa. A utilização de EPIs como óculos, máscara e luvas é importante.

4.2. Caracterização dos reforços têxteis

4.2.1. Identificação dos fios de trama e urdume no tecido

Antes da obtenção dos corpos de prova, os rolos foram desenrolados para a identificação da direção da trama e do urdume. Os fios que estão no comprimento do tecido, paralelos à ourela (ourela é um termo técnico da indústria têxtil usado para o acabamento do tecido que arremata as laterais na direção do comprimento e impede que os fios desfiem) foram classificados como fios do urdume e os fios que se encontravam na largura do tecido foram classificados como fios da trama. É possível observar a ourela no rolo de tecido de fibra de juta adquirido da Companhia Têxtil Castanhal na Figura 18.

Figura 18 – Identificação da ourela e dos fios na direção de trama e urdume no tecido de fibra de juta.

Fonte: Própria autoria.

Os corpos de prova utilizados para a caracterização dos reforços têxteis puderam ser obtidos somente após essa identificação, pois os fios de trama e urdume podem apresentar características diferentes que influenciam nas propriedades dos tecidos. Assim, os fios foram separados dos tecidos e imediatamente identificados quanto à direção de trama e urdume. O mesmo foi feito com os corpos de prova para análise do tecido, que foram recortados e identificados quanto à direção da trama e do urdume.

4.2.2. Análise microscópica dos tecidos

A análise de microscopia óptica dos reforços têxteis foi feita com o objetivo de analisar a morfologia e a área da sessão transversal dos fios dos tecidos, pois é importante para o cálculo da resistência à tração do fio.

O microscópio óptico foi utilizado com uma lente objetiva de 20x, para análise da área da sessão transversal do fio e de 5x, para análise da superfície do fio. As informações do equipamento seguem na Tabela 10.

Tabela 10 – Informações dos equipamentos utilizados na análise microscópica dos tecidos.

	Marca	Modelo	Ano
Microscópio	Carl Zeiss	<i>Axio Image</i> AZM AX10	2004
Câmera de captura	Carl Zeiss	Axiocam MRC 5	2008

Fonte: Própria autoria.

Todos os fios que foram submetidos ao ensaio de tração tiveram sua área determinada por microscopia óptica. Um total de 40 fios foram analisados, como mostra a Tabela 11.

Tabela 11 – Quantidade da análise de microscopia.

Tipo de corpo de prova	Nº de fios
Fio de fibra de juta (trama + urdume)	20
Fio de fibra de vidro (trama + urdume)	20
Total	40

Fonte: Própria autoria

4.2.3. Ensaio de tração dos fios

A força de ruptura e o alongamento é uma das principais propriedades mecânicas dos fios e tecidos a ser verificada antes da aplicação do reforço têxtil. Assim, testes em que as amostras foram rompidas por tração (tanto na direção de trama como no de urdume) foram realizados nos fios para caracterizá-los quanto às suas propriedades de tensão e obter a força máxima e o alongamento na força máxima dos fios.

Esse tópico refere-se ao ensaio de resistência à tração apenas dos fios. A tração nos tecidos está descrita no próximo tópico. Os testes foram realizados no Laboratório de Construções e Ambiente, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP, Pirassununga, SP, e foram realizados com base na norma ASTM D2256 *Standard test method for Tensile Properties of Yarns by the Single-Strand Method*. Segundo a ASTM D 123-03 *Standard Terminology Relating to Textiles*, norma que define as terminologias relacionadas aos têxteis, o teste de tensão é um teste no qual o material é estendido em uma direção, do qual se obtém características como força e alongamento na ruptura. Uma força axial tende a causar o alongamento do material.

Os fios foram separados dos tecidos, identificados e classificados em 4 tipos de categorias, conforme mostra a Figura 19. O corte do fio foi cuidadoso, para minimizar alteração na área do corpo de prova antes de ser analisado. Foram ensaiados 10 corpos de prova para cada tipo de categoria, totalizando 40 ensaios de tração de fios. Os dados foram coletados para análise estatística e obtenção da média.

Figura 19 – Classificação dos tipos de fios utilizados no ensaio de tração.

Fonte: Própria autoria.

Utilizou-se o equipamento MTS *LandMark, Servohidraulic Test Sistem*, modelo nº 370.02, ano 2010. Foi utilizado um dispositivo de ensaio próprio para ensaio de fios, como mostra a Figura 20. A descrição do dispositivo dada pelo fabricante é: Assemble Number: 100-140-565. *Cord/Yarn/Wire, pneumatic 2kN*. Os registros dos dados foram obtidos no programa *Station Manager*.

A preparação das amostras foi realizada com bastante cuidado no manuseio, devido à fragilidade do fio que poderia ter sua integridade alterada por qualquer esforço de tração que estivesse eventualmente sujeito durante o manuseio. Então as extremidades do fio foram presas no suporte de tração por voltas e compressão, assim evitou-se o problema de

escorregamento do fio. A Figura 20 apresenta o equipamento utilizado no ensaio de tração do fio, assim como a posição do corpo de prova no dispositivo de fixação da amostra.

Figura 20 – Ensaio de tração do fio de fibra de juta.

Fonte: Própria autoria.

O comprimento analisado entre os pontos de apoio foi de 250 mm. A célula de carga utilizada foi de 2,5 kN e a velocidade de deslocamento do ensaio foi de 300 mm/min.

A resistência à tração foi calculada utilizando-se a Equação (1) a seguir:

$$R = \frac{F}{A} \quad (1)$$

Onde,

R= Resistência à tração

F= Força máxima atingida

A= Área média da seção transversal do fio ensaiado (obtida por microscopia óptica).

4.2.4. Ensaio de tração nos tecidos

Os testes foram realizados com base na norma *ASTM D 5035-06 Standard test method for breaking strength and elongation of textile fabrics (Strip Method)*, observados alguns ajustes que viabilizassem sua execução no Laboratório de Construções e Ambiente, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP, em Pirassununga, SP.

O equipamento utilizado foi: MTS *LandMark, Servohidraulic Test Sistem*, modelo nº 370.02, ano 2010, com célula de carga de 2,5 KN e a velocidade de deslocamento do ensaio foi de 300mm/min. O dispositivo utilizado para posicionar os corpos de prova no equipamento está representado na Figura 21. Foram utilizadas garras hidráulicas em cunha com a seguinte descrição fornecida pela fabricante MTS: *Advantage Pneumatic Wedge Set Assy, vee/serrated,.12-17 in 3.0-9.4 mm*. Os registros dos dados foram obtidos no programa *Station Manager*. A força de ruptura e o deslocamento na ruptura foram as propriedades mecânicas obtidas para a caracterização dos tecidos quanto à resistência à tração.

Figura 21 – Ensaio para análise de tração do reforço têxtil: tecido de fibra de juta.

Fonte: Própria autoria.

Os corpos de prova foram retirados dos tecidos de fibra de vidro e fibra de juta e separados nas direções de trama e urdume. Logo, foram preparados 10 corpos de prova para cada tipo de tecido, o que corresponde a 10 repetições do ensaio para cada tratamento, totalizando 40 corpos de prova.

Teve-se o cuidado de certificar-se de que todos os corpos de prova das repetições de cada tipo de tecido apresentavam o mesmo número de fios que seriam tracionados no ensaio. A largura dos corpos de prova foi de 25 mm, mas devido ao espaçamento entre os fios do tecido de fibra de vidro ser maior que o espaçamento entre os fios do tecido de fibra de juta, os corpos de prova do tecido de fibra de juta apresentaram maior número de fios tracionados

do que os corpos de prova do tecido de fibra de vidro. A Tabela 12 apresenta a classificação dos corpos de prova, sua quantidade correspondente e o número de fios por cada corpo de prova.

Tabela12 – Classificação e quantidade dos corpos de prova utilizados no ensaio de tração dos tecidos.

Tipo de corpo de prova	Quantidade (unidades)	Nº de fios por cada corpo de prova
Tecido de fibra de juta nas direções de trama /urdume	10	11
Tecido de fibra de vidro nas direções de trama /urdume	10	6

Fonte: Própria autoria.

As extremidades dos corpos de prova que estiveram em contato com as superfícies das garras pneumáticas foram previamente revestidas com lâminas de MDF (Medium Density Fiberboard), painel de fibra de média densidade de fina espessura (2mm) e área de $2,5\text{mm}^2$, coladas com cola epóxi Araudite HOBBY, que garante a fixação em até 10 min após a colagem. A finalidade deste revestimento foi evitar o escorregamento do tecido (especialmente o de fibra de vidro) entre as garras durante o ensaio de tração. Assim os corpos de prova preparados estão apresentados na Figura 22.

Figura 22 – Corpos de prova dos tecidos utilizados no ensaio de tração.

Fonte: Própria autoria.

Então o comprimento total do tecido cortado para preparação do corpo de prova foi de 120mm, do qual foram utilizados 25mm em cada extremidade para colagem das lâminas de MDF e 70 mm foi o comprimento efetivamente ensaiado entre as lâminas. Deste modo, a parte do tecido que estava colada com as lâminas ficou posicionada nas garras, assim sendo, a área de 70mm entre as lâminas de MDF foi a parte do corpo de prova que foi analisada no ensaio da tração. A Figura 23 apresenta o esquema das medidas dos corpos de prova.

Figura 23 – Representação esquemática das medidas do corpo de prova utilizado no ensaio de tração do tecido.

Fonte: Própria autoria.

4.2.5. Determinação da gramatura

A determinação da gramatura foi realizada na indústria da empresa Tapetes São Carlos. A norma utilizada foi a NBR9400 de 04/2015 - Revestimentos têxteis de piso - Determinação da massa total por unidade de área. O objetivo da determinação da gramatura foi determinar a massa por área do produto expressa em g/m^2 . Um molde quadrado com área de 100 cm^2 foi utilizado, para demarcar a área do corpo de prova que foi cortado do tecido. Após o corte, os corpos de prova foram pesados em balança analítica, para determinação da gramatura que é calculada pela divisão da massa pela área da amostra. Assim foram realizadas 10 repetições para cada tipo de tecido (fibra de juta e fibra de vidro) em ambas as direções (trama e urdume).

4.3. Produção dos painéis de partículas

A fabricação dos painéis foi feita com base nas recomendações de Dias (2004) e Paes (2011), assim as fibras foram misturadas à resina bicomponente poliuretana à base de mamona fabricada pela Plural Química. A função da resina é aglutinar as partículas das fibras. Essa resina é formada por dois componentes, A e B. O componente A é composto pelo poliol (produto sintetizado a partir de óleo vegetal de mamona) e o componente B é composto pelo isocianato. Quando estes dois componentes são misturados, ocorre uma reação de polimerização que conduz à formação do poliuretano. Portanto, essa resina não ter formol em sua composição. A proporção dos componentes utilizada para a mistura foi de 2:1 (duas partes de poliol para uma parte de isocianato). A quantidade total de resina usada para a aglutinação do bagaço corresponde a 15% da massa total do painel. A proporção de massa da composição do painel foi de 15% de resina e 85% de bagaço.

Essa resina não ter formol em sua composição. A mistura foi colocada em um molde formador do painel e inserida em uma prensa termo hidráulica (marca Hidral-Mac, modelo PHH 100T, ano 2010) a uma temperatura média de 105°C , por aproximadamente 10 min de prensagem, com pressão média de 20 MPa, para a formação da chapa. Foi considerada densidade de 800 kg/m^3 e espessura de dimensões de $(400 \times 400 \times 20) \text{ mm}^3$. As principais etapas para a preparação de painéis estão esquematizadas no fluxograma da Figura 24.

Figura 24 – Fluxograma das etapas de preparação dos painéis.

Fonte: Própria autoria.

As diferentes composições dos painéis com e sem camadas de reforço têxtil foram produzidas como descrito a seguir:

- Nenhuma camada de reforço têxtil, para ser empregada como amostra controle;
- Painéis com uma camada de reforço têxtil;
- Painéis com duas camadas de reforço têxtil.

A Figura 25 esquematiza o número de camadas de reforço têxtil que foram aplicadas neste estudo.

Figura 25 – Esquema do posicionamento de camadas de reforço têxtil no painel de partículas e as direções dos fios de trama e urdume nos tecidos.

Fonte: Própria autoria.

Foram produzidos 5 tratamentos de painéis de partículas sob as mesmas condições, diferenciando-se apenas pelas quantidades e tipos de camadas de reforço têxtil. A Figura 26 apresenta o esquema com a descrição dos 5 tratamentos.

Figura 26 – Esquema com a descrição dos 5 tratamentos dos painéis de partículas.

Fonte: Própria autoria.

Em cada painel com reforço têxtil, foram colocadas camadas de tecido em uma das faces do painel. Cada tratamento foi feito em quadruplicata. O processo de produção dos painéis está ilustrado na Figura 27.

Figura 27 – Etapas do processo de elaboração dos painéis particulados.

Fonte: Própria autoria.

O reforço têxtil foi cortado na dimensão do molde do painel (400 x 400) mm², posicionado no fundo do molde e aspergido com 40g de resina, utilizando-se uma pistola de ar comprimido, para garantir uma boa adesividade entre o reforço têxtil e as fibras do bagaço. Em seguida, o bagaço foi despejado dentro do molde sobre o tecido.

No caso dos painéis com duas camadas de tecido, colocou-se a primeira camada de tecido no fundo do molde, passou-se uma demão de 40 g de resina utilizando-se um pincel,

em seguida colocou-se a segunda camada sobreposta à primeira e então acrescentou-se o bagaço.

Como há um espaçamento maior entre os fios do tecido de fibra de vidro do que no tecido de fibra de juta, durante a produção dos painéis de duas camadas de fibra de vidro, tomou-se o cuidado de sobrepor a primeira camada de tecido na mesma direção dos fios de trama da segunda camada e tentou-se evitar o posicionamento dos fios da primeira camada exatamente sobre os fios da primeira camada, como mostra a Figura 28 que apresenta imagens da superfície dos painéis com uma e duas camadas de reforço de fibra de vidro.

Figura 28 – Comparação entre a superfície do painel com diferentes camadas de reforço têxtil de fibra de vidro: (A): 1 camada e (B) 2 camadas.

Fonte: Própria autoria.

Após a saída da prensa, os painéis ficaram acondicionados durante 72 h em temperatura ambiente, período em que ocorre a continuação do processo de cura da resina. Então os painéis foram refilados em dimensões finais (400 X 400) mm², após a cura final.

4.4. Caracterização dos painéis de partículas

Os painéis foram cortados com uma serra circular esquadrejadeira (Figura 29) com dimensões definidas (Tabela 13) e as propriedades físico-mecânicas de resistência à flexão, densidade, absorção de água, inchamento em espessura, dureza Janka e arrancamento de

parafuso foram determinadas com base na norma ABNT NBR 14810-3:2006 - Chapa de madeira aglomerada.

Tabela 13 – Dimensões e quantidade dos corpos de prova para determinação das propriedades físico-mecânicas.

Propriedades	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Quantidade
Ensaio mecânico de flexão	250	50	10
Adesão interna	50	50	10
Absorção de água e inchamento	25	25	10
Densidade aparente	50	50	10
Dureza Janka	150	75	10
Arrancamento de parafuso topo	115	65	10
Arrancamento de parafuso superfície	150	75	10

Fonte: Norma ABNT NBR 14810-3:2006.

Figura 29 – Corte dos corpos de prova (a) e serra utilizada (b).

Fonte: Própria autoria.

O teor de umidade do corpo de prova durante o teste pode ocasionar algum efeito significativo nos resultados de módulo de ruptura e módulo de elasticidade. Portanto, antes das avaliações, os corpos de prova ficaram condicionados em uma câmara climática da marca Solab com temperatura de $(20 \pm 3) ^\circ\text{C}$ e umidade relativa de $(65 \pm 5) \%$ até as amostras serem estabilizadas a peso constante. O condicionamento foi padronizado de acordo com a norma ABNT NBR 14810-3:2006 - Chapa de madeira aglomerada.

A máquina universal de ensaios, EMIC, modelo DL 30.000 foi utilizada para os seguintes testes: flexão a 3 pontos, arrancamento de parafuso e dureza Janka. Os parâmetros desses ensaios estão detalhados nos tópicos a seguir. Os testes foram realizados com uma célula de carga de 5 kN.

Os resultados obtidos dos ensaios foram comparados com os valores determinados pela norma da ABNT NBR 14810-3:2006 - Chapa de madeira aglomerada e também com os valores mínimos da Especificação para paleta padrão de distribuição nacional - PBR-I (ABRAS, 2012), para madeiras utilizadas na fabricação de paletes, com objetivo de verificar se as características dos painéis de partículas homogêneas de bagaço de cana-de-açúcar atendem as especificações para esta aplicação.

A Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS), juntamente com o Comitê Permanente de Paletização, determinou as especificações para as principais características mecânica da madeira para paleta. Diferentes resistências exigidas para as partes do paleta são mostradas na Tabela 14.

Tabela 14 – Características mecânicas mínimas da madeira para produção de paleta.

Componente	Resistência à flexão (MPa)
Tábuas intermediárias da face superior e tábuas da face inferior	34
Tábuas da extremidade da face superior, tábuas de ligação/transversais e todos os blocos.	63

Fonte: Adaptação da especificação do paleta padrão para distribuição nacional PBR – I (ABRAS, 2012).

4.4.1. Ensaio de flexão

No ensaio mecânico de flexão, o reforço têxtil foi posicionado na face tracionada do corpo de prova, em vista da sua atuação para aumento da resistência à tração na flexão, conforme explicitado na Figura 30. Os registros dos dados foram obtidos do programa TASC.

Figura 30 – Ensaio mecânico de flexão para determinação da resistência à ruptura do corpo de prova.

Fonte: Própria autoria.

O módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade a flexão (MOE) dos painéis foram determinados de acordo com a norma ABNT NBR 14810-3:2006 - Chapa de madeira aglomerada, utilizando-se uma Máquina Universal de Ensaios Mecânicos (EMIC, linha DL 30.000), como mostra as Equações 1 e 2. No teste de flexão a 3 pontos o espaçamento dos apoios inferiores era de 200 mm e a velocidade de carregamento foi de 9 mm/min. O limite de proporcionalidade (LOP) e a energia específica (EE) foram calculados através das Equações 1 e 3.

$$LOP = \frac{1,5 * P_{Lop} * L_{inf}}{b * d^2} \quad (1)$$

Em que:

LOP = Limite de proporcionalidade (MPa);

P_{Lop} = carga máxima aplicada antes da curva carga x deformação desviar-se da linearidade (N);

L_{inf} = distância entre apoios inferiores (mm);

b = largura do corpo-de-prova (mm);

d = espessura do corpo-de-prova (mm).

$$EE = \frac{\text{Energia absorvida}}{A} \quad (2)$$

Em que:

EE = Energia específica (kJ/mm²);

Energia absorvida = energia na área sob a curva do gráfico carga x deformação em (N x mm);

A = área da seção transversal do corpo-de-prova (mm²);

O MOR e o MOE foram calculados utilizando-se as Equações (3) e (4).

$$MOR = 1,5 * \frac{(P * D)}{B * (E)^2} \quad (3)$$

Onde:

MOR = módulo de ruptura (MPa);

P = carga de ruptura (N);

D = distância entre apoios do aparelho (mm);

B = largura do corpo de prova (mm);

E = espessura (mm).

$$MOE = \frac{(P_1 * D^3)}{d * 4 * B * (E)^3} \quad (4)$$

Onde:

MOE = módulo de elasticidade (MPa);

P₁ = força no limite proporcional (N);

D = distância entre apoios do aparelho (mm);

d = deflexão(expressa em mm), correspondente à força P;

B = largura do corpo de prova (mm).

4.4.2. Ensaio de absorção de água e inchamento

A absorção de água e o inchamento em espessura dos painéis foram determinados conforme norma ABNT NBR 14810-3:2006 - Chapa de madeira aglomerada. Inicialmente, as dimensões do corpo de prova (comprimento x largura x espessura) foram determinadas utilizando um paquímetro digital (Mitutoyo, modelo CD-8'' CX-B, resolução de 0,01mm).

Os corpos de prova foram inseridos em um recipiente com água destilada e durante 2 h e 24 h, em temperatura ambiente. Após o término de cada período, os corpos de prova foram secos utilizando um papel absorvente, pesados e, a espessura do corpo de prova foi determinada novamente.

O inchamento em espessura e a absorção de água foram determinados com a utilização das Equações: (5) e (6):

$$I = \frac{E_1 - E_0}{E_0} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

I = inchamento em espessura do CP (%);

E₁ = espessura do CP após o período de imersão, em mm;

E₀ = espessura do CP antes da imersão, em mm

$$A = \frac{M_1 - M_0}{M_0} \times 100 \quad (6)$$

Em que:

A = absorção de água (%);

M₁ = massa do CP após o período de imersão, em g;

M₀ = massa do CP antes da imersão, em g.

4.4.3. Ensaio de absorção de água e inchamento com selagem de bordas

A selagem das bordas foi baseada na metodologia de (GARZÓN et al., 2014) e foi realizada com o propósito de avaliar somente a absorção de água da superfície do painel, de maneira a evitar a absorção de água das bordas, visto que na aplicação do material, a superfície compõe a maior área do painel que estará exposta à absorção de água.

As bordas de corpos de prova com medida de (25 X 25) mm² foram seladas com a utilização 3 produtos encontrados no mercado, todos da marca Sulvinil, próprios para utilização em madeira: massa acrílica, selador e verniz marítimo. Cada produto compôs uma camada da selagem. Foi aplicada somente uma demão de cada produto com um intervalo de pelo menos 12h entre a aplicação de um produto e outro. Primeiramente, aplicou-se a massa acrílica, para nivelar a superfície do corpo de prova, em seguida foi aplicado o selador e por último o verniz. A Figura 31 mostra os corpos de prova com as bordas seladas. A Figura 31

(A) apresenta uma imagem ampliada de um corpo de prova de cada tratamento e a Figura 31 (B) apresenta todos os corpos de prova que foram selados, 10 corpos de prova para cada tratamento, totalizando 50 corpos de prova.

Figura 31 - Corpos de prova com as bordas seladas: (A) imagem de todos os corpos de prova analisados e (B) imagem ampliada de um corpo de prova de cada tratamento.

Figura: Própria autoria.

4.4.4. Determinação da densidade

A densidade dos painéis foi determinada conforme norma ABNT NBR 14810-3: 2006 - Chapa de madeira aglomerada. Inicialmente, as dimensões do corpo de prova (comprimento x largura x espessura) foram determinadas utilizando um paquímetro (resolução de 0,01 mm), para encontrar o volume do material. Em seguida, o corpo-de-prova foi pesado em balança analítica OHAUS, *Adventurer*TM, com resolução de 0,01 g. Com os dados do volume e da massa, a densidade aparente foi determinada.

4.4.5. Avaliação do arrancamento de parafuso

Como a junção das partes do palete de madeira geralmente são feitas com parafusos, foi realizado nos painéis um ensaio de arrancamento de parafuso de acordo com a norma da ABNT NBR 14810-3:2006 - Chapa de madeira aglomerada.

Foram realizados ensaios para determinação de arrancamento de parafuso no topo e na superfície do parafuso. Ao todo, foram preparados 100 corpos de prova, como mostra a Tabela 15. Cada tratamento foi analisado com 10 repetições, para cálculo da média.

Tabela 15 – Número de corpos da avaliação de arrancamento de parafuso.

TRATAMENTOS	corpos de prova com parafuso no topo	de corpos de prova com parafuso na superfície
Sem reforço	10	10
1 camada de fibra de juta	10	10
2 camadas de fibra de juta	10	10
1 camada de fibra de vidro	10	10
2 camadas de fibra de vidro	10	10
Total de corpos de prova analisados: 100 unidades		

Fonte: Própria autoria.

O corpo de prova foi perfurado com o auxílio de uma broca de 2,8 mm de diâmetro e o parafuso foi introduzido por uma furadeira. O corpo-de-prova com o parafuso foi fixado nos acessórios da Máquina Universal de Ensaio Mecânicos (EMIC, modelo DL 30.000). O indicador de cargas da máquina foi zerado e a velocidade do ensaio foi ajustada para 15 mm/min. A leitura obtida no indicador de cargas foi anotada e expressa em N. A Figura 32 apresenta imagem do corpo de prova com parafuso posicionado no topo.

Figura 32 - Arrancamento de parafuso no topo: (A) perfuração dos corpos de prova; (B) dispositivo para arrancamento e (C) corpos de prova com o parafuso no topo.

Figura: Própria autoria.

4.4.6. Dureza Janka

O ensaio de Dureza Janka foi baseado na norma ABNT NBR 14810-3:2006 - Chapa de madeira aglomerada, observados alguns ajustes que viabilizassem sua execução. Utilizou-se uma Máquina Universal de Ensaio Mecânicos (EMIC, linha DL 30.000). O dispositivo do ensaio foi ajustado e regulado para uma velocidade de compressão de 6 mm/min. O corpo-de-prova foi colocado no equipamento e uma meia esfera de 5,65 mm de diâmetro penetrou no corpo de prova. Duas penetrações da meia esfera foram feitas na superfície da amostra com distância de 25 mm das laterais, assim foi calculada uma média para cada corpo de prova. Este ensaio foi repetido 10 vezes para cada tratamento. Os resultados foram expressos em MPa. A Figura apresenta a imagem do dispositivo utilizado no ensaio.

Figura 33 – Dispositivo utilizado no ensaio de dureza Janka.

Fonte: Própria autoria.

4.4.7. Análise qualitativa da superfície e área interna dos painéis

Imagens de microestrutura foram obtidas por um microscópio eletrônico de varredura (MEV), conforme metodologia prescrita por Kitajima & Leite (1999). O equipamento utilizado foi um microscópio eletrônico de bancada de baixo vácuo, marca Hitachi e modelo *Analytical TableTop Microscope TM3000*. A análise ocorreu a uma tensão de 15 kV.

A amostra foi fixada no suporte do equipamento utilizando-se uma fita de dupla face de carbono. Os ensaios foram realizados a fim de analisar a morfologia e superfície das partículas de cana-de-açúcar, além de identificar aspectos de aglomeração entre partícula e tecido de reforço. Também foi observada a área de adesão do tecido à camada de bagaço de cana-de-açúcar.

4.5. Análise estatística

Os resultados foram comparados por meio de análise estatística descritiva com os dados das propriedades físico-mecânicas e demais análises obtidas durante os ensaios de caracterização dos painéis particulados. Foi realizado estudo de inferência estatística por meio da análise da variância e pelo teste de Tukey (comparação entre as médias), para se determinar a existência de diferença estatística significativa entre as propriedades estudadas. Foi utilizado o programa estatístico *Statistical Analysis System (SAS)*, versão 9.3.0

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nesta pesquisa estão relacionados à caracterização físico-mecânica dos painéis de partículas estudados e dos reforços têxteis para avaliação antes de serem incluídos na produção dos painéis. Portanto a análise destas características colabora para avaliar o comportamento mecânico dos compósitos. Então os parâmetros analisados foram importantes para definir se os reforços contribuem ou prejudicam a resistência dos painéis. Os resultados estão apresentados nos seguintes principais tópicos:

Caracterização física e mecânica dos fios;

Caracterização física e mecânica dos tecidos

Caracterização física e mecânica dos painéis

5.1. Caracterização física e mecânica dos fios

Este tópico trata da caracterização física e mecânica dos fios da qual os dados são de relevância para discutir o comportamento físico-mecânico dos painéis, após a inclusão do reforço têxtil. Logo os fios nas direções de trama e urdume foram analisados e comparados para cada tipo de reforço têxtil. E também foi avaliada a área da sessão transversal do fio, assim como sua resistência à tração.

5.1.1. Identificação dos fios nas direções de urdume e trama

No reforço têxtil de fibra de vidro, a diferenciação entre os fios de trama e urdume nos corpos de prova, após a retirada do rolo, é facilmente identificada, pois os fios de trama são largos e os fios de urdume são finos. Além disso, os fios de trama são compostos por um feixe contínuo sem torção, enquanto os fios de urdume são torcidos logo após serem transpassados pelo fio de trama, como mostra a Figura 34 (A). Outra característica importante no tecido de fibra de vidro é que os fios de trama apresentam o mesmo padrão em todo o

tecido, ou seja, todos os fios de trama aparentam ter o mesmo formato, largura e espessura, bem como os fios de urdume.

Figura 34 – Foto da identificação dos fios de trama e urdume nas direções vertical e horizontal dos corpos de prova: (A) reforço têxtil de fibra de juta e (B) reforço têxtil de fibra de vidro.

Fonte: Própria autoria.

Já no tecido de fibra de juta (Figura 34 B), a diferença entre os fios de trama e urdume é menos nítida nos corpos de prova, já que os fios nas duas direções (trama e urdume) são muito semelhantes no formato. Além disso, todos os fios são torcidos ao longo do seu comprimento e há fios de diferentes espessuras tanto na direção de trama como na de urdume. Isto é, não há uma padronização como ocorre no tecido de fibra de vidro, em que todos os fios de urdume são finos e todos os fios de trama são largos.

Por isso, a identificação dos fios na direção trama e urdume dos corpos de prova foi determinada a partir da posição em que foram retirados do rolo. Os fios de urdume foram identificados de acordo com sua posição paralela à orela do tecido, que é o acabamento na

borda do tecido que arremata as laterais na direção do comprimento e impede que os fios desfiem. Sendo assim, a identificação do fio de trama enquanto ainda está no rolo é simples, mas após a retirada do rolo e remoção da ourela, foi necessário identificar imediatamente a direção dos fios de trama e urdume que seriam utilizados como corpos de prova.

É importante ressaltar que a área da sessão transversal do fio pode variar ao longo do comprimento, especialmente no caso do fio de fibra de juta, para ambas as direções (trama e urdume). Já que é uma fibra natural, é mais difícil manter o padrão da medida da área ao longo do seu curso, pois neste caso é dificultoso fazer um controle rigoroso do padrão de produção. O que é diferente na fibra de vidro que, por ser artificial, é possível fazer um controle rigoroso nos parâmetros de qualidade do processo de produção que possibilita manter um padrão de área ao longo do fio. Essa variabilidade ao longo do fio depende também da aplicação do tecido que o fio irá compor. O tecido de fibra de juta, que é projetado para sacaria, comumente apresenta um menor rigor dimensional dos fios, já que a padronização da espessura dos fios não fará muita diferença no desempenho para este tipo de aplicação. Já o tecido de fibra de vidro, apresenta menos variabilidade nos fios, visto que tem uma finalidade distinta do tecido de fibra de juta, pois foi projetado para reforço de paredes, para aplicação na construção civil.

5.1.2. Determinação da área da sessão transversal dos fios por microscopia óptica

A Tabela 16 lista os valores médios da área transversal dos fios de fibra de vidro e juta.

Tabela 16 – Área da sessão transversal dos fios de fibra de vidro e juta.			
	Área (mm ²)	Desvio padrão	CV (%)
Fio de fibra de vidro (trama)	0,4 ^b	0,4	11,1
Fio de fibra de vidro (urdume)	0,2 ^c	0,2	8,2
Fio de fibra de juta (trama)	1,0 ^a	3,3	32,8
Fio de fibra de juta (urdume)	1,1 ^a	9,8	86,9

Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey (P<0,005). Letras iguais não diferem entre si significativamente.

Não houve diferença ao nível de 5% de significância entre os valores médios das áreas dos fios de fibra de juta nas direções de urdume e de trama. Assim também essa similaridade pode ser observada visualmente com facilidade, já que os fios de fibra de juta nas direções trama e urdume não apresentam um padrão que os diferencie. Portanto, nos

corpos de prova preparados, que não contêm a orela (marcação da lateral do tecido paralela ao fio de urdume) é difícil distinguir entre os fios de trama e urdume, como mostra as Figuras 35 c e 35 d, que apresentam estes aspectos pelas imagens representativas das áreas médias das seções transversais dos fios obtidas pela análise de microscopia óptica.

Figura 35 – Análise por microscopia óptica da seção transversal dos fios de fibra de vidro e fibra de juta: (a) seção do fio de fibra de vidro na direção urdume, com área de $0,2 \text{ mm}^2$, (b) seção do fio de fibra de vidro na direção trama, com área de $0,4 \text{ mm}^2$ (c) seção do fio de fibra de juta na direção trama com área de $0,9 \text{ mm}^2$ (d) seção do fio de fibra de juta na direção urdume, com área de $0,6 \text{ mm}^2$.

Fonte: Própria autoria.

Nota-se que há diferença entre os formatos das seções transversais dos fios. A seção do fio de fibra de juta apresenta morfologia mais próxima da seção de um cilindro reto.

Além disso, a área da seção transversal dos fios de fibra de juta apresenta alto coeficiente de variação (Tabela 16), pois a fibra de juta é muito heterogênea. Assim essa heterogeneidade também se reflete nos fios e nos tecidos ao longo do seu comprimento. As características das fibras vegetais são determinadas pela própria natureza que é responsável pela sua produção. Assim é difícil haver um controle de qualidade para manter um padrão na área da seção transversal do fio.

Ao contrário, o fio da fibra de vidro é bem mais homogêneo, visto que se trata de um fio composto por fibras sintéticas produzidos artificialmente, cujo processo possibilita

controle na padronização dimensional. Entretanto no fio de fibra de vidro houve diferença significativa ao nível de 5% de significância entre as áreas da seção transversal dos fios na direção trama e urdume. Assim como também é perceptível visualmente a diferença entre os fios de trama e urdume, já que os fios de fibra de vidro na direção de trama são mais largos (Figura 35 b) do que os fios na direção de urdume (Figura 35 a). No entanto, o fio de fibra de vidro apresenta um formato parecido com o de uma elipse na direção da trama e cilíndrico na direção do urdume.

5.1.3. Ensaio de tração dos fios

Segundo a norma espanhola ISO 13934-1:2013 *Textiles. Propriedades de los tejidos frente a la tracción*, a força máxima é registrada no momento em que o corpo de prova se rompe no ensaio. Assim os resultados dos testes foram processados através da Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey para comparação de médias entre as amostras, na qual a força máxima na ruptura foi a variável dependente, para avaliar as propriedades de tração dos fios. Os valores médios de força máxima de ruptura e alongamento dos fios foram comparados para observação se houve diferença significativa entre as amostras.

Deste modo os resultados das forças de ruptura de cada tipo de fio encontram-se na Tabela 17. A análise dos dados mostrou que não houve diferença significativa, ao nível de 5%, de significância na medida de força de ruptura entre os fios de fibra de juta nas direções de trama, (36,3 N) e urdume (31,3 N) e os valores obtidos foram próximos ao valor obtido por Fidelis (2014), que foi de 50 N.

Tabela 17 – Medida da força de ruptura dos fios que formam os tecidos.

	Força de ruptura (N)	Desvio padrão	CV (%)
Fio de fibra de vidro (trama)	159,4 ^a	16,3	10,2
Fio de fibra de vidro (urdume)	172,1 ^a	22	12,7
Fio de fibra de juta (trama)	36,3 ^b	6,3	17,5
Fio de fibra de juta (urdume)	31,3 ^b	6,8	21,7

Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($P < 0,005$). Letras iguais não diferem entre si significativamente.

Fonte: Própria autoria.

A força de ruptura do fio de fibra de vidro foi 38% maior que do fio de fibra de juta. e não houve diferença significativa ao nível de 5% de significância entre a força de ruptura dos fios de trama e urdume, tanto para o tecido de fibra de juta como para o tecido de fibra de vidro.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 18, pode-se constatar que embora a fibra de vidro seja de natureza frágil o fio de fibra de vidro deformou mais do que o fio de fibra de juta.

Tabela 18 – Alongamento na ruptura à tração dos fios que formam os tecidos.

	Alongamento na ruptura (%)	Desvio padrão	CV (%)
Fio de fibra de vidro (trama)	78,1 ^a	10	12,8
Fio de fibra de vidro (urdume)	64,8 ^a	8,3	11,7
Fio de fibra de juta (trama)	52,2 ^b	6,8	13
Fio de fibra de juta (urdume)	56,8 ^b	7,3	11

Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($P < 0,005$). Letras iguais não diferem entre si significativamente.

Fonte: Própria autoria.

Esperava-se que o fio de fibra de juta alongasse mais que o fio de fibra de vidro, já que a fibra de vidro é mais quebradiça devido ao seu caráter mais rígido que a fibra de juta. Contudo o resultado foi diferente do esperado, pois o fio de fibra de vidro apresentou um alongamento significativamente maior que o fio de fibra de juta ao nível de 5% de significância. Assim o alongamento do fio de fibra de vidro na direção de trama, por exemplo, foi 33% superior que o alongamento do fio de fibra de juta na direção de trama.

De acordo com os dados apresentados na Tabela 16, pode-se constatar que embora a fibra de vidro seja de natureza frágil o fio de fibra de vidro deformou mais do que o fio de juta. Isto deve-se ao deslizamento das fibras que formam os fios. O fio de fibra de vidro é formado por fibras de superfícies lisas e bem alinhadas o que favorece o deslizamento. Já as fibras de juta são menos lisas e desalinhadas, o que proporciona um maior atrito e dificulta o deslizamento entre as fibras no momento em que o fio é tracionado.

Além da força e alongamento na ruptura do fio, determinou-se a tensão na ruptura do fio, que foi calculada pela relação da força na ruptura do fio pela área da sessão transversal do fio. Foi realizada Análise de Variância (ANOVA) na qual a tensão na ruptura foi a variável dependente, para avaliar as propriedades de tração dos fios. Os valores médios da tensão na ruptura foram comparados para observação se houve diferença significativa entre as médias, ao nível de 5% de significância. Os resultados encontram-se na Tabela 19.

Tabela 19 – Tensão na ruptura dos fios no ensaio de tração.

	TENSÃO	DESV P	CV (%)
	(MPa)		
Fio de fibra de vidro (trama)	533,8 b	81,8	15,3
Fio de fibra de vidro (urdume)	604,5 a	53,7	8,8
Fio de fibra de juta (trama)	128,3 c	15,2	11,8
Fio de fibra de juta (urdume)	134,4 c	15,2	11,8

Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($P < 0,005$). Letras iguais não diferem entre si significativamente.

Fonte: Própria autora.

Não houve diferença significativa ao nível de 5% de significância entre a tensão do fio de fibra de juta tanto no sentido de trama como no de urdume. A tensão no fio de juta no sentido de trama foi de 128,3 MPa, no de urdume foi de 134,4 MPa e Fidelis (2014) obteve uma tensão 104,3 MPa na ruptura do fio de fibra de juta tracionado.

Já era esperado que a tensão na ruptura do fio de fibra de vidro fosse maior que no fio de fibra de juta. Porém a resistência à tensão do fio de fibra de vidro foi significativamente maior ao nível de 5% de significância na direção de urdume, 604,5 MPa, do que na direção de trama, 533,8 MPa. A tensão do fio de urdume foi 12% maior que a tensão no fio de trama. Isto deve-se à menor área da seção transversal do fio de fibra de vidro do urdume e também à maior interação entre as fibras individuais que formam o fio, já que há torção no fio de urdume, o que deixa as fibras mais unidas, elevando a resistência do fio. O fio de fibra de vidro no sentido trama não apresenta torção. A Figura 36 apresenta uma micrografia da torção do fio de fibra de vidro na direção urdume.

Figura 36 – Micrografia obtida no microscópio de eletrônico de varredura que ilustra uma torção no feixe de fibras de vidro na direção urdume.

Fonte: Própria autora.

A determinação das propriedades mecânicas do tecido obtidas no ensaio de tração são informações importantes na escolha do posicionamento dos fios no painel, pois os fios mais resistentes à tração irão contribuir para o melhor desempenho do material se forem posicionados na direção em que o material sofrerá o esforço de tração.

A resistência dos fios não depende somente da resistência da fibra à tração, mas também da forma como os feixes de fibras são arranjados para compor o fio. A torção que é dada às fibras para a composição dos fios favorece a resistência por manter as fibras mais unidas umas às outras (BARUQUE, 2006). Todavia, a resistência do fio vegetal pode apresentar uma maior variação que no fio sintético devido à influência das condições de cultivo, tipo de solo, processo de fiação, maceração etc. Fibras mais longas, normalmente são mais resistentes que fibras curtas. No processo de produção de tecidos de fibra de vidro, é mais fácil ter um controle do tamanho das fibras em cada feixe de fio.

5.2. Caracterização física e mecânica dos tecidos

5.2.1. Gramatura do tecido

A gramatura mede a massa por área do produto. A Tabela 20 apresenta os resultados referentes à gramatura:

Tabela 20 – Gramatura dos tecidos de fibra de juta e fibra de vidro.

	Gramatura (g/m²)	Desvio padrão	CV (%)
Tecido de fibra de juta	321,6 ^a	10,7	3,3
Tecido de fibra de vidro	170,4 ^b	1,7	1,0

Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($P < 0,005$). Letras iguais não diferem entre si significativamente.

Fonte: Própria autoria.

O tecido de fibra de vidro apresentou gramatura 53% menor que o tecido de fibra de juta. A gramatura é um parâmetro que pode influenciar na qualidade final dos compósitos que requerem maior leveza para o seu transporte. Segundo a especificação da ABRAS (1993), o palete deve pesar no máximo 42 kg enquanto a madeira que o compõe deve conter no máximo 15% de umidade relativa. Neste caso, o tecido de fibra de vidro apresenta vantagem em relação ao de fibra de juta, pois é bem mais leve. Além disso, a fibra de juta tende a absorver mais umidade do ar do que a fibra de vidro.

Os tecidos testados nesta pesquisa não foram desenvolvidos para aplicação como reforço de compósitos, portanto é necessário realizar estudos futuros com o objetivo de se determinar a quantidade e a disposição ótima de fibras, fios destes tecidos, para aplicação como reforço localizado de painéis particulados. Ter mais fibras que o necessário poderá conduzir ao desperdício de material, aumento do peso e maior custo de produção.

5.2.2. Ensaio de tração do tecido

A caracterização dos tecidos quanto à resistência à tração pode contribuir para prever o desempenho de cada tipo de tecido no painel. Embora haja uma tendência para esperar que o tecido de maior resistência à tração proporcione maior resistência ao compósito, necessita-se considerar que o ganho de resistência para o painel não depende somente da resistência do

tecido, mas também de outras características como interação e adesão do tecido à superfície do compósito.

A Tabela 21 apresenta os resultados do ensaio de tração do tecido. A unidade considerada para analisar a resistência do tecido foi a força de ruptura representada em Newton. A direção de trama e urdume influencia significativamente ao nível de 5% de significância na resistência do tecido à tração. O tecido que apresentou maior resistência foi o de fibra de vidro na direção trama. Dentre as direções de trama e urdume do tecido de fibra de juta, a direção de urdume apresentou maior resistência.

Tabela 21 – Força máxima de ruptura na tração dos tecidos.

	Força de ruptura (N)	DESVIO PADRÃO	CV (%)
Tecido de fibra de vidro (trama)	1055,7 ^a	22,21	2,4
Tecido de fibra de vidro (urdume)	928,3 ^b	41,3	3,9
Tecido de fibra de juta (trama)	386,3 ^d	16,3	4,2
Tecido de fibra de juta (urdume)	425,6 ^c	33,8	7,9

Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($P < 0,005$).

Fonte: Própria autoria.

Na análise dos fios de juta, não houve diferença significativa ao nível de 5% de significância entre a força de ruptura no fio de trama e de urdume, como foi mostrado na Tabela 15. Portanto, era esperado que também não houvesse diferença significativa entre as forças de ruptura do tecido nas direções de trama e urdume no tecido de fibra de juta. Porém os resultados mostraram que houve diferença significativa ao nível de 5% de significância entre os tecidos de trama e urdume. Isto se deve à influência dos demais fios não tracionados que estão interligados aos fios tracionados, pois existe um efeito do fio de trama sobre o fio de urdume e vice-versa. Essa interação é ainda maior no tecido de fibra de vidro, já que os fios perpassam uns aos outros e seu efeito não se manifesta apenas na força de ruptura do tecido, mas também na deformação. A Tabela 22 apresenta os resultados da deformação do tecido após o ensaio de tração. O tecido de fibra de juta, quando sujeito à força de tração de forma mais que o tecido de fibra de vidro. O tecido de fibra de juta na direção do urdume foi o que apresentou maior deformação, 49,8%.

Tabela 22 – Deformação dos tecidos no ensaio de tração.

	Deformação (%)	DESVIO PADRÃO	CV (%)
Tecido de fibra de vidro (trama)	30,6 ^c	1,8	5,8
Tecido de fibra de vidro (urdume)	34,6 ^c	1,0	2,9
Tecido de fibra de juta (trama)	40,7 ^b	4,4	11
Tecido de fibra de juta (urdume)	49,8 ^a	6,2	12,5

Letras minúsculas diferentes na coluna indicam diferença estatística pelo teste de Tukey ($P < 0,005$). Letras iguais não diferem entre si significativamente.

Fonte: Própria autoria.

5.3. Caracterização física, mecânica e microscópica dos painéis

Análise da densidade e absorção de água e inchamento do material compósito com reforço têxtil foram realizadas para avaliar propriedades físicas. Também foram feitos ensaios mecânicos de flexão, arrancamento de parafuso e dureza Janka. A análise microscópica foi realizada para analisar aspectos da estrutura do material que possam contribuir para compreensão dos resultados físicos e mecânicos.

5.3.1. Ensaio de flexão

Neste tópico, são apresentadas as características físico-mecânicas e microscópicas dos 5 tratamentos dos painéis de partículas. Os resultados foram comparados com as normas de painéis de partículas de madeira comerciais (*Medium Density Particleboard* – MDP). Avaliou-se o desempenho dos painéis com a inclusão de camadas de reforço têxtil.

Esse desempenho mecânico foi medido por intermédio das medidas do módulo de ruptura (MOR), módulo de elasticidade (MOE) e energia específica (EE).

5.3.2. Módulo de ruptura (MOR)

O módulo de ruptura é uma propriedade importante, pois com esse valor é possível determinar se o material pode ter aplicação para componentes estruturais que exigem elevada

resistência, como, por exemplo, o palete padrão para distribuição nacional especificado pela Associação Brasileira de Supermercados (ABRAS).

Durante o uso desse tipo de palete, as tábuas que o compõem sofrem esforços mecânicos em diferentes intensidades, dependendo sua localização. Assim as tábuas da face inferior do palete e as tábuas intermediárias da face superior estão sujeitas a menores tensões durante o transporte de cargas. Dessa forma, a especificação para palete PRB I determina uma resistência mínima de 34 MPa. Portanto esses dois tipos de tábuas foram agrupados no Grupo I, conforme já foi apresentado na Figura 3. Já as tábuas que estão sujeitas a maiores tensões durante o transporte de cargas foram agrupadas no Grupo II que é composto pelas tábuas da extremidade da face superior e as tábuas de ligação. Nesse grupo, a resistência mínima à flexão exigida é de 63 MPa, muito superior ao Grupo I, ou seja, quase o dobro da resistência.

A Tabela 23 apresenta os resultados obtidos no ensaio de flexão. Assim o painel de partículas de bagaço de cana-de-açúcar Controle (sem reforço têxtil) obteve módulo de ruptura de 44,6 MPa, valor 30% superior ao mínimo necessário para as tábuas que compõem partes do palete que exigem módulo de ruptura de 34 MPa.

Segundo a *American National Standard*, os painéis particulados de alta densidade geralmente destinam-se ao uso industrial e têm como característica apresentar densidade acima de 800 kg/m³. Ademais, esses painéis são designados pela letra H (inicial da palavra “*Hight*”) e são classificados em três graus: H-1, H-2 e H-3, (ANSI, 1999). Os principais requerimentos das propriedades mecânicas para cada grau estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 23 – Valores médios do ensaio de flexão dos compósitos.

Tratamentos	MOR (MPa)	MOE (MPa)	EE (kJ/m ²)	LOP (MPa)
Controle	44,6(3,3) ^d	3115(220) ^{bc}	17,1(2,5) ^c	22,1(9,1) ^b
1 camada de tecido de fibra de vidro	51,8(2,2) ^{cb}	2985(97) ^c	27,3(2,1) ^b	21,8(4,4) ^b
2 camadas de tecido de fibra de vidro	61,8(2,6) ^a	3287(136) ^b	46,8(7,2) ^a	25,4(9,8) ^a
1 camada de tecido de fibra de juta	48,8(2,1) ^c	3199(732) ^{bc}	25,4(4,0) ^b	23(11,4) ^{ab}
2 camadas de tecido de fibra de juta	54,8(3,3) ^b	3638(286) ^a	28,2(3,9) ^b	23,3(7,9) ^{ab}

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de significância; coeficiente de variação entre parênteses.

Na Figura 37, observam-se as curvas de tensão e deformação de cada tipo de reforço no ensaio de flexão do compósito. É possível verificar o comportamento dos reforços no painel.

Figura 37 – Curvas típicas de tensão e deformação específica dos compósitos.

Fonte: Própria autoria.

O comportamento mecânico dos compósitos foi semelhante. Entretanto, o gráfico indica maior deformação referente ao teste do painel com reforço de duas camadas de tecido de fibra de vidro.

A resistência dos painéis sem reforço têxtil (controle) no ensaio de flexão atendeu mínimo requerido para alguns tipos de tábuas do palete, como tábuas intermediárias da face superior e inferior, que requerem resistência à flexão de pelo menos 34 MPa, como determina a especificação para paletes padrão de distribuição nacional da ABRAS (1993). Porém não alcançou a resistência mínima requerida para tábuas da extremidade e tábuas de ligação usadas como componentes do palete, que exigem uma resistência à flexão de pelo menos 63 MPa. Portanto, para que o painel possa ter aplicação nestes tipos de tábuas, necessita-se que haja um reforço no painel, para elevar sua resistência.

Analisando-se a inclusão de uma camada de tecido no compósito pode-se constatar que a inclusão de uma camada de reforço têxtil (para ambos os tipos de reforços) trouxe melhorias significativas quando comparadas ao painel controle (sem reforço). Não houve diferença significativa ao nível de 5% de significância entre os painéis com apenas uma camada de tecido de fibra de juta e uma camada de tecido de fibra de vidro.

Já com relação à inclusão de duas camadas de reforço têxtil no compósito, observou-se inclusão de uma segunda camada de tecido de fibra de juta aumentou consideravelmente a resistência à flexão, em relação ao painel controle e ao painel com uma camada de tecido de fibra de juta. Entre todos os reforços, o do tipo de duas camadas de tela de fibra de vidro

apresentou o melhor desempenho. Observou-se um valor médio de MOR de 60,73 MPa. Esse valor foi muito superior ao valor mínimo especificado para chapas de madeira aglomerada com espessura de 20 mm na norma ABNT NBR 14810-3:2006 - Chapa de madeira aglomerada, que é de 16 MPa. O reforço têxtil de duas camadas de fibra de vidro promoveu um aumento de 36% na resistência do material em relação ao painel sem qualquer reforço.

Todos os tipos de reforço têxtil promoveram uma elevação no módulo de ruptura (MOR) do material em comparação com o painel sem reforço, o que indica que o reforço têxtil é uma boa alternativa para o aumento da resistência do painel de bagaço-de-cana.

Pesquisas já realizadas com painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar sem reforço têxtil mostraram que mesmo produzindo-se painéis de alta densidade, não foi possível obter painéis com resistência tão elevada, como com painéis com reforço têxtil. Fiorelli et al. (2011) obtiveram painéis com valor de MOR de 24 MPa utilizando-se densidade de 0,89 g/cm³. Nonaka, Umemura e Kawai (2013) obtiveram com valor de MOR de 39 MPa em painéis de 0,8 g/cm³ de densidade.

O painel sem reforço têxtil apresentou resistência superior ao mínimo requerido especificação para paletes padrão de distribuição nacional da ABRAS (1993), observa-se que esse valor médio de 60,73 MPa, do painel com duas camadas de reforço têxtil de fibra de vidro, é muito próximo do valor mínimo requerido para tábuas da extremidade e tábuas de ligação usadas como componentes do palete, que exigem uma resistência à flexão de pelo menos 63 MPa. E foi muito superior ao valor preconizado para componentes do palete para tábuas intermediárias da face superior e inferior, que requerem resistência à flexão de pelo menos 34 MPa. Portanto este compósito com reforço têxtil apresenta-se com grande potencial para aplicação em partes componentes dos paletes como as tábuas da extremidade e tábuas de ligação, que exigem maior resistência.

5.3.3. Módulo de Elasticidade

Todos os tratamentos apresentaram painel com módulo de elasticidade (MOE) superior ao mínimo recomendado para painéis de alta densidade pela norma A208.1 (ANSI, 1993), que é de 2750 MPa. A inclusão de duas camadas de reforço têxteis de fibra de juta no compósito aumentou a rigidez do material que mostrou o maior módulo de elasticidade (MOE), 3638 MPa em relação ao painel controle em 16,79%. Em pesquisas anteriores com painéis de bagaço de cana-de-açúcar e resina poliuretana de óleo de mamona, Fiorelli et al.

(2011) obtiveram MOE de 2432 MPa em painéis com densidade 0,93 g/cm³ e Sartori et. al (2015) obtiveram MOE de 2848 MPa em painéis com densidade de 0,95 g/cm³.

Estatisticamente ao nível de significância de 5%, nenhum dos outros reforços diferiu do padrão, com relação ao MOE. O painel controle apresentou um valor médio de MOE de 3115 MPa. A partir destes resultados, observou-se que o reforço têxtil influencia as propriedades de flexão e que o aumento do número de camadas melhora o seu desempenho mecânico. O painel com 2 camadas de fibra de juta destacou-se por apresentar maior módulo de elasticidade, sendo, portanto, um material mais rígido que os demais.

Embora o painel com reforço de 2 camadas de tecido fibra de vidro tenha obtido maior módulo de ruptura, o painel com 2 camadas de tecido fibra de juta foi o que apresentou maior rigidez antes de sofrer deformações permanentes.

Tanto a fibra de juta quanto a fibra de vidro apresentaram boa aderência com a mistura de resina poliuretana de óleo de mamona com o bagaço de cana-de-açúcar, como mostram as micrografias na Figura 38 da seção transversal dos painéis com duas camadas de reforço têxtil, onde fica a interface entre os fios das duas camadas de reforço têxtil de fibra de juta (a) e fios das duas camadas do reforço têxtil de fibra de vidro (b).

Figura 38 – Interface entre os fios e a matriz do painel.

Fonte: Própria autoria.

Durante o corte dos corpos de prova, ambos os tipos de tecidos se mantiveram firmemente aderidos ao painel, mesmo após o atrito da serra. A Figura 39 apresenta imagens da sessão transversal do painel para mostrar tecido bem aderido ao compósito.

Figura 39 – Bordas dos painéis de partículas após o corte na serra: (a) com duas camadas de reforço têxtil de fibra de vidro e (b) com duas camadas de reforço têxtil de fibra de juta.

Fonte: Própria autoria.

O fio de fibra de juta apresenta uma maior ancoragem à matriz do painel do que o fio de fibra de vidro. A morfologia do fio de fibra de juta favorece essa ancoragem já que o fio tem superfície mais áspera e apresenta algumas fibras soltas promovendo ondulações na superfície ao longo do fio que são responsáveis por reentrâncias durante a prensagem do material na formação do painel. Já a morfologia da fibra de vidro favorece menos a ancoragem da fibra à matriz já que o fio de fibra de vidro tem as fibras coesas na superfície que é lisa. Na Figura 40 é possível observar essas diferenças morfológicas entre os fios de juta e fibra de vidro. Há mais fios por área no compósito reforçado por tecido de juta do que no compósito reforçado por tecido de fibra de vidro. O tecido de juta tem uma estrutura bem mais fechada. Embora o fio de fibra de vidro seja mais resistente que o de juta, ele está presente em menor quantidade por área do painel.

Figura 40 – Imagens dos fios na malha dos tecidos de juta e fibra de vidro antes de serem incluídos como reforço têxtil.

Fonte: Própria autoria.

5.3.4. Energia Específica

O compósito com duas camadas de tecido de fibra de vidro implica maior energia específica no ensaio de flexão, como já foi apresentado na Tabela 20. A inclusão de camadas de reforço proporcionou o aumento da energia específica de maneira que a diferença com relação ao tratamento sem reforço fosse significativa ao nível de 5% de significância. Observou-se que a elevação da energia ocorreu de maneira igual entre os tratamentos com reforço têxtil de fibra de juta (1 e 2 camadas) e com 1 camada de reforço de fibra de vidro. A inclusão de uma camada a mais de tecido de fibra de vidro gerou uma absorção maior de energia de maneira que a diferença fosse significativa ao nível de 5% de significância.

5.3.5. Densidade aparente

A inclusão das camadas de reforço têxtil não alterou significativamente a densidade dos painéis (Tabela 24). A densidade aparente é muito influenciada pelo processo de prensagem e seus parâmetros de controle como temperatura e pressão. Vale ressaltar que cada tipo de painel foi submetido ao mesmo valor de temperatura e pressão em sua produção.

Tabela 24 – Valores médios de densidade aparente para cada tratamento dos painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar.

Tratamentos	Controle	1 camada de tecido de fibra de juta	2 camadas de tecido de fibra de juta	1 camada de tecido de fibra de vidro	2 camadas de tecido de fibra de viro
Densidade aparente (g/cm³)	0,83 ^a (10,10)	0,85 ^a (8,73)	0,82 ^a (13,84)	0,81 ^a (12,86)	0,85 ^a (6,21)

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha, não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de significância; coeficiente de variação entre parênteses.

5.3.4. Absorção de água e inchamento do painel com a borda não selada

Em relação à absorção de água e inchamento correspondente pelo período de 2 h, não houve diferença significativa ao nível de 5% entre os 5 tratamentos, como mostra a Tabela 25.

Tabela 25 – Valores médios do ensaio padrão de absorção de água e inchamento dos compósitos com a borda não selada.

Tratamento	Absorção de água (%)		Inchamento (%)	
	2 h	24 h	2 h	24 h
Controle	12,2(7,1) ^a	26,5(4,6) ^{ab}	2,7(0,4) ^a	9,78(1,3) ^{bc}
1 camada de tecido de fibra de juta	10,1(3,5) ^a	36,7(12,7) ^a	3,3(0,6) ^a	12,62(1,8) ^a
2 camadas de tecido de fibra de juta	9,5(4,2) ^a	39,0(14,7) ^a	2,7(1,8) ^a	11,89(0,9) ^{ab}
1 camada de tecido de fibra de vidro	10,5(3,0) ^a	34,5(9,5) ^{ab}	3,4(1,2) ^a	10,22(1,7) ^{abc}
2 camadas de tecido de fibra de vidro	8,0(2,4) ^a	21,9(4,1) ^b	2,3(0,3) ^a	8,34(2,8) ^c

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de significância; coeficiente de variação entre parênteses.

No período de 24 h de absorção de água, o painel com duas camadas de tecido de fibra de vidro apresentou diferença significativa ao nível de 5% de significância, com menor absorção de água em relação aos painéis com uma e duas camadas de tecido de fibra de juta, o que já era esperado, já que a fibra de juta absorve mais umidade que a fibra de vidro.

Não houve diferença significativa na absorção de água entre os tratamentos e o painel controle. Isto se deve à quantidade de bagaço de cana-de-açúcar estar em proporção muito superior em relação à quantidade em peso dos tecidos inseridos nos painéis, portanto nesta análise, o bagaço de cana-de-açúcar prevaleceu como determinante na capacidade de absorção de água e não os reforços têxteis. Por isto, também foi realizada uma análise de absorção de água em que as bordas dos corpos de prova foram seladas, na absorção de água e poder dar ênfase na análise da absorção de água nas superfícies dos painéis, com menor interferência na absorção de água pelas bordas, de maneira enfatizar a absorção de água nas superfícies do painel e verificar se há influência dos reforços capacidade de absorção de água.

Embora a camada de tecido de fibra de vidro tenha proporcionado uma menor absorção de água do painel do que a camada de tecido de fibra de juta, esta diferença não se apresentou significativa de forma a desfavorecer o painel com camada tecido de fibra de juta em relação à de vidro. É provável que a camada de resina aspergida e inserida (impregnada) no tecido de fibra de juta tenha contribuído para tornar sua superfície menos absorvente.

O inchamento é o parâmetro utilizado para medir a estabilidade dimensional do painel particulado. O inchamento das fibras está diretamente relacionado com a absorção de água. As fibras vegetais têm uma alta absorção de água. No entanto, o recobrimento da superfície do painel com tecido de fibra de vidro contribui para deixar menos susceptível ao inchamento.

Em relação ao inchamento, não houve diferença significativa ao nível de 5% de significância entre os tratamentos, após o período de 2h. Ou seja, não foi um período

suficiente para ressaltar as diferenças de características físicas quando o compósito é exposto a um ambiente com alta umidade relativa e/ou imersa em água.

O reforço com uma camada de tecido de fibra de juta, embora tenha elevado a resistência do compósito em relação ao painel sem reforço, não minimizou o problema com inchamento, mesmo com as bordas seladas. Melhorias no processo, com um tratamento impermeabilizante na superfície do painel pode contribuir para minimizar estes efeitos negativos da absorção de água das fibras naturais.

5.3.5. Absorção de água com selagem na borda

Além do ensaio padrão de absorção de água e inchamento, foi feito um outro ensaio de absorção de água e inchamento no qual as bordas dos corpos de prova foram seladas para evitar a absorção de água nestas áreas e direcionar a absorção de água somente nas superfícies das duas faces do painel, superior e inferior. No ensaio de absorção de água e inchamento de água padrão, a absorção dá-se majoritariamente pelas faces laterais dos corpos de prova, mas na aplicação do material a área do painel que estará mais sujeita ao contato com água e umidade será das faces superior e inferior, portanto há necessidade de avaliar a absorção dessas faces, com a menor interferência possível das demais. Neste tipo de ensaio foi possível observar de maneira mais isolada a interferência que a inclusão dos tecidos na superfície exerce na absorção de água e inchamento do painel. A Tabela 26 mostra que houve diferença significativa do tratamento de 1 camada de tecido de fibra de juta em relação aos demais outros tratamentos. A inclusão de uma camada somente de tecido de fibra de juta aumenta a absorção de água. Porém a inclusão de duas camadas não. O aumento da camada de reforço tecido de fibra de juta é acompanhado do aumento na quantidade de resina que é utilizada para aderir a segunda camada de reforço, portanto, ao invés de aumentar a absorção de água, a segunda camada proporcionou uma diminuição da absorção de água devido ao efeito impermeabilizante da resina que essa segunda camada de tecido agrega.

Tabela 26 – Valores médios do ensaio de absorção de água e inchamento com selagem das bordas.

Tratamento	Absorção de água (%)		Inchamento (%)	
	2h	24h	2h	24h
Controle	2,3(0,6) ^b	10,4(2,2) ^b	0,89(0,2) ^b	4,43(1,0) ^{ab}
1 camada de tecido de fibra de juta	4,4(2,2) ^a	20,00(9,3) ^a	1,67(0,7) ^a	5,94(1,9) ^a
2 camadas de tecido de fibra de juta	1,3(0,2) ^b	6,4(1,0) ^a	1,01(0,4) ^{ab}	3,8(0,9) ^b
1 camada de tecido de fibra de vidro	2,0(0,7) ^b	11,4(3,6) ^b	0,7(0,6) ^b	4,3(0,6) ^b
2 camadas de tecido de fibra de vidro	1,6(0,4) ^b	7,8(2,0) ^b	0,6(0,5) ^b	3,67(0,8) ^b

Médias seguidas pela mesma letra na mesma coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de significância; desvio padrão entre parênteses.

Ao avaliar o efeito da absorção de água com a selagem das bordas, foi possível observar que a inclusão de tecido de fibra de juta aumenta a absorção de água, enquanto que os painéis controle e com reforço de fibra de vidro não apresentaram diferença significativa ao nível de 5% de significância na capacidade de absorção de água. Isso deve-se à natureza hidrofílica do tecido de fibra de juta.

5.3.6. Arrancamento de parafuso

O arrancamento de parafuso é um ensaio importante, pois um total de 126 parafusos são necessários para produzir um palete (ABRAS; CPP, 1993).

Houve uma diferença significativa ao nível de 5% de significância no valor de arrancamento somente para a amostra de 2 camadas de tecido de fibra de vidro em relação às demais, como mostram os resultados da Tabela 27.

Na região do topo do corpo de prova, onde o parafuso foi inserido, não há contato com o reforço têxtil, portanto a resistência ao arrancamento do parafuso não sofre interferência do reforço. Este resultado foi influenciado pela variação de densidade ao longo dos painéis. Embora na avaliação da densidade aparente não tenha indicado diferença significativa entre os tratamentos, todavia, a variação de densidade nas distintas partes do painel pode ocorrer devido a focos de concentração de resina no painel.

Tabela 27 – Valores médios de arrancamento de parafuso do topo.

Tratamentos	Sem reforço	1 camada de tecido de fibra de juta	2 camadas de tecido de fibra de juta	1 camada de tecido de fibra de vidro	2 camadas de tecido de fibra de vidro
Topo (N)	2730 ^a (523)	2477 ^a (313)	2557 ^a (199)	2552 ^a (603) ¹	1603 ^b (568)

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha ou coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de significância; coeficiente de variação entre parênteses.

No arrancamento de parafuso da superfície havia a expectativa de que a presença do reforço pudesse influenciar na resistência com que o parafuso seria arrancado, visto que ele estaria em contato direto com o tecido. No entanto não houve diferença significativa aos 5% de significância entre as amostras, como pode-se observar na Tabela 28. Portanto a inclusão do reforço têxtil na superfície do painel não influencia na resistência do parafuso ao arrancamento.

Tabela 28 – Valores médios de arrancamento de parafuso da superfície.

Tratamentos	Sem reforço	1 camada de tecido de fibra de juta	2 camadas de tecido de fibra de juta	1 camada de tecido de fibra de vidro	2 camadas de tecido de fibra de viro
Superfície (N)	3195 ^a (404)	3097 ^a (650)	3122 ^a (576)	3160 ^a (344)	3408 ^a (301)

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha ou coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de significância; coeficiente de variação entre parênteses.

5.3.7. Dureza Janka

A especificação para paletes padrão de distribuição nacional da ABRAS (1993) determina que a madeira verde utilizada para o palete deve apresentar Dureza Janka de 17 MPa para as tábuas de menor resistência e 40 MPa para as tábuas de maior resistência. Todos os tratamentos superaram a especificação e não houve diferença significativa entre eles.

O dispositivo do ensaio que avaliou a Dureza Janka esteve em contato direto com a camada de reforço dos compósitos. Todos os tratamentos apresentaram Dureza Janka acima do determinado pela especificação para paletes, em especial a amostra de duas camadas de tecido de fibra de vidro que teve uma resistência 143% maior que a especificação de para tábuas mais resistentes do palete. Os resultados estão apresentados na Tabela 29.

Tabela 29 – Valores médios de dureza Janka.

Tratamentos	Sem reforço	1 camada de tecido de fibra de juta	2 camadas de tecido de fibra de juta	1 camada de tecido de fibra de vidro	2 camadas de tecido de fibra de vidro
Dureza Janka (MPa)	95,61 ^a (8,84)	94,49 ^a (13,5)	91,91 ^a (12,54)	82,14 ^a (8,57)	97,22 ^a (12,34)

Médias seguidas pela mesma letra na mesma linha ou coluna, não diferem entre si pelo Teste de Tukey em nível de 5% de significância; coeficiente de variação entre parênteses.

A dureza Janka está diretamente relacionada à densidade do material. Como não houve diferença significativa entre a densidade aparente dos tratamentos, a dureza Janka dos compósitos corroborou.

5.3.8. Análise microscópica da interface entre os fios e a resina poliuretana de óleo de mamona

O tecido de fibra de vidro tem principal aplicação estrutural na construção civil. Na fibra de vidro o revestimento tem a finalidade de proteção das fibras de vidro contra agressões causadas pelos álcalis encontrados em rebocos e argamassas os quais o tecido é aplicado. A Figura 41 (A) mostra a superfície do recobrimento de estireno-butadieno que cobre totalmente os fios e não permite visualizar os feixes das fibras de vidro do tecido. A Figura 41 (B) apresenta o fio recoberto. As imagens das Figuras 41 (A) e 41 (B) foram obtidas a partir da análise individual do tecido antes de ser incluído no compósito. A Figura 41 (C) trata-se de uma imagem da sessão transversal do painel com duas camadas de reforço têxtil de fibra de vidro a qual mostra a interface entre o revestimento de butireno-estadieno e os filamentos de vidro do fio inseridos no compósito, pela análise da imagem do corte da área da sessão transversal do fio.

Figura 41 – Recobrimento do polímero estireno-butadieno: (a) Superfície do polímero (b) Superfície do fio de fibra de vidro com recobrimento (c) Interface entre polímero e fibras de vidro. Fio de fibra de vidro composto por multifilamentos que precisam ser quantificados.

Fonte: Própria autoria.

Esse recobrimento além da função de proteção contra agentes químicos que possam prejudicar a fibra de vidro, também tem grande benefício no desempenho mecânico do fio, pois ajuda as fibras permanecerem mais unidas entre si aumentando a sua capacidade de reforço. Cada fibra desprendida pode influenciar no desempenho mecânico do fio à tração. Na Figura 42 (A) pode-se observar que o recobrimento do polímero estireno-butadieno faz interface com a resina de poliuretana de óleo de mamona quando é aderida à matriz do compósito. Esta interface entre o polímero de recobrimento, a resina e os filamentos de vidro que formam o fio pode ser melhor observada na Figura 42 (B).

Figura 42 – Micrografias indicando interface entre o polímero de recobrimento, a resina e o fio de fibra de vidro inserido no compósito.

Fonte: Própria autoria.

O fio de fibra de juta não tem recobrimento (polímero de estireno-butadieno) como o fio de fibra de vidro, mas a inclusão da resina poliuretana de óleo de mamona favorece a manutenção da união das fibras do fio de fibra de juta, que tendem a ser mais dispersas que as fibras do fio de fibra de vidro, como mostra a Figura 43.

Figura 43 – Micrografia ilustrando a resina poliuretana de óleo de mamona unindo as fibras de juta.

Fonte: Própria autoria.

Os fios de fibra de juta não apresentam recobrimento como ocorre no fio de fibra de vidro. No ensaio de tração, a falta deste desfavorece a resistência do fio de fibra de juta, visto que aquelas fibras que estiverem desgarradas, ou seja, não unidas ao feixe. Diferentemente, na produção dos tecidos de fibra de vidro, os fios apresentam-se torcidos. Essa torção faz com que as fibras permaneçam mais compactas e unidas, contribuindo para um melhor desempenho mecânico (BARUQUE, 2006).

A Figura 44 mostra a disposição das fibras nos fios quando estes estão isolados do compósito, antes de serem unidos ao painel pela resina poliuretana de óleo de mamona. Na Figura 44 (A) pode-se observar a torção dos fios de fibra de juta e o desprendimento de algumas fibras da superfície. Na Figura 44 (B), pode-se observar os fios de fibra de vidro. Na fibra de vidro há uma grande diferença entre o urdume e a trama. O urdume é mais fino e parece ser feito pelo enlaçamento de dois fios finos. Contudo a trama é mais larga e passa através das fibras do urdume. É um tipo de tecelagem bem diferente do tecido de fibra de juta.

Figura 44 – (a) Torção e dispersão dos fios de fibra de juta. (b) Entrelaçamento e compactação dos fios de fibra de vidro.

Fonte: Própria autora.

6. CONCLUSÃO

O desempenho do material em relação às propriedades mecânicas foi melhorado com a inclusão do reforço têxtil apresentando-se bem superior ao nível de desempenho indicado pela norma ABNT NBR 14810-3 para painéis de madeira.

Duas camadas de reforço têxtil aumentaram consideravelmente a resistência do painel à flexão do que apenas uma camada. Os painéis com reforço de tecido de fibra de vidro apresentaram um melhor valor de MOR, (61,8 MPa), do que os painéis produzidos com reforço de fibra de juta (54,8 MPa). A caracterização dos tecidos de reforço têxtil apresentou o tecido de fibra de vidro com resistência superior ao de fibra de juta, porém a estrutura física do fio de fibra de juta proporcionou uma ancoragem do tecido ao painel, levando a uma maior rigidez no painel com o reforço têxtil de fibra de juta do que no painel com reforço têxtil de fibra de vidro.

Todos os tratamentos alcançaram resistência suficiente para atender os requisitos (34 MPa) para compor as tábuas intermediárias da face superior e tábuas da face inferior dos paletes e o tratamento com duas camadas de tecido de fibra de vidro mostrou-se promissor para aplicação nas tábuas da extremidade da face superior; tábuas de ligação/transversais, já que seu valor de módulo de ruptura (61,8 MPa) está próximo do requisito para este tipo de tábua, apenas 1,2 MPa abaixo do módulo de ruptura no mínimo requerido para esses tipos de tábuas que é de 63 MPa.

Os resultados alcançados neste trabalho podem contribuir para a elaboração de um protocolo de produção para inclusão de reforços têxteis em painéis identificando os valores das variáveis de processo que levam ao melhor desempenho do material desenvolvido, como número de camadas, tipo de reforço que proporciona maior resistência mecânica à flexão, rigidez, adesão ao compósito, menor absorção de água e inchamento do painel e identificação das principais características dos tecidos que favorecem a melhoria do desempenho físico e mecânico do painel.

7. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Após a finalização desta pesquisa, surgiram algumas sugestões para trabalhos futuros para dar continuidade e aprofundamento ao que já foi estudado acerca do tema dessa pesquisa, assim, sugere-se:

- Fazer uma análise microscópica detalhada, complementar ao que já foi realizado nesta pesquisa, com o intuito de avaliar as características dos fios dos tecidos (juta e vidro) que podem influenciar na aderência do tecido ao compósito na melhoria do desempenho mecânico do painel. Também identificar por análise de microscopia que características dos fios (diâmetro, torção, área da seção transversal e grau de compactação das fibras) podem influenciar positivamente no desempenho como reforço têxtil;
- Fazer uma análise do ciclo de vida do painel com reforço têxtil comparando-o com os materiais tradicionais;
- Simular o desempenho mecânico do painel com reforço têxtil em paletes para prever o seu comportamento quando sujeito às cargas de transporte com a utilização de softwares de simulação;
- Desenvolver um painel híbrido no qual haja tanto o reforço de fibra de vidro como o reforço de fibra de juta de maneira que as vantagens de um tipo de reforço sejam preservadas enquanto suas limitações são superadas pelo outro tipo de reforço;
- Realizar uma análise de custos e fazer uma projeção para escala industrial.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 14810**: Chapa de madeira aglomerada: parte 3: métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2002. 27 p.

_____. **NBR 15316-3**: Chapas de fibra de media densidade. Rio de Janeiro, 2009. 73 p.

_____. **NBR 9198: 2010** Embalagem e acondicionamento - terminologia. Rio de Janeiro, 2010. 16 p.

_____. **NBR 12744** Fibras têxteis. Rio de Janeiro, 1992. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE SUPERMERCADOS – ABRAS; COMITÊ PERMANENTE DE PALETIZAÇÃO - CPP. **Especificação para paleta padrão de distribuição nacional-PBR-I**. 3. ed. rev. [São Paulo]: ABRAS, CPP, 1993.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE - ANSI. **ANSI A208.1** - Particleboard. Gaithersburg, 1999.

ARAÚJO, C. R.; MOTHÉ, C. G. Characterization of natural fiber reinforced polyurethane composites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NATURAL POLYMERS AND COMPOSITES, 2., 1998, Atibaia. **Proceedings...** Atibaia, 1998. p. 123-6.

AZMI, M. A. et al. Properties of polyurethane foam/coconut coir fiber as a core material and as a sandwich composites component. **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**, Bristol, v. 50, n. 1, art. 012067, 2013. International Conference on Mechanical Engineering Research - ICMER, 2nd. 2013.

BARUQUE, J. **Propriedades físicas de fibras**. [s.l.:s.n.], 2006.

BATTISTELLE, R. A. G. et al. Physical and mechanical characterization of sugarcane bagasse particleboards for civil construction. **Journal of Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems**, Zagreb, v. 4, n. 4, p. 408–417, 2016.

BELINI, U. L. et al. Teor de sílica em compósitos confeccionados com bagaço de cana-de-açúcar e eucalipto. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, p. 250-255, 2012.

BENTHIEN, J. T. et al. Experimental determination of the compression resistance of differently shaped wood particles as influencing parameter on wood-reduced particleboard manufacturing. **European Journal of Wood and Wood Products**, Heidelberg, v. 76, n. 3, p. 937–945, 2018.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre reinforced cementitious composites**. 2nd ed. London: Taylor & Francis, 2007.

BISCEGLIE, D. P. et al. **Short communication survival of ralstonia solanacearum on wood , high density polyethylene and on jute fabric in cold storage**. v. 87, p. 145–147, 2005.

BONO, A.; CHU, C.; POGAKU, R. Performance of particleboard with palm kernel cake as filler. In: RAVINDRA, P.; BONO, A.; CHU, C. (Ed.). **Developments in sustainable chemical and bioprocess technology**. New York: Springer, 2013. p.337-345.

BONVEHÍ, J.; F. COLL. **Mineral oil paraffins in jute bags and cocoa butter**. *Acta Alimentaria*. Budapest, v. 43, n. 1, p. 40–52, 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimentos - MAPA. **Vegetal**. 2012. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal>>. Acesso em: 23 out. 2013.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimentos - MAPA. **Produção brasileira de cana-de-açúcar, açúcar e etanol**. 2017. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/agroenergia/arquivos-precios/producao-brasileira-de-cana-de-acucar-acucar-e-etanol.pdf/view>>. Acesso em: 23 ago. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano nacional de resíduos sólidos**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/estruturas/253/_publicacao/253_publicacao02022012041757.pdf>. Acesso em: 16 set. 2013.

BUFALINO, L. et al. Relation of transverse air permeability with physical properties in different compositions of sugarcane bagasse particleboards. **Materials Research**, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 150-157, 2013.

BYRNE, C. Technical textiles market - an overview. In: HORROCKS, A. R.; ANAND, S. C. (Ed.). **Handbook of technical textiles**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2000. p.1-23.

CALLISTER JÚNIOR, W. D. **Ciência e engenharia de materiais**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2008.

CASTANHAL. **A juta**. 2013. Disponível em: <<http://www.castanhal.com.br/A-Juta.html>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

CENTRO DE TECNOLOGIA CANAVIEIRA – CTC. **Pragas e doenças da cana-de-açúcar**: “roguing”. Santo Antônio: CTC, c2013. Disponível em:<<http://www.ctcanavieira.com.br/downloads/CadernetaPragas2013.pdf>>. Acesso em: 27 set. 2016.

CARASCHI, J. C. et al. Painéis produzidos a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura. **Polímeros**, São Carlos, v. 19, n. 1, p. 47-53, 2009.

CARDOSO, S. G. **Estudo das propriedades mecânicas e dos mecanismos de fratura de fibras sintéticas do tipo náilon e poliéster em tecidos de engenharia**. 2009. 151 f. Tese (Doutorado) – Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO -CONAB. **Acompanhamento da safra brasileira**. Cana-de-açúcar. V.5 Safra 2018/19 N.1 – Primeiro levantamento: MAIO

2018. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/cana>>. Acesso em: 21 jun. 2018.

DALBEHERA, S.; ACHARYA, S. K. Study on mechanical properties of natural fiber reinforced woven jute-glass hybrid epoxy composites. **Advances in Polymer Science and Technology**, London, v. 4, n. 1, p. 1–6, 2014.

DE LIMA MESQUITA, A. et al. Eco-particleboard manufactured from chemically treated fibrous vascular tissue of acai (*Euterpe oleracea* Mart.) Fruit: A new alternative for the particleboard industry with its potential application in civil construction and furniture. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 112, p. 644–651, 2018.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana a base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 2005. 149 f. Tese (Doutorado) - Programa Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, 2005.

DOOST-HOSEINI, K.; TAGHIYARI, H. R.; ELYASI, A. Correlation between sound absorption coefficients with physical and mechanical properties of insulation boards made from sugar cane bagasse. **Composites Part B: Engineering**, Kidlington, v. 58, p. 10-15, 2014.

FIDELIS, M.E.A. **Desenvolvimento e caracterização mecânica de compósitos cimentícios têxteis reforçados com fibras de juta**. 2014. 266p. Tese (Doutorado) – Programa de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2014.

FIORELLI, J. et al. Multilayer particleboard produced with agroindustrial waste and amazonia vegetable fibres. **Waste and Biomass Valorization**, Dordrecht, v. 9, n. 7, p. 1151–1161, 2018.

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

FIORELLI, J. et al. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product. **Industrial Crops and Products**, Amsterdam, v. 40, p. 69-75, 2012.

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

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS - FAO. **Statistics** - food and agriculture. Disponível em: <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 21 jun. 2018

GULER, C.; COPUR, Y.; TASCIOGLU, C. The manufacture of particleboards using mixture of peanut hull (*Arachis hypoqaea* L.) and European Black pine (*Pinus nigra* Arnold) wood chips. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 99, n. 8, p. 2893-2897, 2008.

GONG, R. H.; CHEN, X. Technical yarns. In: HORROCKS, A. R.; ANAND, S. C. (Ed.). **Handbook of technical textiles**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2000. p.42-60.

GROB, K. et al. Determination of food contamination by mineral oil from jute sacks using coupled LC-GC. **Journal of the Association of Official Analytical Chemists**. Gaithersburg, v.74,n.3, p506-12,1991.

HIBBELER, R. C. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

HALL, M. E. Coating of technical textiles. In: HORROCKS, A. R.; ANAND, S. C. (Ed.). **Handbook of technical textiles**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2000. p.173-186.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Produção da extração vegetal e da silvicultura**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=destaques>> Acesso em: 15 out. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro: IBGE, 2016. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/defaulttab.shtm>>. Acesso em: 29 set. 2016.

HEALTH Building Network. **Alternative resin binders for particleboard, medium density fiberboard (MDF), and wheatboard**. May. 2008.

JHA, K.; SAMANTARAY, B. B.; TAMRAKAR, P. A Study on erosion and mechanical behavior of jute/e-glass hybrid composite. **Materials Today: Proceedings**, Amsterdam, v. 5, n. 2, p. 5601–5607, 2018.

KELLY, M. W. **Critical literature review of relationships between processing parameters and physical properties of particleboard**. Madison: U.S. Department of Agriculture, 1977.

KHAN, G. M. A. et al. Effect of Chemical treatments on the physical properties of Non-woven Jute/PLA Biocomposites. “Jute/PLA composite”. **BioResources**, Raleigh, v.10, n.4, p. 7386-7404, 2015.

KHAN, R. A. et al. Comparative studies of mechanical and interfacial properties between jute and E-glass fiber-reinforced polypropylene composites. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, London, v. 29, n. 7, p. 1078-1088, 2010.

KIM, S.; KIM, H. J. B.; PARK, J. C. Application of recycled paper sludge and biomass materials in manufacture of green composite pallet. **Resources Conservation and Recycling**, Evanston, v. 53, p. 674-679, 2009.

KITAJIMA, E. W.; LEITE, B. **Curso introdutório de microscopia eletrônica de varredura**. Piracicaba: Núcleo de Apoio à Pesquisa em Microscopia Eletrônica, ESALQ/USP, 1999. 46 p.

LEANDRO, F. Logística reversa: percentual de ocupação dos paletes na carga e os custos de retorno. **Maringá Management: Revista de Ciências Empresariais**, Maringá, v. 3, n. 1, p. 17-25, 2006.

MAGZOUN, R. et al. Comparative evaluation of mechanical and physical properties of particleboard made from bagasse fibers and improved by using different methods. v. 49, p. 537–542, 2015.

MASSOD, S. H.; RIZVI, S. H. An investigation of pallet design using alternative materials for cold room applications. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, London, v. 29, p. 1-8, 2005.

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. 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.

MIR, A. et al. Study of mechanical and thermomechanical properties of jute/epoxy composite laminate. **Journal of Reinforced Plastics and Composites**, London, v. 29, n. 11, p. 1669-1680, 2010.

MIRAFATAB, M. Technical fibers. In: HORROCKS, A. R.; ANAND, S. C. (Ed.). **Handbook of technical textiles**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2000. p.24-40.

MISNON, M. I. et al. Potentiality of utilising natural textile materials for engineering composites applications. **Materials & Design**, Oxon, v. 59, p. 359-368, 2014.

MOHAREB, A. S. O. et al. Novel composite sandwich structure from green materials: Mechanical, physical, and biological evaluation. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 132, n. 28, p. 4-11, 2015.

MORTON, W. E.; HEARLE, J. W. S. **Physical properties of textile fibres**. 4th ed. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2008.

NAKANISHI, E. Y. et al. Study of the production process of 3-layer sugarcane-bamboo-based particleboards. **Construction and Building Materials**, Amsterdam, v. 183, p. 618–625, 2018.

NATURAL FIBERS. Why natural fibers. 2009. Disponível em: <http://naturalfibres2009.org/en/fibres/jute.html>. Acesso em: 10 jan. 2017.

NONAKA, S.; UMEMURA, K.; KAWAI, S. Characterization of bagasse binderless particleboard manufactured in high-temperature range. **Journal of Wood Science**, Tokyo, v. 59, n. 1, p. 50–56, 2013.

NÚÑEZ-DECAP, M.; BALLERINI-ARROYO, A.; ALARCÓN-ENOS, J. Sustainable particleboards with low formaldehyde emissions based on yeast protein extract adhesives *Rhodotorula rubra*. **European Journal of Wood and Wood Products**, Heidelberg, v. 76, n. 4, p. 1279–1286, 2018.

PAES, J. B. et al. Qualidade de chapas de partículas de *Pinus elliottii* coladas com resina poliuretana sob diferentes condições de pressão e temperatura. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 21, n. 3, p. 551-558, 2011.

PALIGA, C. M.; CAMPOS FILHO, A.; REAL, M. V. Composite materials and structural reinforcement: a numerical analysis. **Teoria e Prática na Engenharia Civil**, Rio Grande, v. 12, n. 20, p. 23-30, 2012.

PACKAGING paper and board. Canadá: RISI, 2018. Disponível em: <<https://www.risiinfo.com/industries/pulp-paper-packaging/packaging-paper-board/>>. Acesso em: 15 out. 2018.

PANYAKAEW, S.; FOTIOS, S. New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. **Energy and Buildings**, Amsterdam, v. 43, n. 7, p. 1732–1739, 2011.

PEREIRA, G. S. **Introdução à tecnologia têxtil**. Araranguá: Centro Federal de Educação Tecnológica de Santa Catarina, [s.d]. (Apostila - Curso Têxtil em Malharia e Confecção Módulo 2).

PEREIRA, M. A. **Cartilha de costurabilidade, uso e conservação de tecidos para decoração**. 2. ed. Comitê de Tecidos para Decoração da ABIT (Associação Brasileira da Indústria Têxtil e de Confecção), 2011.

RAFIQUZZAMAN, M. et al. Mechanical property evaluation of woven jute–coir fiber based polymer composites. **International Journal of Plastics Technology**, New Delhi, v. 21, n. 2, p. 278–296, 2017.

SARTORI, D. D. L. et al. Modular panel with wood and particleboards of sugarcane bagasse for cattle handling facilities. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 37, n. 1, p. 3, 2015.

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

SABBADINI, F. S.; PEDRO J. V.; BARBOSA, P. J. O. A logística reversa no retorno de pallets de uma indústria de bebidas. In: SIMPÓSIO DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO E TECNOLOGIA, 2., 2005, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SEGet, 2005. 1 CD-ROM.

SAINT-GOBAIN ADFORS do Brasil (Ed.). **Tela vertex R131 A101**. Vinhedo, 2012. (Ficha técnica).

SCARAMUCCI, J. A. et al. Energy from sugarcane bagasse under electricity rationing in Brazil: a computable general equilibrium model. **Energy Policy**, London, v. 34, n. 9, P. 986-992, 2006.

SHAHIDAN, N. S.; MUHAMMED, S. Manufacture of composite panel from sugarcane bagasse. **Key Engineering Materials**, Pfaffikon, v. 471-472, p. 49-54, 2011.

SANTANA, M. A. E.; TEIXEIRA, D. E. Uso do bagaço de cana-de-açúcar na confecção de chapas de aglomerados. In: CONGRESSO FLORESTAL BRASILEIRO, 7.; CONGRESSO FLORESTAL PANAMERICANO, 1., 1993, Curitiba. **Anais...** São Paulo: SBS/SBEF, 1993. p. 667-672.

SEZGIN, E.; ALI, B.; ERHAN, S. An investigation of mechanical and acoustic absorption properties of multiaxial glass fiber and hazelnut's shell reinforced poliester resin composites. **Journal of Vibroengineering**, Kaunas, v. 11, n. 2, p. 305-315, 2009.

SILVA, R. V. Compósito de resina poliuretano derivado de óleo de mamona e fibras vegetais. 2003. 157 f. Tese (Doutorado) – Área Interunidades em Ciência dos Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

SILVA, C. D.; FREIRE JÚNIOR, R. C. S.; AQUINO, E. M. F. Influência da presença de fibras naturais em compósitos híbridos, tipo sanduíche. In: CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA – CONEM, 3., 2004, Belém,PA. **Anais...** Belém, 2004. Disponível em: <http://www.dem.ufrn.br/~freirej/publicacoes_pdf/CONEM2004_2.pdf>. Acesso em: 14 mar. 2017.

SINCLAIR, R. Understanding textile fibres and their properties: what is a textile fibre? In: SINCLAIR, R. (Ed.). **Textiles and fashion materials, design and technology**. Amsterdam: Elsevier, 2015. p. 3-25.

SOUSA, M. F. B. et al. Separação e identificação dos constituintes do bagaço de cana-de-açúcar pelo processo “Organosolv”. **Ciência e Cultura**, Campinas, v. 38, n. 1, p. 181-188, 1986.

STANLEY, S. A Study on the perception and impact of sustainable green consumption practices of women in preserving ecology with special reference to Chennai city. **Journal of Economics, Business and Management**, Singapore, v. 3, n. 10, p. 917-923, 2015.

TRIANAFILLOU, T. C. **Textile fibre composites in civil engineering**. Duxford: Elsevier, 2016.

TRIPATHI, P. et al. Development and characterization of low cost jute, bagasse and glass fiber reinforced advanced hybrid epoxy composites. **AIMS Materials Science**, Springfield, v. 5, n. 2, p. 320–337, 2018.

TOLEDO, L. R. Produção de juta e malva envolve 15 mil famílias no norte do país. **Revista Globo Rural**, São Paulo, 12 jul. 2010. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,EMI146775-18078,00-PRODUCAO+DE+JUTA+E+MALVA+ENVOLVE+MIL+FAMILIAS+NO+NORTE+DO+PAIS.html>>. Acesso em: 22 abr. 2017.

UNAL, P. G.; TASKIN, C. The effect of weave and densities on contraction values of 100% polyester fabrics. **Tekstil Ve Konfeksiyon**, Bornova, v. 17, n. 1, 2007.

VILLAR, W. D. Química e tecnologia dos poliuretanos. [S.I.]: Grupo Pronor, 1993.

YOSHICO, E. et al. Resistência físico-mecânica de chapas aglomeradas de bagaço de cana-de-açúcar modificado quimicamente. **Scientia**, Piracicaba, p. 35-42, 1997.

WEHSENER, J. et al. Textile reinforcement of multidimensional formable wood. **European Journal of Wood and Wood Products**, Heidelberg, v. 72, n. 4, p. 463-475, 2014.

ANEXO

Anexo A – Ficha técnica do tecido de fibra de vidro (Tela Vertex R131 A101)

Tela Vertex R131 A101

Descrição Geral

A tela **Vertex R131 A101** é produzida a partir de fibras de vidro com um revestimento especial tornando a sua instalação fácil. Esse revestimento especial proporciona uma excelente resistência aos álcalis agressivos encontrados em rebocos e argamassas. As telas **Vertex** são utilizadas por sua alta resistência mecânica e estabilidade dimensional para reforçar as paredes internas e ao ar livre - fachadas em construção ou reformas.

A tela **Vertex R131 A101** é utilizada principalmente como um componente de sistemas de isolamento externos (ETICS/EIFS).

Características Técnicas

Características	Unidades	R131 A101	
		Urdupe	Trama
Abertura da malha:	mm²	3,5	3,8
Largura do rolo (1):	cm	100 ou 110 ±1%	
Comprimento do rolo (1):	m	50	
Espessura da tela:	mm	0,52	
Peso da tela (sem revestimento):	g/m²	131	
Peso da tela (com revestimento):	g/m²	160 -0% a +8%	
Tipo de revestimento:	Alcali resistente		

(1) Outras dimensões disponíveis

Resistência à tração e Alongamento:

Resistência à tração mínima (N/50 mm) e alongamento máximo (%) quando se atinge força de tensão mínima é determinada de acordo com a norma DIN EN ISO 13934-1, conforme abaixo:

	Resistência à Tração		Alongamento
	Valor nominal	Valor individual	Valor médio
Método de deposição:	Urume/ trama	Urume/ trama	100 ou 110 ±1%
Condição padrão:	2050 / 2300	2000 / 2000	3,8 / 3,8
Teste rápido (5 horas):	1500 / 1500	1250 / 1250	3,5 / 3,5
Solução 3 ione (ETAG 004):	1300 / 1300	1250 / 1150	
	65% / 65%	60% / 59%	
Solução cimento - 90 dias:	1000 / 1000	750 / 750	
	50% / 50%	40% / 40%	

Informações Adicionais

Inspeção de qualidade

O método de controle de qualidade, a amostragem e manipulação do material são feitos de acordo com o padrão 0326.

Embalagem:

Os rolos de tecidos são embalados em caixas de papelão na vertical, sobre um pallet de madeira.

Armazenamento:

Rolos embalados devem ser armazenados em locais secos de -10 °C a + 50 °C.

Propriedades

- Alta resistência mecânica
- Excelente estabilidade dimensional
- Utilizada para novas construções e reformas, no interior ou exterior do edifício.
- Maior Resistência
- Aplicação principal: componente do sistema ETICS/ EIFS

T	Ra	M	E
3	1	2	2

07 - 04

Editado por:

SAINT-GOBAIN ADFORS America

SAINT-GOBAIN ADFORS do Brasil
Avenida Independência, 7031
Vinhedo - SP - 13280-000
Brasil
Tel / Fax: +55 19 2127-8513

SAINT-GOBAIN ADFORS America
reserva o direito de alterar as
informações aqui contidas sem aviso
prévio

Ficha Técnica
Última atualização: 14/12/12

Anexo B – Boletim técnico da reina poliuretana à base de óleo de mamona (PU – Mamona)

Plural Indústria e Comércio de Produtos Químicos Ltda

Rua Vicente D'Aquino, 60/70 – Jd. Ricetti
13570-060 – São Carlos – SP
(16)3361-2159 pluralquimica@uol.com.br

Sistema de Poliuretano F 0911/E 0921

DESCRIÇÃO DO SISTEMA

LECOPOL F 0911 – Componente A

Derivado vegetal para obtenção de resina de poliuretano.

LECOPOL E 0921 – Componente B

Isocianato aromático para obtenção de resina de poliuretano.

PREPARO DO SISTEMA

- O sistema possui dois componentes, A (poliól) e B (isocianato), que devem ser misturados no momento da utilização.
- **Misture 2 partes, em massa do componente A para 1 parte do componente B;**
- Efetuar primeiro a homogeneização do componente A separado, antes da mistura com o componente B.
- Em seguida proceder à mistura dos componentes A e B nas quantidades necessárias para a aplicação, durante 3-5 minutos.
- Misture quantidades pequenas dos produtos. Preferencialmente o que vai ser utilizada em 15 minutos no máximo.
- Após a mistura do componente B, a reação de polimerização se inicia imediatamente e não cessa.

ESTOCAGEM DOS PRODUTOS

Armazenar em local coberto seco e longe de fontes de calor, nas embalagens originais e intactas. A validade é de 3 (três) meses, desde que esteja adequadamente estocado.

LIMPEZA DE FERRAMENTAS UTILIZADAS NA APLICAÇÃO

Antes da cura, utilizar xilol, acetato de etila, ou a mistura de ambos. Após a cura, somente com limpeza mecânica.

RECOMENDAÇÕES DE SEGURANÇA

- Diluir só com solventes especiais para poliuretanos
- Não aplicar em superfícies úmidas
- Manter as embalagens fechadas, longe de fonte de calor, e fora do alcance de crianças e animais.
- Manter o ambiente ventilado durante aplicação e secagem.
- Utilizar EPIs adequados para a manipulação e aplicação (óculos de segurança, luvas, máscara protetora).
- Em caso de contato com a pele ou olhos, lavar com água em abundância, em caso de ingestão procurar imediatamente um médico informando sobre o tipo de produto ingerido, descrito na ficha técnica dos produtos.

"ATENÇÃO: As informações e recomendações do fabricante se referem a um produto específico e seu uso adequado, ou seja, o fabricante só responde por elas, desde que usado para o fim a que se destina. Deve ser observada atentamente a forma correta de manuseio, a finalidade do produto e descarte de eventuais resíduos, sob pena de isenção total de responsabilidade do fabricante por danos ou indenizações de qualquer espécie – ART. 12, § 3º, III da Lei 8.078/90."

FICHA TÉCNICA DOS PRODUTOS

FICHA TÉCNICA – COMPONENTE A

1. Descrição

- **Produto:** Poliál para obtenção de poliuretanas, derivado de óleos vegetais. Pode possuir cargas minerais e pigmentos.
- **Aspecto:** Líquido colorido, com odor característico.
- **Densidade:** 1,0 – 1,2 (aproximadamente).

2. Riscos

Fogo: Produto não inflamável.

Saúde: **Produto pouco irritante para pele e olhos. Pode causar irritação em contatos prolongados com a pele.**

Meio Ambiente: Não causa efeitos adversos para o meio ambiente. Águas residuais para incêndio não causam poluição. Solúvel em água, com resíduos biodegradáveis.

3. Em caso de acidente

Vazamento: Utilizar material absorvente e descarte de acordo com as Leis locais. O local pode ser limpo com água e detergente.

Fogo: Extinção com espuma, CO₂, pó químico e água.

4. Envolvimento de pessoas

Em caso de ingestão e inalação não provoque vômito. Procurar orientação médica. Em contato com pele e olhos: Lavar com água e sabão neutro em abundância.

5. Informações ao médico

O produto não possui antídoto específico, proceder com tratamento sintomático. Pouco tóxico por ingestão.

FICHA TÉCNICA – COMPONENTE B

1. Descrição

- **Produto:** Isocianato di ou polifuncional. Contém mistura e 4,4'-difenilmetano diisocianato.
- **Aspecto:** Líquido marrom escuro
- **Densidade:** 1,24 (aproximadamente)

2. Riscos

Fogo: Produto não inflamável.

Saúde: Produto irritante para pele e olhos. Pode causar irritação em contatos prolongados com a pele. Evite contato prolongado.

Meio Ambiente: Insolúvel em água, com a qual reage liberando CO₂. Produz resíduo inerte e não-biodegradável.

3. Em caso de acidente

Vazamento: Utilizar material absorvente e descarte de acordo com as Leis locais.

Descontamine o local com solução contendo 0,5% de detergente e 5% de hidróxido de amônio (5-10% de carbonato de sódio pode ser utilizado.)

Fogo: Extinção com espuma, CO₂, e pó químico e água.

4. Envolvimento de pessoas

Em caso de ingestão e inalação, não provoque vômito. Procurar orientação médica. Em contato com pele e olhos: Lavar com água e sabão neutro em abundância.

5. Informações ao médico

O produto não possui antídoto específico, proceder com tratamento sintomático. LD oral > 5.000 mg/Kg.