UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE ZOOTECNIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
Programa de Pós-graduação em Engenharia e Ciência de Materiais

ERIKA YUKARI NAKANISHI

Estudo de biofilmes funcionais como revestimento em painéis multicamada para
uso em instalação agroindustrial

Pirassununga

2018

ERIKA YUKARI NAKANISHI

Estudo de biofilmes funcionais como revestimento em painéis multicamada para
uso em instalação agroindustrial

VERSÃO CORRIGIDA

Tese apresentada à Faculdade de Zootecnia e
Engenharia de Alimentos da Universidade de
São Paulo, como parte dos requisitos para a
obtenção do título de Doutor em Ciências do
programa de pós-graduação em Engenharia e
Ciência de Materiais

Área de Concentração: Desenvolvimento,
Caracterização e Aplicação de Materiais
Voltados à Agroindústria

Orientador: Holmer Savastano Junior
Coorientador: Valdemir dos Santos

Pirassununga

2018

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

NN163e Nakanishi, Erika Yukari
Estudo de biofilmes funcionais como revestimento
em painéis multicamada para uso em instalação
agroindustrial / Erika Yukari Nakanishi ;
orientador Holmer Savastano Junior ; coorientador
Valdemir dos Santos. -- Pirassununga, 2018.
186 f.

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

1. Painel de partícula. 2. Impermeabilização. 3.
Material lignocelulósico. 4. Filme polimérico. 5.
Antimicrobiano. I. Savastano Junior, Holmer ,
orient. II. Santos, Valdemir dos, coorient. III.
Título.

Universidade de São Paulo

ATA DE DEFESA

Aluno: 74133 - 7411112 - 1 / Página 1 de 1

Ata de defesa pública de Tese do(a) Senhor(a) Erika Yukari Nakanishi no Programa: Engenharia e Ciência de Materiais, do(a) Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da Universidade de São Paulo.

Aos 15 dias do mês de janeiro de 2018, no(a) Sala da Congregação realizou-se a Defesa da Tese do(a) Senhor(a) Erika Yukari Nakanishi, apresentada para a obtenção do título de Doutora Intitulada:

"Estudo de biofilmes funcionais como revestimento em painéis multicamada para uso em instalação agroindustrial"

Após declarada aberta a sessão, o(a) Sr(a) Presidente passa a palavra ao candidato para exposição e a seguir aos examinadores para as devidas arguições que se desenvolvem nos termos regimentais. Em seguida, a Comissão Julgadora proclama o resultado:

Nome dos Participantes da Banca	Função	Sigla da CPG	Resultado
Holmer Savastano Junior	Presidente	FZEA - USP	Não Votante
Sérgio Francisco dos Santos	Titular	UNESP - Externo	<u>Aprovada</u>
Sergio Brazolin	Titular	IPT - Externo	<u>Aprovada</u>
Francisco Antonio Rocco Lahr	Titular	EESC - USP	<u>Aprovada</u>
Juliano Fiorelli	Titular	FZEA - USP	<u>APROVADA</u>
Danilo Florentino Pereira	Titular	UNESP - Externo	<u>APROVADO</u>

Resultado Final: APROVADA

Parecer da Comissão Julgadora *

Eu, Maria Cecília Albernaz Lins Silva _____, lavrei a presente ata, que assino juntamente com os(as) Senhores(as). Pirassununga, aos 15 dias do mês de janeiro de 2018.

Sérgio Francisco dos Santos

Francisco Antonio Rocco Lahr

Danilo Florentino Pereira

Holmer Savastano Junior
Presidente da Comissão Julgadora

* Obs: Se o candidato for reprovado por algum dos membros, o preenchimento do parecer é obrigatório.

A defesa foi homologada pela Comissão de Pós-Graduação em 17.01.2018 e, portanto, o(a) aluno(a) faz jus ao título de Doutora em Ciências obtido no Programa Engenharia e Ciência de Materiais - Área de concentração: Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais voltados à Agroindústria.

Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Profª. Drª. Rosemary Aparecida de Carvalho
Presidente da Comissão de
Pós-Graduação
FZEA/USP

DEDICATÓRIA

BARTOLOMEU

SALSICHA

MILA

PINK FOREVER

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Maria Keiko Nakanishi e Paulo Shigueru Nakanishi, pelo apoio e paciência.

Ao Prof. Dr. Holmer Savastano Junior, pela orientação e oportunidade.

Ao Dr. Valdemir dos Santos, pela orientação e oportunidade.

Ao Matheus Roberto Cabral, pela compreensão e apoio para nunca desistir.

À Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos e ao programa de Pós-graduação em Engenharia de Ciência de Materiais, pela oportunidade de realização do curso de doutorado.

Ao Dr. Paulo Gonçalves do Instituto Agrônomo de Campinas (IAC), Campinas, SP, por gentilmente doar o látex utilizado neste trabalho.

Ao Prof. Ricardo Luiz Moro de Sousa, do Laboratório de Higiene Zootécnica, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos da USP, pelo apoio no desenvolvimento de parte do doutorado.

Ao Prof. André Luis Christoforo, da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), pela ajuda na análise estatística

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão da bolsa de doutorado e pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa (processo n. 2016/07372-9)

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior pela concessão da bolsa de doutorado

RESUMO

NAKANISHI, E. Y. **Estudo de biofilmes funcionais como revestimento em painéis multicamada para uso em instalação agroindustrial**. 2018. 186f. Tese (Doutorado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2018.

Este projeto tem como objetivo o estudo do recobrimento superficial de filmes poliméricos à base de látex e breu, com microbicida de prata em painéis multicamadas de bagaço de cana-de-açúcar, reforçados com partículas de bambu (PMBB), visando seu uso como material isolante térmico em instalação agroindustrial sujeita a ambientes úmidos e com grande carga bacteriana. O projeto foi desenvolvido em quatro etapas. Na etapa 1 (*Estudo dos painéis multicamadas*), foi realizado o estudo de dois diferentes procedimentos de moldagem, sendo moldagem 1 (PMBB-M1) com prensagem nas camadas e a moldagem 2 (PMBB-M2) sem prensagens nas camadas. Na avaliação física e mecânica o painel PMBB-M2 apresentou melhor desempenho físico e mecânico, por conta da melhor interação entre as camadas, quando comparado ao painel PMBB-M1. A etapa 2 (*Estudo do tratamento superficial dos painéis*) consistiu na produção e caracterização dos filmes de breu, látex-LT e látex-LS, e na avaliação do recobrimento do painel PMBB e da sua durabilidade expostos às intempéries ambientais (sol, chuva, vento e orvalho). Os filmes apresentaram bom desempenho físico, dificultando a penetração de água no material, contudo, a exposição à radiação e as intempéries climáticas promoveram a degradação dos filmes, apesar disso o látex-LT e o breu apresentaram, até os três meses de envelhecimento natural, melhor desempenho mecânico. A etapa 3 (*Estudo da impregnação de nanopartículas de prata (AgNPs) nos filmes*) consistiu na preparação e avaliação dos filmes com AgNPs. Por meio da análise microbiológica constatou-se que os filmes de látex-LT e breu apresentaram caráter bacteriostático. Por fim, na etapa 4 (*Aplicação dos painéis PMBB em Instalação Suinícola*), foi analisado o potencial do painel PMBB-M2 como material isolante térmico, na forma de abrigo para leitão (escamoteador) em uma granja de suínos. Nessa etapa, foi avaliado o microclima gerado no interior dos escamoteadores aquecidos com lâmpada incandescente, por meio da coleta de dados ambientais e análise dos índices de conforto térmico. O painel apresentou bom desempenho, atendendo a faixa de temperatura e umidade de conforto térmico para os leitões na primeira semana de vida. Portanto, pode-se concluir que os filmes de breu e látex-LT no painel PMBB-M2, promoveram uma impermeabilização do material e por apresentarem caráter bacteriostático, evitaram a proliferação de bactérias quando em contato com os filmes, sendo assim, a aplicação deste material como isolante térmico em instalação para suíno apresenta um grande potencial, pois, o recobrimento no material propicia sua aplicação em um ambiente úmido e com grande carga bacteriana.

Palavras-chave: Painel particulado; resíduo; material lignocelulósico; impermeabilização, filme polimérico, ambiência, antimicrobiano, revestimento, bactéria, bagaço de cana-de-açúcar, bambu.

ABSTRACT

NAKANISHI, E. Y. **Study of functional biofilms as coating in multilayer panels for use in agroindustrial facilities**. 2018. 186f. Ph.D.Thesis - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2018

This project aims the study of surface coatings with polymeric films based on latex and rosin, by using a microbicide agent of silver in multilayer panels of sugarcane bagasse reinforced with bamboo particles (PMBB) to be used as an insulate material in agroindustrial facilities subject to humid environments with high bacterial load. This project was conducted into four steps. In the step 1 (*Study of the multilayer panels*), the evaluation of two different molding procedures was conducted, with molding 1 (PMBB-M1) with pre-pressing in the layers and molding 2 (PMBB-M2) without pre-pressing in the layers. Physical and mechanical properties of the PMBB-M2 panel presented better physical and mechanical performance due to the best interaction between the layers compared to the PMBB-M1 panel. In the step 2 (*Study of the superficial treatment of panels*), it was studied the production and characterization of the films of rosin, latex-LT and latex-LS, as well as the evaluation of the PMBB panel covering, and evaluation of the durability of these panels exposed to weather conditions (sun, rain, wind and dew). The films presented good physical performance, making it difficult to penetrate water in the material, on the other hand, by exposing the materials to radiation and weather conduction it was noticed the degradation of the films, despite the fact that latex-LT and rosin presented better mechanical performance until three months of age. In the step 3 (*Study of impregnation of silver nanoparticles (AgNPs) in the films*) it was conducted the preparation and evaluation of the films with AgNPs. By means of the microbiology analyses it was stated that the latex-LT and rosin presented bacteriostatic character. In the step 4 (*Application of PMBB panels in Poultry facilities*) it was evaluated the potential of the PMBB panel as an insulation material in a pig-farm as a piglet shelter. In this step, the microclimate generated inside of the pig shelter heated by incandescent lamps was evaluated through the collection of environmental data and evaluation of the thermal comfort indices. The panel presented good performance, taking into account the temperature and humidity range of thermal comfort for the piglets in the first week of life. Therefore, it can be concluded that the films of rosin and latex-LT in the PMBB panel, promoted a waterproofing of the materials and due to the bacteriostatic character, it was noticed that proliferation of the bacteria when in contact with the films was avoided, thus, the application of this material as thermal insulation in pig installation presents a great potential, due to the coating in the material and propitiates its application in a humid environment and with bacterial load.

Key words: Particleboards; waste; lignocellulosic material; waterproofing, polymer film, ambience, antimicrobial, coating, bacteria, sugarcane bagasse, bamboo.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Imagens da estrutura do bagaço de cana-de-açúcar, apresentando: A) Detalhe da epiderme e camadas adjacentes, 2) Detalhe do feixe vascular, 3) Corte transversal do feixe vascular da partícula de bagaço.	24
Figura 2 - Seção transversal do colmo de bambu.	26
Figura 3 - Estrutura química do látex.	37
Figura 4 - Esquema do processo de vulcanização do látex.	38
Figura 5 - Estruturas químicas dos ácidos monocarboxílicos presentes no breu.	40
Figura 6 - Fluxograma do plano de trabalho.	47
Figura 7 - Bambuzal, campus de Pirassununga, USP.	48
Figura 8 - Picador de galhos.	49
Figura 9 - a) Peneira vibratória; b) picador/desintegrador de forragem.	50
Figura 10 - Ilustração das camadas das partículas da teoria DLVO.	54
Figura 11 - Equipamento Zetaplus - Zeta Potential Analyzer.	55
Figura 12 - Ilustração da estrutura do painel particulado.	56
Figura 13 - Esquema ilustrativo das etapas de produção dos painéis PMBB.	57
Figura 14 - Esquema do processo de montagem das camadas dos painéis PMBB: moldagem M1 e M2.	58
Figura 15 - Esquema de sequência de elaboração de painéis a partir do colchão de material lignocelulósico e prensagem.	59
Figura 16 - Ensaio mecânico de flexão estática de três pontos.	61
Figura 17 - Ensaio de resistência ao arrancamento de parafuso de superfície e topo.	62
Figura 18 - Resistência à tração perpendicular às fibras (TP).	63
Figura 19 - Equipamento de condutividade térmica DTC300 modelo 2022.	65
Figura 20 - Ilustração do Látex e do Breu.	67
Figura 21 - Difratograma de raios-X do enxofre.	69
Figura 22 - Bancada de envelhecimento natural.	72
Figura 23 - A) Microscópio confocal. B) Amostra dos painéis PMBB sendo analisada.	74
Figura 24 - Ilustração do ângulo de contato formado em superfícies hidrofóbica e hidrofílicas.	77
Figura 25 - Teste de energia de superfície por ângulo de contato.	78
Figura 26 - Paquímetro para medir a variação dimensional.	79
Figura 27 - Esquema da preparação dos discos.	86

Figura 28 - Método de difusão em ágar modificado, A) placa incubadas com os filmes em estufa de cultura bacteriológica; B) 24 h após incubação e avaliação da formação do halo; C) medição do halo.	87
Figura 29 - Teste de concentração mínima inibitória, A) início do teste CMI com meio disco inserido dentro da solução bacteriana; B) após 24 h de incubação, avaliação visual do tubo (transparente ou turvo); C) avaliação crescimento bacteriano na placa após 24 h de incubação.	88
Figura 30 - Esquema ensaio microbiológico pelo método de inibição do crescimento microbiano em material higienizado.....	90
Figura 31 – Determinação do calor específico: A) analisador K2D Pro; B) sensor SH-1; C) posicionamento do sensor no corpo de prova.....	92
Figura 32 - Imagem ilustrativa do abrigo escamoteador.	93
Figura 33 - Setor de Suinocultura - Maternidade.	93
Figura 34 - Divisão interna do escamoteador e visão interna do escamoteador.....	94
Figura 35 - Imagem interna do escamoteador com os loggers e globo negro.	95
Figura 36 - Imagens de microscopia eletrônico de varredura (MEV) do bagaço de cana-de-açúcar: A) da superfície e B) da secção transversal.	99
Figura 37 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) do bambu: A) da superfície e B) da secção transversal.....	99
Figura 38 - Micrografias do MEV do painel PMBB. As flechas indicam as regiões com resina.	101
Figura 39 - A) Espectros de infravermelho (FTIR) do bagaço de cana-de-açúcar, do bambu, da resina de óleo de mamona e do painel PMBB formado. B) Detalhes da faixa do espectro entre 2000 a 800 cm ⁻¹	102
Figura 40 - Valores do potencial zeta em função do pH para as matérias primas constituintes do painel.	103
Figura 41 - Curvas típicas e representativas de tensão <i>versus</i> deformação específica dos painéis PMBB-M1 e PMBB-M2.	109
Figura 42 - Fotos ilustrativas do ensaio de adesão interna dos painéis PMBB-M1 e PMBB-M2. As distâncias indicam a posição típica de rompimento.	109
Figura 43 - Esquema de retirada de corpos de prova para análise de microtomografia computadorizada (micro-TC) de raios X e indicação das três direções de análise do plano ortogonal.....	111
Figura 44 - Porcentagem de poros ao longo do perfil do painel.....	111

Figura 45 - Imagens geradas pela microtomografia computadorizada dos painéis – PMBB-M1 e PMBB-M2, em três direções do plano ortogonal da amostra (Corte A, B e C).	112
Figura 46 - Distribuição de tamanho de poros dos painéis PMBB-M1 e PMBB-M2 obtidas para as camadas externa e interna. A) Ampliação do gráfico na região de 0.45 a 10 mm.	113
Figura 47 - Gráfico de TG, DTG e DSC do breu.	116
Figura 48 - Espectro de infravermelho (FTIR) do Breu.	117
Figura 49 - Gráficos de TG, DTG e DSC do látex polimerizado inicial, látex LS e látex LT.	118
Figura 50 - Espectro de infravermelho do látex polimerizado.	119
Figura 51 - Resultados das medidas da média aritmética da rugosidade tridimensional (S_a) e desvio quadrático médio da rugosidade tridimensional (S_q).....	120
Figura 52 - Imagens tridimensionais da superfície dos painéis PMBB-C (sem recobrimento), PMBB-B (com recobrimento com breu), PMBB-LS (com recobrimento com látex-LS) e PMBB-LT (com recobrimento com látex-LT).	122
Figura 53 - Imagem de microscopia óptica dos painéis: A) PMBB-C, B) PMBB-B.....	123
Figura 54 - Resultados das propriedades físicas – inchamentos em espessura (IE), em variação da área, variação no volume e absorção de água após imersão 24h.	124
Figura 55 - Análise descritiva dos valores médios da condutividade térmica dos painéis PMBB-C (sem revestimento), PMBB-B (recoberto com breu); PMBB-LS (recoberto com látex LS) e PMBB-LT (recoberto com látex LT).	126
Figura 56 - Gráfico de efeito UR <i>versus</i> condutividade térmica dos painéis e resultados do teste de Tukey.	127
Figura 57 - Gráfico do ângulo de contato dos painéis PMBB-C, PMBB-B, PBB-LS e PMBB-LT inicial.	128
Figura 58 - Gráfico do ângulo de contato dos painéis PMBB-C, PMBB-B, PBB-LS e PMBB-LT após 3 meses de envelhecimento natural.	129
Figura 59 - Imagens obtidas pela microscopia óptica dos painéis sem revestimento (PMBB-C) e com revestimento de breu (PMBB-B).	130
Figura 60 - Ilustrações dos fungos encontrados no painel PMBB-LS após 3 meses de envelhecimento natural.....	131
Figura 61 - Imagens de microscopia ótica da superfície do painel PMBB-LS após 3 meses de envelhecimento natural.....	131
Figura 62 - Análise descritiva das variações das características físicas – espessura, área da seção superficial, volume e massa.....	132

Figura 63 - Gráficos de interação para as características físicas - espessura, área da seção superficial, volume e massa entre os fatores revestimento e idade.	134
Figura 64 - Análise descritiva dos valores das propriedades mecânicas – módulo de ruptura na flexão estática (MOR) e Módulo de elasticidade na flexão estática (MOE).	135
Figura 65 - Gráficos de interação para as propriedades mecânicas - módulo de ruptura na flexão estática (MOR) e Módulo de elasticidade na flexão estática (MOE).	137
Figura 66 - Pannel PMBB-LS após envelhecimento natural de 3 meses.	138
Figura 67 - Espectros de absorção no UV-vis das nanopartículas de prata.....	141
Figura 68 - Difratoograma de raios X do látex-LT e látex-LS, com partículas de prata.....	142
Figura 69 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura e da distribuição de diâmetro de partícula da prata e EDS dos filmes de breu, látex-LS e Látex-LT com AgNPs.	143
Figura 70 - Micrografia eletrônica de varredura e EDS do filme de látex-LT.....	144
Figura 71 - Imagens da formação dos halos nos filmes de breu e de látex LS e LT do teste de sensibilidade pelo método de difusão em ágar.	146
Figura 72 - Teste concentração mínima inibitória utilizando a bactéria <i>Escherichia coli</i>	148
Figura 73 - Teste concentração mínima inibitória utilizando a bactéria <i>Staphylococcus aureus</i>	148
Figura 74 - Imagens ampliada do crescimento das bactérias semeadas na placa.....	149
Figura 75 - Imagem do crescimento bacteriano nas placas.	151
Figura 76 - Média da temperatura e umidade relativa da instalação de suíno das 18 h às 8 h.	154
Figura 77 - Temperatura média dos escamoteadores em cada quadrante (Q) das 18:00 às 8:00h.	158
Figura 78 - Umidade relativa média dos escamoteadores em cada quadrante (Q) das 18:00 às 8:00 h.	159

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Requisitos para propriedades mecânicas e inchamento para painéis não estruturais tipo P2 (condições secas) e P3 (condições úmidas).	29
Tabela 2 - Desempenho mecânico na flexão de painéis produzidos à base de diferentes materiais lignocelulósicos.	32
Tabela 3 - Zona de termoneutralidade das matrizes e leitões até o desmame.	44
Tabela 4 - Porcentagem de massa de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu retidas nas peneiras.....	50
Tabela 5 - Parâmetros de granulometria, espessura e dosagem de resina adotada para cada camada na confecção do painel PMBB.	56
Tabela 6 - Descrição do número de corpos de prova e dimensões para caracterização dos ensaios físicos e mecânicos.	60
Tabela 7 - Formulação do filme a base de látex (LS).....	69
Tabela 8 - Formulação do filme de látex (LT).	70
Tabela 9 - Valores médios de temperatura, umidade relativa, precipitação e radiação solar do período de abril a outubro de 2016.....	72
Tabela 10 - Tratamentos experimentais delineados para a análise da condutividade térmica dos painéis PMBB-C (controle sem revestimento), PMBB-B (revestido com breu), PMBB-LS (revestido com látex LS) e PMBB-LT (revestido com látex LT).....	76
Tabela 11 - Tratamentos experimentais delineados para a análise das propriedades físicas (variação dimensional) dos painéis PMBB-C (controle sem revestimento), PMBB-B (revestido com breu), PMBB-LS (revestido com látex LS) nos diferentes tempos de envelhecimento. ..	80
Tabela 12 - Tratamentos experimentais delineados para a análise das propriedades mecânicas dos painéis PMBB-C (controle sem revestimento), PMBB-B (revestido com breu), PMBB-LS (revestido com látex LS) nos diferentes tempos de envelhecimento.....	80
Tabela 13 - Valor médio da densidade real e o teor de umidade do bagaço de cana-de-açúcar e bambu.	98
Tabela 14 - Composição química do bagaço de cana-de-açúcar e do bambu.	98
Tabela 15 - Resultados da densidade, teor de umidade e espessura dos painéis PMBB-M1 (com prensagem entre as camadas) e PMBB-M2 (sem prensagem entre as camadas).	104
Tabela 16 - Resultados das características físicas de inchamento em espessura (IE), variação na área superficial (Δ Área) e no volume (Δ Vol) dos painéis PMBB-M1 (com prensagem entre as camadas) e PMBB-M2 (sem prensagem entre as camadas).....	105

Tabela 17 - Resultados das propriedades mecânicas na flexão estática e adesão interna (AI) dos painéis PMBB-M1 (com prensagem entre as camadas) e PMBB-M2 (sem prensagem entre as camadas).....	107
Tabela 18 - Resultados das propriedades de arrancamento de parafuso de superfície (APs) e topo (APt) e condutividade térmica (k) dos painéis PMBB-M1(com prensagem entre as camadas) e PMBB-M2 (sem prensagem entre as camadas).....	110
Tabela 19 - Resultados da ANOVA para a condutividade térmica.....	126
Tabela 20 - Resultados obtidos pela ANOVA das características físicas.	133
Tabela 21 - Resultados da ANOVA das propriedades mecânicas.....	136
Tabela 22 - Resposta do teste de sensibilidade pelo método de Difusão em ágar: avaliação zona de inibição de crescimento dos filmes de Breu, látex-LS, látex-LT em quatro concentrações.	145
Tabela 23 - Resposta obtida do teste de concentração mínima inibitória dos filmes de Breu com 2,5 mmol.L ⁻¹ e de Látex-LS e Látex-LT sem e com 2,5 mmol.L ⁻¹ de nanopartículas de prata.	147
Tabela 24 - Resultado do teste de inibição do crescimento microbiano em nos painéis PMBB-C, PMBB-LT e PMBB-B.	150
Tabela 25 - Propriedade térmicas do painel PMBB-LT e do compensado e valor médio do atraso térmico calculado (φ).....	153
Tabela 26 - Valores médios e intervalos de confiança das variáveis climáticas: de temperatura ar (T), umidade relativa (UR) e temperatura de globo negro (TGN).	155
Tabela 27 - Valores extremos obtidos pelos modelos de regressão para temperatura (T), umidade relativa (UR) e temperatura de globo negro (TGN).	156
Tabela 28 - Média das temperaturas (°C) de cada quadrante (Q) em cada escamoteador.	157
Tabela 29 - Valores médios de umidade relativa (UR) (%) de cada quadrante (Q) em cada escamoteador.	158
Tabela 30 - Valores médios e intervalo de confiança dos índices de conforto térmico: ITGU, CRT e H.....	160
Tabela 31 - Valores extremos obtidos pelos modelos de regressão para temperatura (T), umidade relativa (UR) e temperatura de globo negro (TGN).	161
Tabela 32 - Valores médios de ITGU de cada quadrante (Q) em cada escamoteador.	162
Tabela 33 - Valores médios de CTR (Wm ⁻²) de cada quadrante (Q) em cada escamoteador.	162

LISTA DE ABREVIACÕES E SIGLAS

2 θ	Ângulo de difração
AA	Absorção de água
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Ag ⁰	Prata metálica
AgNPs	Nanopartículas de prata
AI	Adesão Interna
ANOVA	Análise de variância
ANSI	American National Standard
AP	Arrancamento de parafuso
Aps	Arrancamento de parafuso de superfície
Apt	Arrancamento de parafuso de topo
ASTM	American Society for Testing and Materials
B	Breu
BHI	Brain Heart Infusion (caldo)
c	Calor específico
CE	Camada externa
CI	Camada interna
CTR	Índices de carga térmica radiante
c _v	Calor específico volumétrico
CV	Coefficiente de variação
DRX	Difração de raios-X
DSC	Calorimetria exploratória diferencial
DTG ou dv/dt	Derivada da TG
EDS	Espectroscopia de energia dispersiva
FTIR	Espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier
H	Entalpia
IC	Intervalo de confiança média
IE	Inchamento em espessura
ITGU	Índice de temperatura de globo negro e umidade
k	Condutividade térmica
Látex-LS	Filme látex vulcanizado com enxofre

Látex-LT	Filme látex vulcanizado com enxofre + ativador + acelerado + doador de enxofre + estabilizante
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
Micro-TC	Micro-tomografia computadorizada
MOE	Modulo de elasticidade
MOR	Módulo de ruptura
MPa	Mega Pascal
P _b	Pressão barométrica local
<i>phr</i>	<i>Parts per Hundred Rubber</i>
PMBB	Painéis multicamadas de partículas de bagaço de cana-de-açúcar reforçados com partículas de bambu
PMBB-B	Painel PMBB recoberto com breu
PMBB-C	Painel PMBB controle
PMBB-LS	Painel PMBB recoberto com látex-LS
PMBB-LT	Painel PMBB recoberto com látex-LT
PMBB-M1	Painel PMBB com moldagem 1 - com prensagem nas camadas
PMBB-M2	Painel PMBB com moldagem 2 - sem prensagem nas camadas
pMDI	Diisocianato de metileno difenilo polimérico
PU	Poliuretana
Q	Quadrante
Ra	Médias aritméticas da rugosidade bi-dimensional
Rq	Desvio quadrático médio da rugosidade bi-dimensional
Sa	Médias aritméticas da rugosidade tridimensional
Sq	Desvio quadrático médio da rugosidade tridimensional
TG	Análise termogravimétrica
T _g	Temperatura de globo negro
To	Temperatura de ponto de orvalho
TP	Tração perpendicular às fibras
TRM	Temperatura média radiante
Ts	Temperatura de bulbo seco
UF	Uréia formaldeído
UFC	Unidade formadora de colônias
UR	Umidade relativa

UV -vis	Ultravioleta na região visível
vv	velocidade do vento
ZMDC	zinco metil ditiocarbamato
ζ	Potencial Zeta
λ	Comprimento de onda
ρ	Densidade aparente
φ	Atraso térmico
$\bar{x}$	Valor médio

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA	20
2. OBJETIVO GERAL	22
2.1. Objetivos específicos	22
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	23
3.1. Materiais lignocelulósicos	23
3.1.1. <i>Bagaço de cana-de-açúcar</i>	24
3.1.2. <i>Bambu</i>	25
3.2. Painéis de partículas de madeira	27
3.3. Pannel aglomerado à base de outros materiais lignocelulósicos	30
3.4. Durabilidade dos painéis de partículas	34
3.5. Látex	36
3.6. Breu.....	39
3.7. Nanopartículas de prata: revestimento microbiocida.....	41
3.8. Suinocultura	43
3.8.1. <i>Conforto térmico de suínos</i>	43
4. PLANO DE ESTUDO	46
5. ETAPA 1: ESTUDO DOS PAINÉIS DE MULTICAMADAS.....	48
5.1. Coleta e preparação dos materiais lignocelulósicos	48
5.2. Resina.....	51
5.3. Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar e do bambu.....	51
5.3.1. Caracterização física.....	51
5.3.2. Caracterização química.....	52
5.3.3. Caracterização morfológica.....	52
5.4. Avaliação da interação do material lignocelulósico com a resina	53
5.4.1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	53
5.4.2. Análise de espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).....	53
5.4.3. Caracterização do potencial elétrico.....	53
5.5. Produção dos painéis de multicamadas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu (PMBB).....	55
5.6. Caracterização dos painéis de multicamadas	59
5.6.1. Caracterização físico-mecânica	59

5.6.2.	Caracterização microestrutural	63
5.6.3.	Caracterização de condutividade térmica (k)	64
5.6.4.	Análise estatística	65
6.	ETAPA 2: ESTUDO DO TRATAMENTO SUPERFÍCIAL DOS PAINÉIS	66
6.1.	Materiais para os filmes poliméricos	66
6.2.	Caracterização do Látex e do Breu	67
6.2.1.	Análise térmica	67
6.2.2.	Análise de espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR).....	68
6.3.	Preparação dos filmes poliméricos	68
6.4.	Recobrimento do painel com filme à base de látex e breu	71
6.5.	Envelhecimento natural	71
6.6.	Avaliação do recobrimento e impermeabilização dos painéis com filmes	73
6.6.1.	Análise de microscopia confocal	73
6.6.2.	Avaliação física	74
6.6.3.	Análise estatística	74
6.7.	Efeito do tipo de revestimento nas propriedades térmicas do painel.....	75
6.8.	Avaliação dos painéis de multicamadas com tratamento superficial ao longo do tempo..	77
6.8.1.	Teste de energia de superfície por ângulo de contato.....	77
6.8.2.	Avaliação físico-mecânica.....	78
6.8.3.	Microscópio óptico	79
6.8.4.	Análise estatística	80
7.	ETAPA 3: ESTUDO DA IMPREGNAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA (AgNPs) NOS FILMES.....	81
7.1.	Preparação de AgNPs para o filme à base de breu	81
7.2.	Preparação de AgNPs para o filme com látex	82
7.3.	Caracterização e distribuição de nanopartículas de prata	83
7.3.1.	Espectroscopia UV-Vis	83
7.3.2.	Difratometria de raios-X.....	83
7.3.3.	Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS)	83
7.4.	Avaliação microbiológica	84
7.4.1.	Preparo do meio de cultura	84

7.4.2.	Cultura bacteriana.....	85
7.4.3.	Teste de sensibilidade pelo Método de Difusão em ágar modificado	85
7.4.4.	Método de inibição do crescimento microbiano nos painéis.....	89
8.	ETAPA 4 – APLICAÇÃO DOS PAINÉIS EM INSTALAÇÃO SUINÍCOLA.....	91
8.1.	Atraso térmico.....	91
8.2.	Construção dos escamoteadores	92
8.3.	Avaliação do microclima interno no abrigo escamoteador	93
8.4.	Análise estatística	96
9.	RESULTADOS E DISCUSSÕES DA ETAPA 1	97
9.1.	Caracterização bagaço de cana-de-açúcar e do bambu.....	97
9.2.	Interação: material lignocelulósico e resina poliuretana de óleo de mamona	100
9.3.	Avaliação do tipo de moldagem (PMBB - M1 <i>versus</i> PMBB - M2)	104
9.3.1.	Caracterização físico, mecânica e térmica.....	104
9.3.2.	Caracterização microestrutural	110
9.4.	Considerações parciais da etapa 1.....	114
10.	RESULTADOS E DISCUSSÕES DA ETAPA 2	115
10.1.	Caracterização do Breu	115
10.2.	Caracterização do Látex	117
10.3.	Avaliação do recobrimento e impermeabilização dos painéis com filmes	120
10.3.1.	Análise de microscopia confocal	120
10.3.2.	Avaliação física	123
10.4.	Efeito do tipo de revestimento e da UR nas propriedades térmicas do painel	125
10.5.	Avaliação dos painéis com tratamento superficial após envelhecimento natural	127
10.6.	Considerações parciais da etapa 2	138
11.	RESULTADOS E DISCUSSÕES DA ETAPA 3	140
11.1.	Caracterização e distribuição de nanopartículas de prata.....	140
11.2.	Avaliação microbiológica	144
11.2.1.	Teste de sensibilidade pelo Método de Difusão em ágar modificado	144
11.2.2.	Método de inibição do crescimento microbiano em material higienizado nos painéis revestidos com e sem a solução de prata coloidal.....	149
11.3.	Considerações parciais da etapa 3	151
12.	RESULTADO E DISCUSSÕES DA ETAPA 4	152
12.1.	Atraso térmico	153
12.2.	Avaliação do microclima interno dos escamoteadores	153

12.3.	Índices de conforto térmico.....	159
12.4.	Considerações parciais da etapa 4	163
13.	CONCLUSÕES	163
14.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	165
15.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	165
ANEXO A - TESTE LÁTEX/BREU		184
ANEXO B - FORMA DE RECOBRIMENTO DO PAINEL		185

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

No final do século XX, houve um aumento na conscientização da sociedade no que diz respeito à degradação do meio ambiente, decorrente dos processos de globalização. Com isso, a sustentabilidade vem sendo tema de inúmeras discussões em âmbito mundial.

Diversas são as definições criadas para desenvolvimento sustentável, mas, em princípio, todas seguem a mesma linha do conceito inicial descrito em 1987, na Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (Comissão de *Brundtland*). Tal Comissão definiu o desenvolvimento sustentável como: "*O desenvolvimento que satisfaz as necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem as suas próprias necessidades*" (GLAVIC; LUKMAN, 2007).

Com isso, a utilização de recursos de fontes renováveis tem sido adotada por países desenvolvidos, bem como por países em desenvolvimento. Segundo Glavic e Lukman (2007), recursos renováveis estão disponíveis de forma contínua, ou seja, o fornecimento de matéria-prima e de energia é cíclico em algumas atividades específicas, como por exemplo, a agricultura.

No setor agrícola, o Brasil se destaca por sua excelência e alta produtividade. Contudo, os resíduos gerados neste setor são potencialmente impactantes ao meio ambiente, principalmente quando descartados de forma desordenada, e sem o devido tratamento. Os principais resíduos gerados a partir de fontes agrícolas são: bagaço de cana-de-açúcar, casca de arroz, fibra de juta, casca de coco, haste de algodão, por exemplo (MADURWAR; RALEGOKAR; MANDAVGANE, 2013), como substituição parcial da madeira.

Os impactos associados a estes resíduos decorrem do volume gerado, associado à degradabilidade lenta e geração de substâncias que podem ser tóxicas, cumulativas ou de difícil decomposição (BRASIL, 2012). A reutilização de resíduos agrícolas/lignocelulósicos na construção é uma solução viável, não só pelo decréscimo na poluição, mas também por promover a diminuição nos custos dos materiais de construção (MADURWAR; RALEGOKAR; MANDAVGANE, 2013).

No entanto, nos dias atuais, a madeira é basicamente a matéria-prima mais utilizada para produzir painéis de partículas, fato que vem aumentando a demanda e consequentemente o preço desta matéria-prima (IEA, 2014). Por outro lado, esse aumento da demanda e preços pode impulsionar a busca por matérias-primas alternativas, tais como bagaço de cana-de-açúcar, fibra de sisal, fibra de coco, entre outros.

Segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a previsão para a safra de cana-de-açúcar de 2017/2018 é de 646,4 milhões de toneladas (BRASIL, 2017). Considerando que, para cada tonelada de cana-de-açúcar processada é gerado o montante de 280 kg de bagaço, sendo, aproximadamente 60% deste material destinado à queima para a produção de energia e, o restante é “descartado” (SILVA; GOMES; ALSINA, 2007).

Em vista da grande quantidade de bagaço descartada pelo setor sucroalcooleiro, uma opção viável para agregar valor a esse subproduto da cana-de-açúcar pode ser a sua utilização como uma matéria prima alternativa para a fabricação de painéis de partículas, aglomeradas por resina sintética (BARROS FILHO *et al.*, 2011; BATTISTELLE; MARCILIO; LAHR, 2009; XU *et al.*, 2009; FIORELLI *et al.*, 2011; SARTORI, *et al.* 2012, GARZÓN, *et al.*, 2012; FIORELLI *et al.*, 2013).

De acordo com estudos conduzidos por Belini *et al.* (2014), os painéis de partículas produzidos com bagaço de cana podem ser destinados ao uso industrial, na produção de embalagens, contêineres, móveis, e peças automotivas. Além disso, os autores propõem o uso destes painéis particulados na construção civil, em forros, divisórias, fôrmas e caixas de concreto, paredes internas, entre outros.

Além das aplicações potenciais citadas acima, novos estudos estão sendo realizados buscando novas aplicações desses painéis à base de subprodutos e resíduos da agroindústria em construções e instalações rurais, como, por exemplo, forro em instalações avícolas (CRAVO *et al.* (2014), forros em abrigos para bezerreiro no setor da bovinocultura leiteira (CABRAL *et al.*, 2017) e fechamento lateral em curral de manejo bovino (SARTORI *et al.*, 2012). A aplicação destes painéis em instalações rurais tem apresentado bom desempenho tanto mecânico como térmico (isolante térmico) (CARVALHO, 2012). No entanto, estes painéis apresentam um desafio a superar, no que diz respeito à durabilidade quando expostos em ambientes abertos e/ou, em locais úmidos, devido à degradação biológica, química e física. Alguns autores buscam alternativas comerciais para revestirem a superfície dos painéis, como o *Stain Impregnante* (CRAVO, 2013) e a resina bi componente à base de óleo de mamona (FIORELLI *et al.*, 2011), com o intuito de diminuir a absorção de água e aumentar a estabilidade dimensional, conseqüentemente, aumentar a durabilidade destes painéis.

Neste contexto, uma opção natural e barata é o uso do látex (DALL'ANTONIA *et al.*, 2009), pois apresenta propriedades isolantes de eletricidade, impermeabilidade a líquidos e gases, capacidade de dispersar calor, entre outras propriedades. Hoje ele é aplicado a inúmeros produtos, tais como preservativos, materiais de proteção como luvas, dentre outros. Outra opção natural para aplicação na proteção dos painéis é o breu, uma resina extraída do *Pinus elliottii* e

do *P. tropicalis*, usado na indústria de colagem em papel (BRITO; BARRICHELO; GUTIERREZ, 1980), possuindo as mesmas potencialidades do látex.

O uso de revestimento sobre os painéis possibilita ainda diferentes abordagens além da impermeabilização, como a incorporação de agentes biocidas. Ao longo das últimas décadas, as preocupações globais sobre o risco de infecção bacteriana têm crescido. A este respeito, os revestimentos com atividade antibacteriana oferecem uma abordagem para limitar a propagação de infecções bacterianas em muitas áreas, tais como, hospitais e equipamentos de consultório, instrumentos de fabricação de alimentos. Vários estudos estão sendo desenvolvidos para a introdução da função biocida em materiais de revestimento poliméricos (BAKHSHI, *et al.* 2013). No setor do agronegócio, isso torna-se interessante, principalmente, do ponto de vista da redução de antibióticos na produção animal.

Com base nos dados apresentados, este estudo visa avaliar fontes alternativas aos materiais convencionais para revestir a superfície dos painéis com caráter funcional, com o intuito de aumentar a estabilidade dimensional, a durabilidade e a preservação contra agentes biológicos nos painéis, tornando assim sua aplicação na indústria agropecuária uma opção ecológica e econômica para o produtor rural.

2. OBJETIVO GERAL

Este projeto tem como objetivo o estudo do recobrimento superficial de filmes a base de polímeros naturais de látex e breu, com microbicida de prata em painéis multicamadas de bagaço de cana-de-açúcar reforçados com partículas de bambu (PMBB), visando seu uso como material isolante térmico em instalação agroindustrial, sujeito a ambientes úmidos e com grande carga bacteriana.

2.1. Objetivos específicos

A. Avaliar painéis multicamadas de partículas de bagaço de cana-de-açúcar reforçados com partículas de bambu (PMBB) produzidos com dois processos de moldagem:

M1, com prensagem entre as camadas e M2, sem prensagens entre as camadas, por meio das caracterizações físicas, mecânicas, térmicas e microestruturais.

B. Desenvolver e avaliar filmes poliméricos a base de látex ou breu, através das caracterizações térmicas (TG/DSC) e químicas (FTIR) e avaliar o potencial desses filmes como revestimento superficial nos painéis multicamadas PMBB, por meio das propriedades físicas, mecânicas, térmica e microestrutural. E avaliar a durabilidade dos painéis PMBB com e sem recobrimento superficial por meio do envelhecimento natural em bancada em campo por 3 e 6 meses.

C. Produzir os filmes poliméricos de látex e breu com nanopartículas de prata e avaliar o efeito antimicrobiano desses filmes poliméricos, por meio do teste de sensibilidade, utilizando o método de difusão em ágar e o teste de concentração mínima inibitória. E avaliar o efeito dos filmes aplicados sobre os painéis, através do método de inibição do crescimento microbiano em material higienizado.

D. Avaliar o potencial do painel PMBB na instalação de suínos como material isolante térmico para confecção de abrigos/escamoteadores para leitões por meio da avaliação do microclima interno dos escamoteadores aquecido por lâmpada incandescente e dos índices de conforto térmico para os leitões na primeira semana de vida.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Materiais lignocelulósicos

Considerando as potencialidades do Brasil, em relação à grande quantidade de resíduos agroindustriais gerados e às riquezas em diversas fontes renováveis, será realizada uma revisão das duas fontes de matéria-prima utilizadas neste trabalho, o bagaço de cana-de-açúcar, um subproduto gerado em grandes proporções, e o bambu, uma fonte renovável com grande potencial para usos em diversos produtos.

3.1.1. Bagaço de cana-de-açúcar

O bagaço de cana-de-açúcar é o subproduto fibroso lignocelulósico extraído do colmo da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) durante o processamento para obtenção do açúcar ou etanol nas indústrias sucroalcooleiras.

O bagaço apresenta as seguintes características morfológicas: 50% de fibra, 30% de tecidos parenquimatosos e 20% de vasos e epiderme (CARVALHO, 2012; BATTISTELLE; MARCILIO; LAHR, 2009), como ilustrado na Figura 1. Enquanto a composição química apresenta valores (% base seca) de 42,8% de celulose, 25,8% de hemicelulose e 22,1% de lignina, sendo a quantidade de cinzas totais 1,4% e de extrativos de 6,1%. (GOUVEIA *et al.*, 2009).

Figura 1 - Imagens da estrutura do bagaço de cana-de-açúcar, apresentando: A) Detalhe da epiderme e camadas adjacentes, 2) Detalhe do feixe vascular, 3) Corte transversal do feixe vascular da partícula de bagaço.

Fonte imagens A e B: SANTOS, A. B.; ALEXANDRA BOTTCHER, A.; RENATO VICENTINI, R.; MAYER, J. L. S.; KIYOTA, E.; LANDELL, M. A. G.; CRESTE, S.; MAZZAFERA P. Lignin biosynthesis in sugarcane is affected by low temperature. **Environmental and Experimental Botany**, v.120, p.31–42, 2015.

Fonte imagem C: Própria autoria.

Apesar de historicamente a cultura da cana-de-açúcar apresentar panorama de crescimento, os últimos anos não vem apresentando o crescimento esperado. Segundo a CONAB, a previsão para a safra de 2017/2018, é de 646,4 milhões de toneladas (t), sendo 1,7% menor em relação à safra passada. Essa redução se deve aos problemas climáticos que afetaram as principais regiões produtoras, a redução da área de plantio e as devoluções de áreas arrendadas. A estimativa da área de cana-de-açúcar destinada à produção da safra 2017/18 de 8766,5 mil hectares (ha), é 3,1% menor em relação à safra passada (BRASIL, 2017).

O bagaço de cana em potencial é o subproduto mais promissor gerado pelas atividades agroindustriais no país, uma vez que, devido ao clima brasileiro, com chuvas no verão e inverno seco, propicia ótimas condições para o cultivo desta cultura. No entanto, apesar do Brasil ser o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, o país ainda não utiliza o resíduo do bagaço na produção de painéis aglomerados em escala industrial (CARVALHO, 2012).

Por outro lado, é reconhecida a importante e crescente utilização do bagaço de cana-de-açúcar na matriz energética nacional, contudo, este destino agrega baixo valor ao subproduto. Assim, o desenvolvimento de pesquisas científicas que visem estudar o potencial tecnológico de aplicação do bagaço de cana-de-açúcar na manufatura de materiais compósitos, com o desenvolvimento de um produto de maior valor agregado, valorizando a utilização do recurso fibroso e minimizando, por consequência a demanda por madeira, é de grande valia (BELINI, 2012).

3.1.2. Bambu

O bambu pertence à família *Gramineae* e tem cerca de 90 gêneros com mais de 1200 espécies. A planta é adaptável aos mais diferentes climas e solos, além de sobreviver e se recuperar rapidamente após qualquer tipo de dano. Segundo a *Food and Agriculture Organization* (FAO), a ocupação global das diferentes espécies de bambu, em 2005, estava em torno de 36 milhões de ha, correspondendo a 2,1% das florestas mundiais, sendo a Ásia a detentora da maior concentração, com 24 milhões ha e o Brasil com 447.698 ha (FAO, 2007).

Os principais constituintes químicos do bambu são celulose (60-70%), pentosana (20-25%), hemicelulose e lignina (20-30%) e, em minoria, constituintes como resinas, tanino e sais inorgânicos (CORREIA, 2011).

O bambu é uma espécie de crescimento rápido e um recurso renovável de alto rendimento, entretanto, o crescimento pode variar de acordo com a espécie. A característica do rápido crescimento do bambu é um importante incentivo para a sua utilização, podendo atingir sua altura máxima em 4 a 6 meses com um aumento diário de 15 a 18 cm. Até o final do crescimento em altura, a espessura e o volume do caule do bambu não sofrem alterações. Consequentemente, o processo de maturidade começa. Neste período, há o engrossamento da parede celular, o aumento da massa específica, a diminuição do teor de umidade e o aumento nas propriedades físicas e mecânicas (CHAOWANA, 2013). As características mecânicas do bambu são influenciadas, sobretudo, pelos seguintes fatores: espécie, idade, tipo de solo, condições climáticas, época de colheita, teor de umidade das amostras (GHAVAMI; MARINHO, 2005).

Morfologicamente, o bambu é constituído de tecido parenquimatoso (matriz lenhosa), vaso (elemento crivado com células companheiras e os cordões de esclerênquima – feixes fibrovasculares) e fibras (AIPING *et al.*, 2012; MARINHO; NISGOSKI; MUÑIZ, 2014, COSTA *et al.*, 2017), como esquematizado na Figura 2.

Figura 2 - Seção transversal do colmo de bambu.

Fonte: CHAOWANA, P. Bamboo: An alternative raw material for wood and wood-based composites. **Journal of Materials Science Research**, v. 2, n. 2, p 90-102, 2013.

A proporção de fibra e parênquima varia conforme a idade do bambu, entre dois e três anos o bambu apresenta maior porção do tecido parenquimático, a partir dos três anos (estágio

de maturação), há um declínio da porcentagem de tecido parenquimático ocorrendo também uma variação mínima no percentual de fibras (MARINHO; NIGOSKI; MUÑIZ, 2014).

O bambu é considerado uma alternativa sustentável quando comparado aos materiais tradicionais da construção, tais como o concreto, o aço e a madeira (AIPING; DONGSHENG; HAITAO, 2012). O bambu é largamente utilizado como material de construção em diversos países, principalmente devido às boas características físicas, bem como sua forma geométrica peculiar, seu baixo custo e a facilidade para a sua obtenção (BERALDO; RIVERO, 2003). Apresenta ainda grande versatilidade de usos aplicados na construção civil, como a produção de lâminas para a confecção dos laminados colados, que apresenta vantagem de não estar limitada à forma e ao tamanho do colmo (CORREAL *et al.*, 2014; RAMAGE *et al.*, 2017), e, a produção de fibras e partículas como material de reforço em matrizes orgânicas e inorgânicas (QIAN *et al.*, 2015; CORRÊA *et al.*, 2015; LI; ZHOU; GUO, 2017). Neste presente trabalho, foi utilizado o bambu processado na forma de partículas como reforço.

Diversos trabalhos têm demonstrado que o uso de partículas de bambu em compósitos tem representado uma melhora do desempenho mecânico. Qian *et al.* (2015), estudaram partículas de bambu com tratamento hidrotérmico como reforço em PVC. O tratamento a 180°C proporcionou melhor aderência das partículas de bambu com o PVC, refletindo na melhora do desempenho mecânico do material, resultando em valores de resistência a tração de 15,3 MPa, módulo de ruptura de 39,5 MPa e módulo de elasticidade de 6,7 GPa, comparando ao PVC sem uso de reforço que apresentou valores de resistência a tração de 8,0 MPa, módulo de ruptura de 19,5 MPa e módulo de elasticidade de 2,7 GPa.

A aplicação de partículas de bambu (6% em massa) em adobes apresentou melhora no desempenho mecânico na propriedade de compressão, apresentando valor médio de 0,96 MPa, comparado ao adobe sem reforço o valor foi de 0,6 MPa. E o uso das partículas de bambu associadas a “*Synthetic termite saliva*” com $\text{Al}_2(\text{SO}_4)$ melhoraram o desempenho físico de absorção, reduziu o encolhimento linear e perda de massa dos adobes expostos à água (CORRÊA *et al.*, 2015).

3.2. Painéis de partículas de madeira

Os painéis de partículas homogêneas surgiram na Alemanha durante a década de 1940, produzidos com partículas provenientes de resíduos de madeira, frente às dificuldades para a

obtenção de madeiras com boa qualidade para a laminação, durante a Segunda Guerra Mundial, visto que a Alemanha se encontrava isolada durante este período (SANTOS *et al.* 2013; IWAKIRI, 2005). No Brasil, a primeira indústria de painéis de partículas homogêneas foi instalada em 1966, em Curitiba (IWAKIRI *et al.*, 2001).

Segundo a norma ABNT NBR-14810 (2013), chapas de madeira aglomeradas, estes materiais são definidos como: "*Produto em forma de painel, variando de 3 mm a 50 mm de espessura, constituído por partículas de madeira aglomeradas com resinas naturais ou sintéticas, termofixas, sob a ação de pressão e calor*".

Em 1990, o painel de partícula passou a ser substituído pelo MDP (*Medium density particleboard*), que segundo Silva *et al.* (2013), trata-se do painel de madeira reconstituída tido como a versão melhorada do painel de partícula homogêneas. Na sua espessura apresentam três camadas (uma interna e duas externas) com diferentes tamanhos de partícula.

Os painéis de partículas homogêneas ou MDP possuem múltiplas aplicações, as quais se destacam o uso no setor mobiliário e divisórias na construção civil, de forma secundária (IWAKIRI *et al.*, 2001). Segundo Nascimento (2003), utiliza-se para a produção dos painéis: material florestal proveniente de desbaste e poda; resíduos industriais grosseiros (sobras de destopo, miolo de toras laminadas); resíduos industriais finos (pó de serra e cavacos de plaina); cavacos de madeira do beneficiamento de indústria de móveis e carpintaria.

As madeiras mais utilizadas no Brasil para a produção de painéis de partículas são o *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, provenientes de reflorestamento, e, em menor escala algumas espécies de eucalipto.

Segundo a *Food and Agriculture Organization* (FAO), em 2013, o maior consumidor e produtor de painéis foi a China (160 milhões de m³), seguida pelos Estados Unidos (40 milhões de m³). O Brasil ocupou a quinta posição como consumidor, tendo seu consumo aumentado de 7 milhões de m³ em 2009 para 10 milhões de m³ em 2013 (FAO, 2014).

A norma ABNT NBR-14810 (2013) fornece para painéis de partículas de média densidade requisitos mínimos de desempenho mecânico e inchamento de acordo com as condições de utilização:

- Tipo P2 - Painéis não estruturais para uso interno em condições secas; e
- Tipo P3 painéis não estruturais para uso em condições úmidas, os requisitos variam de acordo com a espessura do painel;

Os valores mínimos estabelecidos pela norma estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Requisitos para propriedades mecânicas e inchamento para painéis não estruturais tipo P2 (condições secas) e P3 (condições úmidas).

Propriedades	Tipo	Requisitos, por faixa de espessura nominal (mm)								
		< 3	3 a 4	> 4 a 6	> 6 a 13	> 13 a 20	> 20 a 25	> 25 a 32	> 32 a 40	> 40
Inchamento durante 24 h (%)	P2	26	24	21	18	18	15	15	14	14
	P3	25	23	20	17	14	13	13	12	12
Resistência à tração perpendicular (N/mm ²)	P2	0,45	0,45	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25	0,20	0,20
	P3	0,50	0,50	0,50	0,45	0,45	0,40	0,35	0,30	0,25
Resistência à flexão estática (N/mm ²)	P2	13	13	12	11	11	10,5	9,5	8,5	7
	P3	13	13	14	15	14	12	11	9	8
Módulo de elasticidade (N/mm ²)	P2	1800	1800	1950	1800	1600	1500	1350	1200	1050
	P3	1800	1800	1950	2050	1950	1850	1700	1550	1350

Fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, Rio de Janeiro. **NBR 14810** - Painéis de partículas de média densidade. Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 69p., 2013.

As propriedades dos painéis de partículas são influenciadas tanto pelas características da matéria prima, como pela densidade da madeira, forma, geometria da partícula (comprimento, largura), e parâmetros de prensagem (velocidade de prensagem, pressão, temperatura e umidade) (XU, 1994).

A densidade da madeira tem relação direta com o grau de densificação do material, o qual é definido pela razão de compactação, que é a relação entre a massa específica do painel e da madeira utilizada. Sendo que a baixa massa específica da madeira é um dos principais requisitos quanto à adaptabilidade de uma espécie para a produção dos painéis de partícula.

A razão de compactação adequada está na faixa de 1,3 a 1,6. Valores de taxa de compactação acima de 1,6 podem melhorar as propriedades de resistência mecânica, contudo o inchamento em espessura apresentará maiores valores, devido à maior taxa de compressão durante a prensagem (IWAKIRI *et al.*, 2001).

A geometria das partículas tem relação direta com o índice de esbeltez, a razão de planicidade e a área superficial específica (MALONEY *et al.*, 1976 *apud* TRIANOSKI, 2010). O índice de esbeltez, é definido como a relação entre o comprimento e a espessura das partículas, tal fator exerce influência sobre a área de contato entre as partículas, as propriedades

mecânicas, o consumo de resina, a qualidade de acabamento e a usinabilidade do painel (IWAKIRI *et al.*, 2005). De acordo com Geimer, Montrey e Lehmann (1975), o desempenho mecânico à flexão dos painéis de partícula melhora diretamente com o comprimento das partículas e é inversamente proporcional à sua espessura.

Além das questões mencionadas acima, um outro ponto é a interação dos materiais (madeira ou qualquer outro material lignocelulósico) com o adesivo utilizado (resinas: ureia formaldeído, formolformaldeído, poliuretana, por exemplo).

Segundo Devries e Adams (2002), há diferentes mecanismos de aderência de um material a outro que são influenciadas por uma variedade de fatores, dentre esses diversos mecanismos os autores elencam seis mecanismos mais aceitos para a aderência entre os materiais lignocelulósicos e a resina:

- 1) Ligação mecânica, esse fenômeno físico está relacionado com a rugosidade da superfície da partícula que favorece ou não a aderência do adesivo sobre a partícula.
- 2) Difusão do adesivo, baseia-se na penetração do adesivo nas partículas, esse fenômeno está atrelado às características de viscosidade do adesivo.
- 3) Mecanismos de absorção, está relacionado às forças intermoleculares secundárias, ou seja, as moléculas próximas da interface são atraídas entre si pelas forças de London, interação dipolo-dipolo, ligações de hidrogênio ou outras forças moleculares secundárias.
- 4) Adesão química, reações químicas entre o adesivo e as partículas.
- 5) Forças eletrostática, pressupõe-se que os elétrons dentro do adesivo e das partículas ocupem diferentes níveis de energia e a transferência ocorra por toda a superfície, gerando cargas opostas, e como consequência ocorre a atração entre eles.
- 6) Reação ácido-base, esta teoria é baseada no conceito de ácido de Lewis, doador-receptor de elétrons.

3.3. Painel aglomerado à base de outros materiais lignocelulósicos

Nos últimos anos, a demanda por madeira pela indústria florestal tem aumentado. Devido a isto, a procura por matérias primas alternativas para a substituição da madeira por

outros materiais, sem perder as propriedades do produto, é cada vez maior (NASCIMENTO, 2003).

O volume de resíduos gerados pela agroindústria brasileira, com potencial para se tornarem subprodutos, tem mostrado ser uma alternativa para atender a necessidade de matéria-prima do setor de painéis de partículas, sendo possível identificar diversos “resíduos” lignocelulósicos com potencialidades para esse uso (SARTORI, 2012). Além disso, o aproveitamento dos “resíduos” agroindustriais proporciona benefícios ambientais e socioeconômicos.

O uso de “resíduos” lignocelulósicos como: a palha de arroz (LI *et al.*, 2010), o bambu (JOSÉ, 2006; CHAOWANA, 2013; BATTISTELLE, MARCILIO; LAHR, 2009), a palma betel (LIN *et al.* 2008), a espiga de milho (PAIVA *et al.* 2012), a fibra de coco verde (FIORELLI *et al.*, 2012), o bagaço de cana-de-açúcar (CARVALHO 2012; XU *et al.*, 2009; BARROS FILHO *et al.*, 2011; FIORELLI *et al.*, 2013), entre outros, em substituição à madeira se torna viável, pois apresentam composição química semelhante à madeira (ROWELL; HAN; ROWELL, 2000).

Para avaliar a viabilidade do uso destes novos painéis à base “resíduos” lignocelulósicos, foram elencados alguns resultados obtidos de estudos de painéis utilizando diferentes materiais, apresentados na Tabela 2.

O uso de diferentes materiais lignocelulósicos considerados resíduos tem apresentado bons resultados mecânicos, equiparando-se, ou até mesmo, ultrapassando o convencional produzido de madeira. Isto é um bom indicativo para o setor de painéis, contudo, há ainda uma falta muito grande de padronização destes materiais, assim como para seu processamento, ou seja, a qualidade do subproduto. Além disso, as morfologias desses materiais são, muitas vezes, distintas umas das outras, afetando o resultado final dos painéis.

Tabela 2 - Desempenho mecânico na flexão de painéis produzidos à base de diferentes materiais lignocelulósicos.

Material	Adesivo	Densidade (g/cm ³)	MOR (MPa)	MOE (MPa)	
Bagaço	12% UF	0,56	9,8	1167	Battistelle, Marcilio e Lahr (2009)
25% Bagaço + 75% Folha caulinar de bambu	12% UF	0,61	9,3	1028	
Palha de arroz (partícula 1,9–25 mm)	4% pMDI	0,67 –	8,6 –	1548 –	Li <i>et al.</i> (2010)
		0,75	22,19	2911	
Palma betel	6% UF	0,7	12,7	1800	Lin <i>et al.</i> (2008)
	8% UF	0,7	13,8	1910	
	10% UF	0,7	14,8	2180	
Bagaço de cana-de- açúcar – 5mm	PU mamona	0,8	21,2	2570	Fiorelli <i>et al.</i> (2013)
Bagaço de cana-de- açúcar – 8mm	PU mamona	0,9	22,6	2850	
Bagaço	3% pMDI	0,85	16,0	2640	Xu <i>et al.</i> (2009)
	3% pMDI + 3,7% parafina	0,85	26,2	3430	
	5% pMDI	0,85	23,1	3350	
	5% pMDI + 3,7% parafina	0,85	25,4	3190	
Fibra de coco verde	PU mamona	0,8	17,0	1405	Fiorelli <i>et al.</i> (2012)
	PU mamona	1,0	17,9	1396	
	UF	1,0	15,8	2041	

UF = Uréia formaldeído, PU mamona = poliuretana a base de óleo de mamona, pMDI = diisocianato de metileno difenilo polimérico, MOR = módulo de ruptura, MOE = módulo de elasticidade

Fonte: própria autoria.

A maioria dos trabalhos de pesquisas encontrados na literatura estarem relacionados ao estudo de painéis particulados compostos de apenas uma camada (painel de partícula homogênea), diferentemente dos painéis produzidos pela indústria, que normalmente são produzidos com 3 camadas (duas camadas externas – CE e uma camada interna – CI) e

apresentam aspectos morfológicos e quantidade de aditivos distintas para cada camada do painel.

Uma vantagem na manufatura de painéis em camadas é a possibilidade da inserção de materiais de reforço, possibilitando a fabricação de painéis com densidades inferiores (ou mais leves), com propriedades físico-mecânicas superiores aos painéis convencionais de partículas de madeira (BELINI *et al.*, 2014).

Como, por exemplo, pode ser citado o uso de partículas de bambu na camada interna em painéis multicamadas de bagaço de cana-de-açúcar de baixa densidade como reforço mecânico. O uso de partículas de bambu como reforço apresentou um acréscimo na resistência à tração perpendicular e diminuição no inchamento em espessura (IE) após duas horas quando comparado ao painel multicamada de bagaço de cana-de-açúcar sem reforço. Portanto, além do aumento na resistência mecânica, os painéis multicamadas apresentavam maior estabilidade dimensional (BELINI *et al.*, 2014).

Os painéis com baixa densidade apresentam ainda potencial como material com características de isolante térmico. Existe uma relação linear entre a densidade dos painéis com a condutividade térmica independente da matéria prima utilizada, ou seja, quanto maior a densidade do painel, maior será a condutividade térmica e menos isolante será o material (SAMPATHRAJAN *et al.*, 1991). Desse modo, para painéis de baixa densidade a condutividade térmica é menor, em razão dos painéis conterem maior número de espaços vazios preenchidos com ar na microestrutura, que é um meio de baixa condução de calor (XU *et al.*, 2004)

Carvalho (2012) avaliou o potencial do painel de bagaço de cana-de-açúcar como material isolante e concluiu que, por causa da baixa densidade, o material apresentou valores aceitáveis para a condutividade térmica, podendo ser utilizado em subcoberturas, regularização de pisos, entre paredes duplas, preenchimento de pisos elevados e divisórias, promovendo a inércia térmica no ambiente.

Alguns estudos foram desenvolvidos com o intuito de aplicar estes painéis em edificações rurais devido as boas propriedades mecânicas e térmicas. Sartori *et al.* (2012) desenvolveram um painel modular possuindo estrutura de madeira de reflorestamento recoberta com painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar produzidos com resina poliuretana bi componente à base de óleo de mamona denominado como painel modular, com intuito em aplicá-lo como fechamento lateral em tronco coletivo, para centro de manejos de bovinos.

Na avaliação dos painéis de partículas de bagaço de cana de açúcar produzidos com densidade 1,0 g/cm³, os resultados mecânicos de MOR (22,60 MPa), MOE (2,9 GPa) e tração

perpendicular à fibra (1,18 MPa) atingiram o mínimo exigido pela norma ANSI A208.1:2009. Na avaliação do painel modular, foi realizado o ensaio de corpo mole, que consiste em determinar a resistência dos painéis aos impactos, neste caso a simulação do impacto do animal na lateral do tronco coletivo, e os autores observaram que o painel modular apresentou deslocamentos horizontais aceitáveis, indicando que o material tem potencial para ser utilizado em centro de manejo (SARTORI *et al.* 2012)

Cravo *et al.* (2014) estudaram a viabilidade dos painéis de partículas de baixa densidade à base de casca de amendoim e fibra do coco verde, com resina poliuretana à base de óleo de mamona, como material isolante térmico para forro em instalação avícola. O painel apresentou valores de condutividade térmica de 0,29 W/mK e por meio de simulação matemática em instalação avícola e puderam concluir que o uso do painel como forro possibilitou a redução da radiação solar para o ambiente interno, comparado à instalação sem o painel, proporcionando um ambiente com temperaturas menores.

Apesar de todos os aspectos positivos apresentados, os painéis de partículas ou multicamadas podem se deparar com deficiências quando expostos em ambientes abertos e/ou, em locais úmidos, e apresentam um grande desafio quanto a sua durabilidade, devido à degradação biológica, química e física.

3.4. Durabilidade dos painéis de partículas

O Conselho Brasileiro de Construção Sustentável - CBCS, criado em 2007, define a durabilidade como: *"...produto da interação entre o material e o microambiente específico propiciado pelo clima e detalhes de projeto..."* (CBCS, 2009). A durabilidade pode também ser interpretada pela vida operacional de um conjunto de componentes (JOHN *et al.*, 2001), sendo vida operacional o período de tempo durante o qual o material apresenta desempenho adequado (CBCS, 2009).

No caso de materiais lignocelulósicos, a presença de umidade juntamente com temperatura, pH e oxigênio influenciam na capacidade dos microrganismos se proliferarem (ZABEL; MORRELL, 1992). A presença dos fatores mencionados acima promove a deterioração do material lignoceluloso, diminuindo, portanto, sua durabilidade.

A degradação pode ser definida como um processo biológico, químico ou físico, que resulta no decréscimo das propriedades iniciais dos materiais (GLAVIC; LUKMAN, 2007).

John *et al.* (2001) retrataram que a durabilidade não é uma característica intrínseca do material, logo, alterações no projeto podem proporcionar maior proteção ao material contra os fatores de degradação, como, por exemplo, o uso de revestimentos para diminuir contato direto com a umidade.

Garzón *et al.* (2012) avaliaram o desempenho físico e mecânico dos painéis de partículas de bagaço cana-de-açúcar e resina à base de óleo de mamona, submetidos ao teste de envelhecimento acelerado. Os autores observaram que o desempenho mecânico na flexão e adesão interna piorou após o envelhecimento acelerado com base na norma ASTM D 1037, apresentando valores iniciais de adesão interna, MOE e MOR, respectivamente de 1,18 MPa, 2,77 GPa e 21,8 MPa e após o envelhecimento apresentaram valores, respectivamente, de 0,1 MPa, 0,5 GPa e 6,2 MPa.

Sartori (2012) observou, para painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resina poliuretana à base de óleo de mamona, que, após seis meses de envelhecimento natural, os painéis sem nenhum revestimento apresentaram visualmente delaminação e deformação. Por outro lado, os painéis com aplicação da resina poliuretana à base de óleo de mamona na superfície não apresentaram delaminação e nem deformação. O pesquisador ainda afirmou que os painéis sem revestimento tiveram piores desempenho mecânico, quando comparados aos painéis com revestimento, apresentando propriedade de modulo de ruptura de 6,1 e 17,1 MPa, respectivamente, após envelhecimento natural.

Fiorelli *et al.* (2011) utilizaram a resina bi componente à base de óleo de mamona como revestimento superficial dos painéis, e observaram que a aplicação da resina representou um importante elemento como impermeabilizante, diminuindo a capacidade de absorção e inchamento dos painéis.

Neste contexto, uma alternativa natural e barata é o uso do látex da seringueira (*Hevea brasiliensis*) (DALL'ANTONIA *et al* 2009), que hoje se aplica a inúmeros produtos, tais como, preservativos, materiais de proteção como luvas, dentre outros e cujo preço no mercado

Na mesma linha de raciocínio, o breu é uma resina extraída do *Pinus elliottii* e o *P. tropicalis*, sendo usado como impermeabilizante na indústria odontológica (SPANÓ; BARBIN; PÉCORA. 1993) e com as mesmas potencialidades do látex.

3.5. Látex

O látex é um polímero natural, obtido a partir da árvore da espécie *Hevea brasiliensis*. A *H. brasiliensis*, originária da região setentrional da América do Sul, é uma árvore com cerca de 10 a 15 m de altura, tronco retilíneo, com diâmetro aproximado de 30 cm (ARAUJO, 1993). O Brasil, mesmo sendo o berço do gênero *Hevea*, continua sendo um país importador de borracha natural. Segundo estimativas do *International Rubber Study Group* (IRSG, 2015), em 2014, para um consumo de 413,30 mil toneladas, foram importadas 228,4 mil toneladas de borracha natural.

O látex pode ser definido como uma dispersão coloidal estável de uma substância polimérica num meio essencialmente aquoso. Portanto, o látex é considerado como um hidrossol, com a particularidade de apresentar a fase dispersa, de natureza polimérica, com maior caráter hidrofóbico (ARAUJO, 1993).

O látex é um material estratégico, pois não é substituído por borrachas sintéticas em muitas aplicações. Isto se deve a dois fatores: (a) suas propriedades: mecânicas (resiliência; elasticidade; resistência ao impacto e trabalhabilidade), elétricas (material não condutor), químicas (resistente a corrosão; impermeável a líquidos e gases) e térmicas (capacidade de dispersar calor); e (b) relação de preço *versus* desempenho das borrachas sintéticas que se equiparem à borracha natural (RIPPEL; BRAGANÇA, 2009).

Devido às suas propriedades, o látex é um material importante na produção de diversos produtos tais como: pneus, elementos de suspensão e para-choques, produtos leves, como, balões, luvas cirúrgicas, preservativos, argamassas para construção civil (WANG *et al.*, 2016; LEE *et al.*, 2016), indústria aeronáutica e naval, além de elementos utilizados na medicina (biomateriais), compósitos condutores e materiais de alta precisão como válvulas e retentores (AGOSTINI, 2009; AGOSTINI; CONSTANTINI; JOB 2008).

Novas aplicações estão sendo consideradas, tais como, Mendes *et al.* (2012), que avaliaram a condutividade térmica de compósitos de fibra de coco, utilizando o látex como matriz polimérica e obtiveram valores de 0,042 W/mK para a condutividade térmica a 40°C, classificando o material como isolante térmico. Tal desempenho mostra a potencialidade do látex como isolante térmico, fato também observado por Ford, Mendes e Nascimento (2010), após realizarem o estudo da condutividade térmica dos compósitos à base de raspa de pneu e látex.

O látex *in natura* após a extração da árvore, apresenta, em média, a seguinte composição: 64% de água, 36% de sólidos totais, sendo esses sólidos totais constituídos em média de: 33% de borracha seca, 1,3% de substâncias proteicas, 1,8% de substâncias resinosas, 1% de açúcares e cinzas sempre menores que 1%. Apresenta também pH na faixa de 6,0 a 7,0, densidade de 0,975 e 0,980 g/cm³ e viscosidade variável. O glóbulo de borracha apresenta a forma aproximadamente esférica, revestido por uma película proteica de natureza anfótera que lhe confere cargas elétricas negativas, quando o meio é alcalino ou levemente ácido e, cargas elétricas positivas, quando o meio é ácido (CALVI, 1990, AGOSTINI, 2009).

O látex é um polímero de poli (cis 1,4-isopreno) e apresenta na segunda e terceira unidade isoprênica a configuração *trans*, seguida de repetitivos grupos na configuração *cis*, permitindo intercruzamento durante o processo de vulcanização (BEILEN, POIRIER, 2007). Segundo Puskas *et al.* (2006), os grupos terminais de látex podem ser -CH₂OH ou ésteres de ácidos graxos (Figura 3). O alto teor de unidades 1,4-*cis* confere ao produto excelentes propriedades termo-físico-mecânicas, tais como, alta resistência à abrasão, baixo desenvolvimento de calor, baixa resistência ao rolamento, maior resistência à tensão, alta resistência à fadiga, baixa histerese e alta resistência à fratura (NUNES; COUTINHO; MELLO, 2005).

Figura 3 - Estrutura química do látex.

Fonte: Adaptado de PUSKAS, J. E.; GAUTRIAUD, E.; DEFFIEUX, A.; KENNEDY, J. P. Natural rubber biosynthesis—A living carbocationic polymerization?. **Prog. Polym. Sci.**, v.31, p.533–548, 2006.

O processo de vulcanização do látex é químico, que ocorre basicamente, por meio de temperatura e pela adição de enxofre ao látex. Neste processo, ocorre a formação de pontes de enxofre entre as cadeias poli-isoprênicas do látex, formando uma estrutura tridimensional, o enxofre atua como agente de reticulação, como apresentado na Figura 4, (PIEROZAN, 2007), que proporciona aumento da elasticidade, melhora a resistência mecânica e reduz a sensibilidade à variação de temperatura.

Figura 4 - Esquema do processo de vulcanização do látex.

Além do enxofre, existem outros produtos utilizados na indústria da borracha, para a preparação do látex, que atuam da mesma forma ou melhor que o enxofre; são os doadores de enxofre, ou seja, atuam como agente de cura, por fazer interligações com o enxofre e as macromoléculas do látex. Um exemplo é o zinco metil ditiocarbamato (ZMDC), este atua também como superacelerador. O ZMDC também melhora a resistência térmica, tornando-o mais resistente à degradação térmica, pois diminui as ligações polissulfídicas que são facilmente degradadas quando aquecidas e que, portanto, também agem como estabilizantes térmicos (GRISON, BECKER e SARTORI, 2010).

Juntamente com os doadores de enxofre são utilizados aditivos para ativação do processo de vulcanização, como é o caso do óxido de zinco, que melhoram a sinergia do sistema acelerador e o processo de vulcanização. O óxido de zinco atua também como branqueador óptico, conferindo a colocação branca ao material por diminuir a absorção da radiação no comprimento de onda da luz, este efeito ajuda na preservação do material quando exposto a radiação solar, além de apresenta caráter microbiocida (PIEROZAN, 2007; GRISON, BECKER e SARTORI, 2010).

Alguns produtos amínicos, fenólicos ou fosfitos ainda são utilizados como substâncias que atuam como antioxidantes. O uso de estearato de sódio ou detergente catiônico proporciona caráter antiestático, trióxido de antimônio (Sb₂O₃) combinado com alumina hidratada proporciona ao látex caráter antichama, entre outros elementos utilizados como aromatizantes e estabilizantes térmicos, por exemplo (GRISON, BECKER e SARTORI, 2010).

3.6. Breu

O breu ou colofônio, segundo a Farmacopeia do Brasil (1959), é a parte sólida da destilação por fusão e filtração da terebintina extraída da goma-resina de várias espécies de pinheiros, principalmente do *P. Palustris* Miller, do *P. Elliotti* Engelm e do *P. Pinaster* Solander, também chamado de breu de goma (*gum-rosin*).

Além do “*gum rosin*”, existem mais dois tipos de breu obtidos de diferentes processos: o “*wood rosin*” e o “*tall rosin*”. O “*wood rosin*” é obtido a partir do resíduo de *Pinus* (tocos e galhos) por meio da extração com solventes sob alta temperatura e pressão. O “*tall rosin*” é derivada da polpação química de madeiras de *Pinus*.

Segundo a Associação dos Resinadores do Brasil (ARESB) a estimativa de produção nacional de goma-resina de *pinus* na safra 2014/2015 é de 124 mil ton, comparando com o ano de 2003 (90 mil ton), houve um aumento na produção brasileira de 37%.

A goma-resina (*gum resin*) é um produto amorfo com natureza química complexa. Os produtos obtidos após a destilação são: 15 - 30% de terebentina e 60 - 85% de breu. A terebentina é uma mistura de isômeros na forma de hidrocarbonetos monoterpênicos cíclicos insaturados, $C_{10}H_{16}$, onde o constituinte predominante, na maioria das vezes, é o α -pineno, seguido pelo seu isômero β -pineno, utilizada como solvente de tintas e vernizes, na canfora sintética e na produção de óleos essenciais sintéticos (KOLICHESKI, 2006).

O breu é composto de ácidos resínicos, que são ácidos monocarboxílicos de hidro-fenantreno de alquilo e, principalmente da mistura de ácidos tipo abiético e tipo primário (FINK, 2013 SOUSA-NETO, 1997). Também contém pequena quantidade de componentes não-ácidos (BARABDE *et al.*, 2005).

O ácido tipo primário é composto de ácido primário e isoprimário, formado por duplas ligações não conjugadas. Já o ácido tipo abiético é composto de ácidos levoprimário, palustrico, abiético e neoabiético, formado por duplas ligações conjugadas (CHEN, 1992). Segundo Chen (1992), os ácidos tipo primário são mais estáveis ao calor que os ácidos abiéticos. A composição do breu vai depender de onde os pinheiros foram cultivados e o processo de separação utilizado.

Na Figura 5 estão ilustradas as estruturas químicas dos ácidos tipo primário e abiético. sendo que estes apresentam um grupo carboxílico no carbono -18 e um grupo isopropil ou metil/etil no carbono-13 (MARTÍN -MARTINEZ, 2002)

Figura 5 - Estruturas químicas dos ácidos monocarboxílicos presentes no breu.

Fonte: Adaptado de MARTÍN -MARTINEZ, J. M Rubber baseadhesives. In: CHAUDHURY, M., POCIUS, A.V. (Ed.) **Adhesive science and engineering - 2: surfaces, chemistry and applications**. Amsterdam: Elsevier, 2002. p.1039-1103

O breu é um material resinoso, não volátil, de cor amarela ou amarela acastanhada, translúcida, brilhante ou superficialmente empoadada de branco, friável, de odor e sabor terebintáceos. É facilmente pulverizável, resultando em um pó de cor branca amarelada, que se funde ao banho-maria, em um líquido amarelo claro, límpido e viscoso. O breu é insolúvel na água e completamente solúvel em álcool, benzeno, éter etílico, clorofórmio, ácido acético e nas soluções diluídas dos hidróxidos alcalinos (SOUSA-NETO, 1997).

Pode ser utilizado na fabricação de colas para papel, vernizes e tintas, borrachas, adesivos, etc. Como também, pode ser utilizado na odontologia como vernizes cavitários, devido sua capacidade impermeabilizante (SPANÓ; BARBIN; PÉCORA. 1993).

O breu tem sido reconhecido por sua excelente solubilidade e compatibilidade com uma variedade de outras resinas sintéticas. Isto está relacionado com os ácidos de resina que possuem um esqueleto hidrofóbico em combinação com grupos de carboxila hidrofílicos que contribuem para a sua excelente solubilidade e compatibilidade com uma variedade de outras resinas sintéticas. Sendo uma matéria-prima altamente versátil para uso em revestimentos (CHEN, 1992).

3.7. Nanopartículas de prata: revestimento microbiocida

Para a aplicação dos painéis de partículas deste projeto, na confecção de abrigo para leitões (escamoteadores), é proposta a utilização de recobrimentos com a incorporação de agentes biocidas, neste caso, nanopartículas de prata. Diversas bactérias estão presentes nas instalações animais, dentre elas a *Escherichia coli*, que causa diarreia, uma das principais causas de mortes em leitões (SABINO *et al.*, 2012) e a *Staphylococcus aureus* responsável por causa problemas respiratórios.

O uso de recobrimento com incorporação de biocida em instalação animal pode representar um avanço no quesito de diminuição do uso de antibiótico na produção animal, em vista do surgimento e do aumento de cada vez mais organismos microbianos resistentes aos antibióticos.

Diversos íons metálicos, como, prata, titânio, cobre, zinco, ouro, entre outros, têm sido amplamente empregados como agentes bactericidas, esses íons metálicos também estão sendo estudados quanto ao seu efeito na escala nano, as nanopartículas. As nanopartículas são grupos de átomos na faixa de tamanho de 1-100 nm (RAI; YADAV; GADE, 2009).

As nanopartículas podem ser classificadas quanto a sua dimensionalidade (unidimensional e tridimensional), morfologia (planas, esféricas e cristalinas), composição (um ou mais materiais), e, uniformidade e aglomeração (aglomerado ou disperso) (FARIQ, KHAN, YASMIN, 2017).

A nanopartícula de prata tem mostrado ser eficaz devido à boa eficácia antimicrobiana contra bactérias, vírus e outros microrganismos eucarióticos (RAI; YADAV; GADE, 2009; BANERJEE; PANGULE; KANE, 2011). Prata e os seus compostos têm uso difundido em uma série de aplicações, incluindo curativos para feridas, tratamento de queimaduras (KLASEN, 2000), têxteis, dispositivos médicos e cateteres (LI *et al.*, 2006; STEVENS *et al.*, 2009).

O mecanismo exato de ação da prata nas bactérias ainda não é bem conhecido, podendo variar conforme o tamanho da partícula e sua morfologia (RAI; YADAV; GADE, 2009). Segundo Pal, Tak e Song (2007), nanopartículas de prata com morfologia cristalina (triangulares truncada) apresentaram inibição no crescimento da bactéria *Escherichia coli* com teor menor de prata (1 µg), ao comparar com a forma esférica que necessitou de um teor maior de prata (12 µg).

Acredita-se que a ação da prata está vinculada à sua fixação na membrana celular bacteriana e penetração nas bactérias. A prata interage com o enxofre das proteínas presentes

na membrana bacteriana, bem como com os compostos contendo fósforo, como o DNA, dessa forma, a prata inibe a atividade bacteriana, danificando a membrana celular ou destruindo as células, por meio da alteração da composição das proteínas (KIM; KIM, 2006; RAI; YADAV; GADE, 2009).

A prata afeta também a cadeia respiratória da bactéria por meio da sua interação com compostos do grupo tiol encontrados nas enzimas respiratórias das células bacterianas, inibindo o processo de respiração da bactéria, levando-a a morte (KLASEN, 2000).

Sondi e Salopek-Sondi (2004) avaliaram a atividade antibacteriana de nanopartículas de prata contra a bactéria *Escherichia coli*. Os autores observaram que contra a *E. coli*, as nanopartículas de prata apresentam excelente atividade antibacteriana. Kim e Kim (2006) estudaram a atividade antibacteriana de revestimento à base de resina melanina formaldeído com prata coloidal na madeira laminada colada. Os mesmos autores observaram que contra a *E. coli* e *Pseudomonas aeruginosa*, o referido revestimento apresentou atividade antibacteriana de até 98,9%. Os autores ainda afirmaram que este efeito não foi devido ao formaldeído e sim aos íons de prata pura.

Lin *et al.* (2015) estudaram nanopartículas de prata em filmes formados de quitosana/celulose, e os avaliaram quanto às atividades antimicrobianas, concluindo que os filmes com as nanopartículas apresentaram melhora significativa da atividade antimicrobiana para as bactérias *E. coli* e *Staphylococcus aureus* em comparação aos filmes sem a aplicação de nanopartículas de prata.

Huang, Lin e Hsu (2015) conduziram o estudo de resistência fúngica de materiais de construção (piso de madeira, placa de silicato de cálcio, placa de gesso e teto de fibra mineral) com a impregnação de nanopartículas de prata nas concentrações 0,01; 0,02 e 0,03 g/L, e observaram que para a concentração de 0,03 g/L de nanopartículas, não houve crescimento de fungos (*Penicillium* spp. e *Aspergillus* spp.) durante os primeiros 7 dias, com isso, concluíram que quanto maior a concentração de nano-metal, maior é o período de latência até o crescimento dos fungos.

Algumas pesquisas estão sendo feitas com a aplicação de agentes microbicidas em ambientes que contenham uma carga bacteriana elevada, como os hospitais. Por exemplo o uso de revestimento antimicrobiano em máscaras, com intuito de oferecer uma proteção adicional aos profissionais de saúde (LI *et al.*, 2006).

3.8. Suinocultura

A suinocultura encontra-se em ascensão no Brasil. Segundo levantamento feito pela Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), em 2016, o Brasil apresentou uma produção de 3,7 milhões de toneladas, um crescimento de 2,4% em relação a 2015 (ABPA, 2017). Contudo, apesar do crescimento no setor de carne suína, inúmeras barreiras são impostas à exportação e, atualmente, as mais importantes estão relacionadas à criação, baseada no bem-estar animal, desde o nascimento até o abate, nos cuidados com o meio ambiente e o uso de antibiótico na alimentação animal. Além dos requisitos impostos a exportação, os consumidores, hoje, estão exigindo maiores informações com relação a forma como estão sendo criados os animais, principalmente se o seu bem-estar está sendo atendido.

Para atender as novas necessidades (exportação e consumidor), o produtor deve investir em novas tecnologias para tornar-se mais competitivo, produzindo com qualidade, fornecendo um ambiente que promova o bem-estar animal, garantindo que os animais fiquem livres de frio ou calor, livres de fome, livres de doenças e possam expressar todos os seus comportamentos naturais (BROOM; MOLENTO, 2004), sem esquecer da sustentabilidade e o meio ambiente.

3.8.1. Conforto térmico de suínos

Na suinocultura, os fatores ambientais externos e internos exercem efeitos diretos no desenvolvimento dos animais em todas as fases de produção, gerando consequências econômicas ao produtor pelo aumento e redução da produtividade (PANDORFI *et al.*, 2005; SILVA; PANDORFI; PIEDADE, 2005).

Dentre as fases de criação de suínos, a maternidade é a fase que enfrenta os maiores problemas com relação aos fatores ambientais, ou seja, problemas relacionados ao conforto térmico e bem-estar dos animais. Pois nessa etapa, são exigidos dois ambientes distintos, o da matriz e do leitão, com exigências térmicas diferentes (PANDORFI *et al.*, 2004; ZHANG, XIN, 2001). A Tabela 3 apresenta as condições ótimas de temperatura no interior das instalações para matrizes e para os leitões.

Tabela 3 - Zona de termoneutralidade das matrizes e leitões até o desmame.

Categoria	Temperatura				Umidade Relativa (%)
	Ideal (°C)		Crítica (°C)		
	Máxima	Mínima	Máxima	Mínima	Ótima
Matrizes	18	12	30	0	50 - 70
Leitões/nascimento	32	30	35	15	50 - 70
Leitões/1 semana	30	28	35	13	50 - 70
Leitões/2 semanas	28	26	35	13	50 - 70
Leitões/3 semanas	26	24	35	13	50 - 70
Leitões/4 semanas	24	22	31	13	50 - 70

Fonte: Adaptado de FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos.**

Viçosa: Aprenda Fácil, 2005 e OLIVEIRA, D. C. G. **Avaliação do microclima interno de abrigos escamoteadores com diferentes tipos de pisos.** 2010. 119f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2010.

A temperatura de conforto térmico de suínos varia de acordo com a idade, raça, dieta, manejo e instalações, e, por isso, os estudos sempre se referem a uma zona de termoneutralidade, temperatura ideal máxima e mínima.

A primeira condição de conforto térmico animal tem relação com um balanço térmico nulo, ou seja, o animal não ganha nem perde calor (homeostase), encontrando-se na zona de termoneutralidade (ESMAY, 1982). Quando a temperatura se encontra acima ou abaixo da zona de termoneutralidade, o animal começa a apresentar estresse por calor ou por frio.

As primeiras semanas de vida dos leitões são as mais críticas com relação à temperatura de conforto (Tabela 3). Os animais recém-nascidos são mais sensíveis às baixas temperaturas, pois possuem o sistema termorregulador e imunológico pouco desenvolvido (PANDORFI *et al.*, 2005), além de apresentarem grande superfície corporal e ausência de tecido adiposo marrom (HOECK; BÜSCHER, 2015). Portanto, caso não sejam atendidas as necessidades de conforto térmico dos leitões, estes terão suas funções motoras diminuídas, apresentando leitões mais letárgicos, acarretando na menor ingestão de colostro, por serem menos competitivos (EDWARDS, 2002) e conseqüentemente causará maior número de leitões esmagados, já que leitões desnutridos têm a tendência de passar mais tempo próximos às porcas em busca de calor (WEARY *et al.*, 1996). Além de promover maior incidência de doenças e maior taxa de refugio na desmama (PANDORFI *et al.*, 2005).

A maior ocorrência de perdas dos leitões, está principalmente, associada aos primeiros dias de vida (ABRAHÃO *et al.*, 2004, EDWARDS, 2002), sendo, as principais causas da mortalidade, o esmagamento, debilitação, anomalias genéticas e diarreia.

O uso de escamoteadores promove uma diminuição da taxa de mortalidade por esmagamento, devido à maior permanência dos leitões nos escamoteadores. Contudo, se os escamoteadores não suprirem as exigências de conforto térmico dos leitões, estes irão procurar o aquecimento da porca, e como consequência poderá ocorrer a morte por esmagamento (SABINO *et al.*, 2012).

Portanto, é necessário oferecer aos leitões um ambiente adequado e eficiente para seu desenvolvimento, que satisfaça conjuntamente sua necessidade de aquecimento e proteção. Uma maneira para atender esta necessidade é a utilização de abrigos escamoteadores com algum sistema de aquecimento (ZHANG; XIN, 2001; SILVA; PANDORFI; PIEDADE, 2005; OLIVEIRA, 2010).

Os escamoteadores são abrigos fechados, cobertos e aquecidos, que têm a função de criar um microclima dentro da maternidade, mantendo a zona de conforto térmico ideal para os leitões, independentemente da temperatura externa.

Os sistemas de aquecimento utilizados são: campânulas a gás, campânulas elétricas, lâmpadas infravermelhas e placas aquecidas por meio de resistências elétricas. Alguns estudos demonstraram que, do ponto de vista térmico e econômico, a lâmpada incandescente e a resistência elétrica são as mais adequadas para escamoteadores (PANDORFI *et al.*, 2005; SARUBBI *et al.*, 2010).

O material usado atualmente na montagem dos escamoteadores depende muito da região, podendo ser fabricados de madeira, tijolo, concreto pré-moldado, placas de fibrocimento, plástico e painel de madeira compensada.

O presente trabalho tem o intuito de avaliar o potencial do uso alternativo de painéis de bagaço de cana-de-açúcar reforçado com partículas de bambu revestido com filmes a base de polímero naturais de látex e breu com nanopartículas de prata, ou seja, apresentando função de impermeabilização e microbicida, para uso como material isolante na construção de escamoteadores para leitões, que apresenta ambiente com umidade alta e grande carga bacteriana.

4. PLANO DE ESTUDO

O experimento foi desenvolvido no Laboratório de Construções & Ambiência, Núcleo de Apoio à Pesquisa em Materiais para Biossistemas, Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - FZEA/USP, Pirassununga.

O projeto foi delineado em quatro etapas, como descrito abaixo e o fluxograma de trabalho é apresentado na Figura 6:

- Etapa 1: *Estudo dos painéis de multicamadas*. Caracterização da matéria prima, produção e avaliação de dois tipos de painéis de multicamadas de partículas de bagaço de cana-de-açúcar reforçado com partículas de bambu (PMBB) com diferente procedimento de moldagem.
- Etapa 2: *Estudo do tratamento superficial dos painéis*. Caracterização dos filmes poliméricos e avaliação do recobrimento no painel PMBB. E avaliação da durabilidade dos painéis expostos às intempéries ambientais (sol, chuva, vento, orvalho, etc.).
- Etapa 3: *Estudo da impregnação de nanopartículas de prata (AgNPs) nos filmes*. Preparação dos filmes com AgNPs, desenvolvimento de metodologia de avaliação microbiológica dos filmes com agentes biocidas nos painéis PMBB.
- Etapa 4: *Aplicação dos painéis PMBB em Instalação Suinícola*. Produção dos escamoteadores com o painel PMBB, avaliação do microclima gerado dentro dos escamoteadores aquecidos com lâmpada incandescente, por meio da coleta de dados ambientais e cálculo dos índices de conforto.

Figura 6 - Fluxograma do plano de trabalho.

Fonte: Própria autoria.

5. ETAPA 1: ESTUDO DOS PAINÉIS DE MULTICAMADAS

Nesta seção, constam a preparação da matéria prima (bagaço de cana e bambu) para a produção dos painéis PMBB, as técnicas de caracterização do bagaço de cana e do bambu, a avaliação da interação do bagaço de cana e bambu com a resina poliuretana de óleo de mamona e a produção de dois tipos de painéis PMBB (PMBB-M1 e PMBB-M2) com diferentes formas de moldagem. Também faz parte deste item a avaliação dos painéis PMBB-M1 e PMBB-M2, por meio dos ensaios físicos, mecânicos, térmicos e microestruturais.

5.1. Coleta e preparação dos materiais lignocelulósicos

Foram utilizados para a confecção dos painéis: partículas de bagaço de cana-de-açúcar e partículas de bambu. O bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) foi coletado na usina Baldin Bioenergia S/A localizada na cidade de Pirassununga – SP.

O bambu utilizado neste projeto foi a espécie *Dendrocalamus giganteus*, coletado no campus Fernando Costa da Universidade de São Paulo, USP, Pirassununga – SP (Figura 7).

Figura 7 - Bambuzal, campus de Pirassununga, USP.

Fonte: Própria autoria

Foram utilizados bambus maduros de 2,5 a 4 anos. Os cortes foram realizados nos meses de maio e junho, pois nessa época a reserva (açúcares) são armazenadas nas raízes por conta do período de seca (CHAOWANA, 2013).

O bambu, após colhido, foi primeiramente processado em um picador de galhos, acoplado a um trator, para redução do tamanho do colmo, com o objetivo de facilitar o manuseio e secagem do material (Figura 8).

Figura 8 - Picador de galhos.

Fonte: Própria autoria

Os materiais (bagaço de cana-de-açúcar e bambu) foram secos em estufa com ventilação forçada à temperatura de 60 ± 5 °C por 72 h, para retirada parcial da umidade do material e armazenamento sem problemas de degradação.

Posteriormente, os materiais secos foram classificados granulometricamente em peneira vibratória, marca Produstest, modelo G, contendo 6 peneiras de dimensões de 500 x 500 x 100 mm (Figura 9 a), com as aberturas de 8,0; 4,0; 2,0; 1,0; 0,6 e 0,3 mm e um coletor (fundo) e temporizador automático eletromecânico ajustável até 60 min.

O rendimento das partículas foi avaliado, sendo inicialmente pesando o material lignocelulósico e em seguida separado granulometricamente. Após separação, a massa retida em cada peneira foi obtida.

A Tabela 4 apresenta a porcentagem retida em cada peneira. Grande quantidade das partículas de bagaço ficou retida na peneira de 8 mm (58,03%), enquanto que as partículas processadas de bambu, a maior proporção ficou retida nas peneiras de 4 a 1 mm (60,92%).

Tabela 4 - Porcentagem de massa de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu retidas nas peneiras.

Matéria prima	Malha da peneira (mm)			
	8	4 - 2- 1	0,6 - 0,3	Coletor
Bagaço (%)	58,03	20,19	15,98	5,79
Bambu (%)	15,20	60,92	19,20	4,67

Fonte: Própria autoria.

E seguindo a metodologia proposta por Belini *et al.* (2014), as partículas foram separadas em duas faixas de granulometria para a produção posterior dos painéis:

- ✓ Partículas menores - partículas retidas nas peneiras com abertura 0,6 e 0,3 mm;
- ✓ Partículas maiores - partículas que ficaram retidas na peneira com abertura 4,0; 2,0 e 1,0 mm.

O mesmo autor ainda afirmou que estas aberturas são similares às condições mercadológicas utilizadas atualmente.

Os materiais retidos na peneira com abertura de 8 mm foram processados em um moinho de facas (marca Cremasco modelo DPC-1), contendo peneira com abertura interna de 8,0 mm de diâmetro (Figura 9 b), sendo inserido junto às partículas maiores. Portanto, para a produção dos painéis, utilizou-se 94% do bagaço de cana-de-açúcar e 76% do bambu do material inicial, ou seja, quase todo o material coletado para o presente estudo foi utilizado, demonstrando que houve pouco descarte no processo produtivo.

Figura 9 - a) Peneira vibratória; b) picador/desintegrador de forragem.

Fonte: Própria autoria

As partículas finas, retidas no coletor (granulometria $< 0,3$ mm), não foram utilizadas na confecção dos painéis devido à alta área superficial, no que resultaria em maior consumo de resina, e pela presença de impurezas minerais (sílica), oriundo de parte da planta e da contaminação ocorrida durante a colheita (BELINI *et al.* 2014).

5.2. Resina

O aglomerante empregado para a produção dos painéis PMBB foi a resina poliuretana bi componente à base de óleo de mamona (Plural Química Ltda), sendo um dos componentes o poliol derivado do óleo vegetal e, o outro, o pré-polímero de isocianato polifuncional. Foi utilizada a relação poliol : pré-polímero de 1:1 (BELINI *et al.*, 2014).

5.3. Caracterização do bagaço de cana-de-açúcar e do bambu

5.3.1. Caracterização física

Foram conduzidas as caracterizações de massa específica real e teor de umidade das partículas de bagaço de cana de açúcar e bambu, fatores estes que possuem relação direta na produção de painéis de partículas.

A massa específica real foi realizada em multiplicnômetro de gás hélio *Quantachrome instruments*, modelo MVP-5DC. Através da determinação do volume por meio da variação do gás em um volume calibrado, e a pesagem da massa real, obtendo a massa específica real.

E o teor de umidade foi utilizado o Determinador eletrônico de umidade, marca Bel, modelo 89/336.

5.3.2. Caracterização química

As partículas de bagaço de cana-de-açúcar e de bambu, primeiramente foram separadamente, picadas em um moinho de facas possuindo peneira com abertura de diâmetro de 1 mm.

Foi realizada a análise química, para determinar os teores de lignina, alfa-celulose, holocelulose e extrativos, das partículas de bagaço de cana-de-açúcar e do bambu, seguindo procedimento descrito pela norma TAPPI (T 204 cm-97, 2002; T 203 cm-99, 2009) e no documento da EMBRAPA (MORAIS; ROSA; MARCONCINI, 2010).

O solvente adotado para a realização da análise de extrativos foi a acetona (Silvério *et al.*, 2006). O teor de cinza foi determinado segundo a norma TAPPI T 211 om-02 (2002), utilizou-se a mufla modelo MA385, marca Marconi. A rampa de aquecimento de 9,6 °C/min temperatura isoterma de 600 °C por 3 h, e resfriamento rápido (atingir 200 °C em 1 h) foi adotada.

5.3.3. Caracterização morfológica

A caracterização morfológica (forma, estrutura e poros) das partículas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu foi realizada em microscópio eletrônico de varredura (MEV) Tabletop, da Hitach Oxford Instruments Analytical, modelo TM3000, com 15 kV de tensão de aceleração.

O ensaio foi conduzido no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, FZEA/USP. As imagens foram geradas através da aquisição de elétrons retroespalhados com ampliação de até x5.0 k. As amostras foram depositadas sobre uma fita de carbono, e, em seguida, analisadas no microscópio.

5.4. Avaliação da interação do material lignocelulósico com a resina

5.4.1. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A análise de MEV também foi realizada para avaliar a distribuição da resina e sua interação com as partículas de bagaço e bambu, de acordo com os parâmetros descritos no item 5.3.3.

5.4.2. Análise de espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A análise de espectroscopia na região do infravermelho é uma técnica qualitativa amplamente empregada na análise de materiais orgânicos. O FTIR é muito utilizado para identificação e elucidação estrutural de substâncias orgânicas, bem como na determinação da pureza, quantificação de substâncias orgânicas e para verificar mudanças estruturais e interações entre os materiais (LOPES; FACIO, 2004). A análise de FTIR foi realizada no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, FZEA/USP, com o equipamento *Spectrum One*, marca Perkin Elmer, o programa utilizado foi Spectrum V5.3.1. Foram realizadas 128 varreduras por amostra a uma resolução de 4 cm^{-1} , variando de 4000 cm^{-1} a 650 cm^{-1} . A análise foi realizada com amostra em pó.

5.4.3. Caracterização do potencial elétrico

Desenvolvida por Derjaguin, Landau, Verwey e Overbeek no final da década de 40, a teoria DLVO, avalia a presença de uma camada iônica formada pela interação de uma partícula em suspensão com o ambiente iônico em solução (SONG *et al.*, 2009).

Esta partícula carregada encontra-se em suspensão, logo uma camada de contra íons fortemente ligados irá se formar na superfície da partícula devido às interações eletrostáticas.

Tal camada é conhecida como camada de Stern, e a seguir há uma segunda camada, conhecida como difusa que é formada por certa concentração de contra íons (menor que a de Stern) e de co-íons (Figura 10).

Figura 10 - Ilustração das camadas das partículas da teoria DLVO.

Fonte: Própria autoria.

À medida que se distancia da superfície da partícula, a concentração de contra íons diminui, enquanto a concentração de co-íons aumenta. O balanceamento entre as concentrações de contra íons e co-íons, na superfície da partícula em suspensão, definirá o potencial elétrico resultante, também chamado de potencial zeta.

O potencial zeta (ζ) ou potencial elétrico no ponto de encontro entre a camada de Stern e a camada difusa é um parâmetro importante para análise de atração ou repulsão eletrostática de íons ou moléculas dentro do ambiente reacional, sendo tal parâmetro fortemente influenciado pela alteração do pH. Desta forma, os valores de potencial zeta são relacionados à estabilidade das suspensões em função do pH. Contudo, o valor de aproximadamente 20 mV em módulo, à temperatura ambiente (25 °C), é necessário para assegurar a estabilização eletrostática de suspensões pouco concentradas devido ao processo de repulsão eletrostática entre as partículas. (SONG *et al.*, 2009, FENGJIU *et al.*, 2000).

Para a determinação do potencial zeta do material lignocelulósico (bagaço de cana-de-açúcar e bambu) e da resina foi utilizado o equipamento automático Zeta Plus (Zeta Potential Analyzer) da Brookhaven (Figura 11) e o programa *Brookhaven Instrument - Zeta Potential Analyzer*. O ensaio foi realizado no Laboratório de Coloides e Funcionalidades de Macromoléculas, do Departamento de Engenharia de Alimentos, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - USP.

O pH das dispersões foi ajustado utilizando soluções de hidróxido de sódio (NaOH) e ácido clorídrico (HCl). A análise foi realizada em quintuplicata, sendo considerada a média dos valores com erro relativo igual ao desvio padrão dessas medidas.

Os valores de potencial zeta (ζ) medidos foram empregados para avaliar interações eletrostáticas entre dois ou mais materiais, para entender a sinergia entre as partículas e o nível de coesão do material.

Figura 11 - Equipamento Zetaplus - Zeta Potential Analyzer.

Fonte: Própria autoria.

5.5. Produção dos painéis de multicamadas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu (PMBB).

Após o preparo de cada uma das matérias primas (bagaço e bambu) e separadas em partículas menores e maiores (item 5.1), foram produzidos os painéis de multicamadas de partículas de bagaço de cana-de-açúcar reforçado com partículas de bambu (PMBB) com

densidade alvo de 550 kg/m³, seguindo recomendações de Belini *et al.* (2014), Dias (2004) e Paes (2011).

A estrutura adotada para a produção dos painéis está ilustrada na Figura 12, e na Tabela 5 estão apresentados os parâmetros de granulometrias das partículas (bagaço de cana e bambu), a proporção de resina e a porcentagem em massa do material lignocelulósico adotada para cada camada. Os painéis PMBB foram produzidos com três camadas, com base no processo produtivo descrito por Belini *et al.* (2014). As camadas externas (CE) foram compostas de partículas de bagaço de cana-de-açúcar de menor granulometria (partículas retidas nas peneiras com abertura 0,6 e 0,3 mm), enquanto que a camada interna (CI) foi composta por partículas de bagaço cana-de-açúcar e de bambu, de maior granulometria (partículas que ficaram retidas na peneira com abertura 4,0; 2,0 e 1,0 mm). E foi adotada a relação bagaço:bambu de 1:1 para a camada interna. As partículas de bambu foram adotadas como reforço no painel.

Figura 12 - Ilustração da estrutura do painel particulado.

Fonte: Própria autoria.

Tabela 5 - Parâmetros de granulometria, espessura e dosagem de resina adotada para cada camada na confecção do painel PMBB.

Conformação do painel	Tamanho de partícula (mm)	Espessura camada (mm)	Dosagem resina (%)	Porcentagem em massa (%)
Camada externa	0,6-0,3	2	15	15
Camada interna	4,0-1,0	8	12	70

Fonte: BELINI, U. L.; SAVASTANO JR, H.; GARZÓN, N.; SARTORI, D. L.; LEITE, M. K.; FIORELLI, J. TOMAZELLO FILHO, M. Painel multicamada com reforço de partículas de bambu. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 103, p. 421-427, 2014.

Os parâmetros adotados para a produção dos painéis são fundamentais no desempenho final dos materiais. Sendo assim, foram estudados dois processos distintos de produção dos painéis PMBB:

- Moldagem 1 (PMBB-M1), que consistiu em realizar a pré-prensagem nas camadas (Belini *et al.*, 2014), e;
- Moldagem 2 (PMBB-M2), sem a pré-prensagem nas camadas.

Para a produção dos painéis PMBB, primeiramente foi realizada a mistura manual dos materiais lignocelulósicos com a resina poliuretana bi componente à base de óleo de mamona, sendo as camadas produzidas separadamente.

As camadas externas compostas de apenas bagaço (partículas 0,6-0,3 mm) e as camadas internas compostas de partículas de bagaço de cana e bambu (partículas de 4,0-1,0 mm) na proporção de 1:1, como ilustrada na Figura 13.

Em seguida, a mistura contendo os materiais lignocelulósicos e a resina foi homogeneizada em um misturador planetário por 5 min. Finalizando o processo de mistura, o material foi colocado em um molde formador de colchão, com dimensões de 50 cm x 50 cm.

Figura 13 - Esquema ilustrativo das etapas de produção dos painéis PMBB.

Fonte: Própria autoria.

A montagem das camadas de cada processo de moldagem em estudo (M1 e M2) está ilustrada na Figura 14. Na moldagem M1, foram realizadas prensagens manuais após a formação de cada camada, com tensão de aproximadamente 2300 Pa. Na moldagem M2, não foram realizadas prensagens entre as camadas, sendo adotada apenas a formação uniforme da

camada. Ao final da preparação das três camadas o colchão de partículas foi pré-prensado manualmente, finalizadas estas etapas o molde formador é removido.

Figura 14 - Esquema do processo de montagem das camadas dos painéis PMBB: moldagem M1 e M2.

Fonte: Própria autoria.

Após a conformação, o colchão de partículas foi introduzido em uma prensa termo-hidráulica (marca Hidral-Mac, modeloPHH100T) ajustada a uma temperatura média de 100 °C. Posteriormente, foi realizada a prensagem por 10 min, com pressão média de 9,5 MPa (Figura 15). Finalizada a prensagem, os painéis foram armazenados por 72 h em processo de estabilização em temperatura ambiente para posterior confecção dos corpos de prova.

Figura 15 - Esquema de sequência de elaboração de painéis a partir do colchão de material lignocelulósico e prensagem.

Fonte: Própria autoria.

5.6. Caracterização dos painéis de multicamadas

O processo de produção pode influenciar no desempenho final dos painéis de partículas, portanto neste item foram caracterizados os dois painéis PMBB com diferentes processos de moldagem.

5.6.1. Caracterização físico-mecânica

A caracterização físico-mecânica dos painéis PMBB-M1 e PMBB-M2 foi realizada, conforme descrito na norma ABNT NBR14810-3 (2013) para Painéis de partículas de média densidade e na norma ANSI A208.1 (1999), o número de corpos de prova produzidos e suas dimensões estão especificados na Tabela 6.

Tabela 6 - Descrição do número de corpos de prova e dimensões para caracterização dos ensaios físicos e mecânicos.

	Nº de corpos-de-prova	Dimensão (mm)
ENSAIOS FÍSICOS		
Densidade	10	50 x 50
Teor de umidade	10	50 x 50
Inchamento em espessura (IE)	10	50 x 50
ENSAIOS MECÂNICOS		
Módulo de Ruptura na flexão (MOR):	10	290 x 50
Módulo de elasticidade na flexão (MOE):	10	290 x 50
Arrancamento de parafuso de superfície (APs)	10	150 x 75
Arrancamento de parafuso de topo (APt)	10	110 x 65
Tração perpendicular às fibras (TP)	10	50 x 50 x 10

Fonte: Adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, Rio de Janeiro. **NBR 14810** - Painéis de partículas de média densidade. Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 69p., 2013.

Os itens abaixo descrevem os métodos utilizados para realização dos ensaios físico-mecânicos de acordo com o estabelecido pela norma NBR14810-3 (2013):

- a) Densidade: Foi determinada a espessura, comprimento e largura com auxílio de um paquímetro (0,1 mm) e a massa em balança de precisão 0,1 g.
- b) Teor de umidade: Foi determinada a massa em balança de precisão 0,1 g antes e após os corpos de prova serem mantidos em estufa com ventilação forçada à temperatura 105 °C, até obtenção de massa constante.
- c) Inchamento em espessura (IE): Foi determinada a espessura dos corpos de prova antes e depois de submetidos à imersão em água, por 24 horas para o cálculo do IE.
- d) Resistência a flexão estática ou Módulo de Ruptura (MOR) e Módulo de Elasticidade (MOE): Foram determinados em máquina universal de ensaios mecânicos, (marca EMIC, modelo DL 30000). O MOR e MOE foram calculados por meio do ensaio mecânico de flexão estática (3 pontos) (Figura 16).

Figura 16 - Ensaio mecânico de flexão estática de três pontos.

Fonte: Própria autoria.

A distância entre apoio utilizado foi de 240 mm e a velocidade de deslocamento do atuador foi de 9 mm/min, seguindo a normativa NBR14810-3 (2013) de a ruptura do corpo de prova ocorra no intervalo de 60 ± 30 s. Para realização deste ensaio os corpos de prova foram mantidos em câmara climática com $60 \pm 5\%$ de umidade a 23 ± 2 °C por 24 horas. Para calcular o MOR e MOE foram utilizadas as equações Eq. 1 e Eq. 2, respectivamente.

$$MOR = \frac{1,5x(PxD)}{BxE^2} \quad \text{Eq. 1}$$

Onde, MOR=módulo de ruptura ou resistência à flexão estática (N/mm²), P = carga de ruptura (N), D = distância entre apoios (mm), B = largura do corpo de prova (mm) e, E = espessura do corpo de prova.

$$MOE = \frac{P1xD^3}{dx4xBxE^3} \quad \text{Eq. 2}$$

Onde, MOE = módulo de elasticidade (N/mm²), P1 = carga do limite proporcional (N), D = distância entre apoios (mm), d= deflexão, correspondente à carga P1 (mm), B largura do corpo de prova (mm) e, E = espessura do corpo de prova (mm).

e) Resistência ao arrancamento de parafuso (AP) na superfície (APs) e topo (APt):

Foi realizada a máquina universal de ensaios mecânicos, descrita no item (d), para medir a resistência à retirada na direção normal na superfície e topo do painel (Figura 17). Foi utilizada célula de carga de 5 kN, velocidade de 10 mm/min e parafusos auto-atarraxante. O resultado deste ensaio foi expresso pela média dos valores obtidos das cargas máxima da máquina universal de ensaios em Newtons (N). Para realização deste ensaio os corpos de prova foram mantidos em câmara climática com $60 \pm 5\%$ de umidade a 23 ± 2 °C por 24 horas.

Figura 17 - Ensaio de resistência ao arrancamento de parafuso de superfície e topo.

Fonte: Própria autoria.

f) Resistência à tração perpendicular às fibras (TP): Análise de resistência à tração perpendicular às fibras (TP) foi realizada para a obtenção da adesão interna das partículas (AI). Foi desenvolvido na máquina universal de ensaios mecânicos, marca EMIC, modelo 30000. Os corpos de provas foram fixados nos blocos de tração, e estes são posicionados no dispositivo de ensaio (Figura 18).

Figura 18 - Resistência à tração perpendicular às fibras (TP).

Fonte: Própria autoria.

A velocidade de ensaio foi de 4 mm/min, seguindo a normativa NBR14810-3 (2013) de a ruptura do corpo de prova ocorra no intervalo de 60 ± 30 s, após o início do ensaio. Para realização deste ensaio os corpos de prova foram mantidos em câmara climática com $60 \pm 5\%$ de umidade a 23 ± 2 °C por 24 horas. Para calcular a TP foi utilizada a equação Eq. 3

$$TP = \frac{P}{S} \quad \text{Eq. 3}$$

Onde: TP = resistência à tração perpendicular (N/mm²), P = carga de ruptura (N) e, S = área da superfície do corpo de prova (mm²)

5.6.2. Caracterização microestrutural

A fim de observar a interação entre as camadas (CI e CE) e a distribuição dos poros no interior do painel, foram realizadas análises de micro-tomografia computadorizada (micro-TC ou μ TC) de raios X (FIORELLI *et al.*, 2017).

A micro-TC é uma técnica não destrutiva, que consiste na radiografia em 3D da morfologia e microestrutura interna de materiais. Esta técnica gera imagens com alta resolução espacial em 3D em um nível micrométrico ou sub-micrométrico.

O funcionamento da micro-TC baseia-se na captação de dados adquiridos em diferentes ângulos de visualização, a partir da atenuação de raios-X, para reconstruir a imagem em 3D. A imagem formada através da micro-TC caracteriza a distribuição espacial da densidade do material (BOUXSEIN *et al.*, 2010).

Para realizar a micro-TC foi utilizado o micro-tomógrafo da marca SkyScan, modelo 1172, versão 1.5. Munido de um tubo de raios-X de microfoco com fonte de alta tensão (100kV), resolução de 1 μ m, e um detector de raios-X, câmera CCD de 10 Mp (4000 x 2300 pixels), marca Hamamatsu.

O software NRecon, versão 1.6.10.1, foi utilizado para a aquisição e a reconstrução das imagens. Foram geradas 940 imagens de 2000 x 2000 pixels de amostras (8 mm x 8 mm x 12 mm) extraídas dos painéis PMBB, devido a limitação do equipamento foi possível realizar somente a varredura de 6 mm da espessura. As imagens foram analisadas usando os softwares SkyScan CTAn/CTvol (Bruker SkyScan) e Image J 1.50i.

5.6.3. Caracterização de condutividade térmica (k)

O ensaio de condutividade térmica avalia a variação da condutividade térmica (k) de um determinado material, ou seja, a capacidade do material de conduzir calor. O ensaio foi executado com o auxílio de um equipamento de condutividade térmica DTC300, marca TA, modelo 2022 (Figura 19).

Para este ensaio, foram preparados 5 corpos de prova com 50 mm de diâmetro e 12 mm de espessura para cada painel em estudo (PMBB-M1 e PMBB-M2) seguindo os critérios da norma ASTM E 1530:2011. A temperatura de ensaio foi de 30 °C

Figura 19 - Equipamento de condutividade térmica DTC300 modelo 2022.

Fonte: Própria autoria.

5.6.4. Análise estatística

A normalidade e a homogeneidade das variâncias entre os dois processos foram avaliadas com o auxílio dos testes de Anderson-Darling e teste F, respectivamente, ambos também ao nível de 5% de significância. Pela formulação das hipóteses, P-valor igual ou superior ao nível de significância implica em aceitar a normalidade e a homogeneidade entre as variâncias para cada propriedade, validando o teste de Tukey.

O teste de Tukey, ao nível de 5% significância e com o auxílio do software Minitab® 14, foi utilizado para investigar a influência dos processos de prensagem [M1 – com pré-prensagem entre camadas; M2 - sem pré-prensagem entre as camadas] nas propriedades físicas, térmicas e mecânicas de interesse.

Do teste de Tukey, A denota o grupo de maior valor médio, B é associado ao grupo com segundo maior valor médios, e assim sucessivamente, e letras iguais implicam em níveis do fator com médias estatisticamente equivalentes.

Foram determinadas dezoito propriedades entre físicas e mecânicas. Com exceção da condutividade térmica, em que foram obtidas cinco determinações para cada processo de

moldagem, para as dezessete demais foram obtidas dez determinações também por processo de moldagem, o que totalizou 350 determinações experimentais.

6. ETAPA 2: ESTUDO DO TRATAMENTO SUPERFÍCIAL DOS PAINÉIS

Na etapa 2, foi utilizado o painel com as melhores propriedades apresentadas na Etapa 1. Esta etapa teve como objetivo a preparação e caracterização dos filmes a base de polímeros naturais de breu e látex (LS e LT), bem como a aplicação e avaliação dos filmes como revestimentos na impermeabilização dos painéis PMBB e envelhecimento natural ao longo do tempo dos painéis, com e sem revestimento.

6.1. Materiais para os filmes poliméricos

O látex *in natura* utilizado neste projeto foi doado pelo Instituto Agronômico de Campinas (IAC), Campinas, SP (Figura 20). Sendo este coletado da seringueira (*Hevea brasiliensis* ev.- RRIM 600 clone). De acordo com as especificações do próprio fornecedor (IAC), o material foi diluído em amônia, na proporção de 47 mL de amônia para 1000 mL de látex, visando sua preservação. Pois quando o látex escorre pelos sulcos feitos no córtex da árvore, sofrem à ação de bactérias, que encontram no soro do látex elementos propícios para o seu desenvolvimento, tais como proteínas, açúcares, sais etc. Essas bactérias provocam a coacervação do látex que na ausência de agentes de preservação propiciam o processo de putrefação, liberando mau cheiro.

Para prevenir a coagulação e a putrefação indesejável do látex são adicionados agentes para sua preservação. A amônia por exemplo, é o melhor destes agentes devido a dois fatores: (1) quase sem exceção os látex de aplicação industrial são aniônicos, e, portanto, necessitam de um meio alcalino para manter a densidade de cargas negativas sobre a superfície dos glóbulos de borracha, que conferem estabilidade mecânica ao látex; (2) a amônia quando introduzida ao látex em porções superiores a 0,35% em peso, torna-se um bactericida eficiente (ARAÚJO, 1993; AGOSTINI, 2009).

O breu foi obtido junto à empresa Polyquim Produtos Químicos S.A (Figura 20) em estado sólido. A solubilização deste material para a produção dos filmes fez-se necessária a dissolução em etanol absoluto na proporção de 1:10 de breu: etanol.

Inicialmente, foi proposta a mistura dos dois materiais para preparar um filme. Para tanto foram realizadas análises de interação entre os dois produtos (Látex e Breu), que estão apresentadas no ANEXO A. Foi constatado através das análises preliminares que devido à diferença de pH das soluções, não é possível a mistura dos dois produtos para serem utilizados para preparar um filme único. Portanto, foi proposto o uso separado do filme como revestimento nos painéis PMBB.

Figura 20 - Ilustração do Látex e do Breu.

Fonte: Própria autoria.

6.2. Caracterização do Látex e do Breu

6.2.1. Análise térmica

Foram conduzidas análises térmicas por meio do ensaio de termogravimetria (TG) e do ensaio de calorimetria exploratória diferencial (DSC), no analisador térmico simultâneo (TG-DSC/DTG) modelo STA 449 F3 Júpter. Os parâmetros utilizados para análise foram velocidade

de aquecimento de 10 °C/min, intervalo de temperatura de 40 a 700 °C e atmosfera de nitrogênio. A análise de termogravimetria permite registrar continuamente a variação de massa em função da temperatura e do tempo, enquanto um material é submetido a um ambiente e uma programação controlada. Enquanto a calorimetria exploratória diferencial registra a diferença de energia absorvida e liberada pela substância em relação a um material de referência, em função da temperatura, ou seja, avalia os efeitos de calor associados com alterações físicas ou químicas da amostra (IONSHIRO, 2005).

6.2.2. Análise de espectroscopia na região do infravermelho por transformada de Fourier (FTIR)

A análise de espectroscopia de infravermelho transformada de Fourier (FTIR) foi realizada, conforme apresentado na seção 5.4.2., para avaliação da composição química do látex e breu. A análise de FTIR foi realizada no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, FZEA/USP, com o equipamento *Spectrum Ome*, marca Perkin Elmer, o programa utilizado foi Spectrum V5.3.1. Foram realizadas 128 varreduras por amostra a uma resolução de 4 cm⁻¹, variando de 4000 cm⁻¹ a 650 cm⁻¹ (faixa de análise do equipamento).

6.3. Preparação dos filmes poliméricos

Foram preparados 3 tipos de filmes a base de polímeros naturais, um de breu (B) e dois a base de látex (LS e LT). Para produzir o filme de breu, foi realizado um processo de moagem do breu em almofariz por 5 min e em seguida diluído em etanol na proporção de 1:10 de breu: etanol, para ser aplicado no painel PMBB.

Foram produzidos dois filmes à base de látex: látex-LS e látex-LT com diferentes processos de vulcanização. O filme a base de látex-LS apresentou em sua formulação apenas a adição de enxofre. Na Tabela 7 está listada a formulação para a preparação do látex-LS. A preparação do látex-LS consistiu na mistura de látex com enxofre por 30 min em agitador magnético, modelo C-MAG HS10, da marca Ika.

Tabela 7 - Formulação do filme a base de látex (LS).

	phr*	Peso úmido (g)
Látex	100	147
Enxofre	2	4

* phr=*Parts per Hundred Rubber* – Parte por cem de borracha (nomenclatura utilizada na indústria da borracha)

Fonte: Adaptado de PIEZON, N. J. Fabricação de artefatos de látex. Dossiê técnico, SENAI, Rio Grande do Sul, 2007, 24p.

O enxofre utilizado neste trabalho foi o enxofre ortorrômbico marca Êxodo científica, conforme o difratograma apresentado na Figura 21. Segundo Pierozan (2007), o enxofre amorfo é o mais indicado para o processo de vulcanização, no entanto devido ao custo, o enxofre ortorrômbico é uma opção viável, pois atua de maneira similar e possui custo inferior.

Para utilização do enxofre, foi feita a dispersão (50%), com 50 g de enxofre, 2 g de dispersante Tween 80 (Polissorbato 80¹), da marca *Synth* e 48 g de água deionizada. A dispersão foi realizada em moinho de bolas modelo TE-500/2, marca Tecnal, por 72 h, com velocidade de 180 rpm, as bolas de zircônia possuíam diâmetro de 1 mm e foi utilizada a relação material: bola de 2:1 (PIEROZAN, 2007).

Figura 21 - Difratograma de raios-X do enxofre.

* Downs et al. (1993) American Mineralogist 78, 1104-1107.

¹ O polissorbato 80 é um surfactante não iônico e um emulsionante.

A produção do látex-LT foi baseada na formulação de luvas cirúrgicas (PIEROZAN, 2007), foi utilizado o enxofre, o mesmo usado na produção do látex-LS, o óxido de zinco, marca *Synth*, utilizado como ativador do processo de vulcanização, o zinco metil ditiocarbamato (ZMDC), produto comercial utilizado como superacelerador e doador de enxofre, fornecido pela empresa Chemicon S/A Indústrias Químicas, e hidróxido de potássio (KOH) 10% que atua como estabilizante.

A dispersão do óxido de zinco consistiu na mistura em moinho de bolas por 24 horas contendo 50 g de óxido de zinco, 1,50 g de dispersante Tween 80, 0,15 g de amônia 240 Be e 48,35 g de água deionizada (PIEROZAN, 2007).

A dispersão do ZMDC consistiu na mistura de 50 g de ZMDC, 2,00 g de dispersante Tween 80 e 48 g de água deionizada, por 48 h em moinho de bolas (PIEROZAN, 2007).

Na Tabela 8 está listada a formulação para a preparação do látex-LT. A formulação do látex LT foi baseada no Dossiê Técnico para Fabricação de Artefatos de Látex (PIEROZAN, 2007).

A metodologia de preparação consistiu primeiramente na mistura do óxido de zinco, enxofre e o acelerador (ZMDC), em seguida acrescentou-se o látex e depois de uma mistura manual acrescentou-se o estabilizante. Em seguida a mistura foi agitada com auxílio de um agitador magnético por 30 min, para dispersão e homogeneização da mistura (RATHNAYAKE *et al.*, 2012)

Tabela 8 - Formulação do filme de látex (LT).

	phr*	Peso úmido (g)
Látex	100	147,00
Enxofre	1,5	3,00
Óxido de Zinco	1,5	3,00
Acelerador	1,0	2,00
Estabilizante	0,5	2,5

* phr=Parts per Hundred Rubber. Fonte: Adaptado de PIEROZAN, N. J. Fabricação de artefatos de látex.

Dossiê técnico, SENAI, Rio Grande do Sul, 2007, 24p.

6.4. Recobrimento do painel com filme à base de látex e breu

Foram produzidos quatro tipos de painéis: o painel PMBB controle, sem revestimento (PMBB-C) e os painéis PMBB impermeabilizados: com filme de breu (PMBB-B), com filme de látex-LS (PMBB-LS) e com filme de látex-LT (PMBB-LT). A preparação dos filmes está descrita na seção 6.3.

A aplicação dos filmes foi realizada na superfície e nas bordas dos materiais, já que a borda representa 30% da superfície do corpo de prova (GARZÓN *et al.*, 2012). Primeiramente, o material foi lixado para retirada de qualquer tipo de imperfeição que foi originada durante o processo de preparação dos corpos de prova. A metodologia seguiu algumas especificações da norma NBR 9575 (2010), que estabelece as exigências e recomendações relativas à seleção e projeto de impermeabilização, e, da norma TB119.005 (2011), que trata da impermeabilização de painéis de partículas.

Segundo as normas, foi adotada a aplicação de três camadas, com intervalo de 15 min entre cada camada, com o objetivo da melhor interação entre as camadas, principalmente no uso do látex. De acordo com testes preliminares (ANEXO B), foi adotada a aplicação manual com pincel para os filmes à base de látex e imersão para o filme a base de breu, visto a viscosidade do material. Após aplicação das três camadas os painéis PMBB-LS e PMBB-LT foram mantidos 24 h em estufa com ventilação forçada à temperatura de 65 °C para secagem e finalização do processo de vulcanização do látex; o painel PMBB-B permaneceu 24 h em temperatura ambiente para secagem.

6.5. Envelhecimento natural

O ensaio de envelhecimento natural foi realizado para avaliar a durabilidade dos painéis PMBB, com e sem revestimento, quando submetidos a diferentes condições de umidade e temperatura, bem como, chuva e radiação solar. O ensaio foi desenvolvido no campo de envelhecimento natural do Laboratório de Construções e Ambiente, da Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, FZEA/USP (altitude de 630 m, coordenadas 21° 57' 02" de latitude sul e 47° 27' 50" de longitude oeste, clima tropical de altitude-Cwa). Os corpos de prova de dimensões 290 mm x 50 mm x 12 mm foram expostos por 3 meses (90 dias) e 6 meses

(180 dias) (abril/2016 a outubro/2016) em bancada com inclinação de 30° (graus) em relação ao solo, com a face voltada ao norte, no caso de se tratar de experimento realizado no hemisfério sul (Figura 22).

Figura 22 - Bancada de envelhecimento natural.

Fonte: Própria autoria.

As variáveis tais como, temperaturas médias, máximas e mínimas, umidade relativa (UR) média, precipitação e radiação solar obtidas da estação meteorológica, do campus Fernando Costa da Universidade de São Paulo, USP, Pirassununga – SP (<http://www.agrariasusp.com.br/agrariasusp01/estacao.html>), no período de análise dos painéis estão listadas na Tabela 9. O período de abril a outubro de 2016 apresentou temperatura média de 21,6 °C, umidade relativa (UR) média de 53%, precipitação média mensal de 65,2 mm de chuva e radiação solar média das 9 às 17 h de 462,1 W/m².

Tabela 9 - Valores médios de temperatura, umidade relativa, precipitação e radiação solar do período de abril a outubro de 2016.

	T média (°C)	T máxima (°C)	T mínima (°C)	UR média (%)	Precipitação (mm)	Radiação solar (9-17 h) (W/m²)
Abril	24,3	34,9	13,1	62,7	18,6	566,3
Maio	19,3	31,1	6,3	56,1	138	386,9
Junho	17,39	28,6	3,7	44,1	86,8	376,8
Julho	17,9	30,9	3,2	54,5	2	445,9
Agosto	19,8	33,1	5,4	52,2	69,2	490,0
Setembro	23,4	33,7	13	46,1	13,8	506,9
Outubro	28,9	---	---	---	131	---

Fonte: Própria autoria.

De acordo com César (2002), os agentes não biológicos que mais degradam painéis de partículas são os raios ultravioletas, que decompõem a lignina, que atua como uma espécie de matriz do material lignocelulósico, deixando assim as fibras vulneráveis à ação do vento e da chuva.

6.6. Avaliação do recobrimento e impermeabilização dos painéis com filmes

Para a avaliação do recobrimento superficial dos painéis com os filmes, foi avaliada a rugosidade superficial por meio da análise de microscopia confocal e para avaliar a eficiência da impermeabilização foi realizada a avaliação física por meio do ensaio de inchamento em espessura (IE), após imersão em água por 24 h.

6.6.1. Análise de microscopia confocal

Foi realizada a análise de microscopia confocal para o estudo da rugosidade superficial para avaliação da formação do filme sobre a superfície dos painéis por meio da análise em 3D da superfície. A rugosidade é a medida da irregularidade finas em uma determinada superfície e varia conforme as características das matérias primas e os parâmetros de produção adotados (TABARSA; ASHORI; GHOLAMZADEH, 2011). A avaliação da rugosidade foi baseada nas normas ISO 11562 (1996) e NBR ISO 4287 (2002), segundo estas normas a avaliação da rugosidade pode ser bi-dimensional (R), realizada em linha, ou tridimensional (S), realizada em uma determinada área. No trabalho foi realizado a análise tridimensional (S), obtendo dessa análise as médias aritméticas da rugosidade tridimensional (S_a) e o desvio quadrático médio da rugosidade tridimensional (S_q). O S_q é considerado um parâmetro de amplitude, e descreve a variação da topografia superficial, em relação a um plano médio.

A análise foi realizada no Laboratório de Caracterização Estrutural do Departamento de Engenharia de Materiais (DEMa) da Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). Foi utilizado o equipamento *Lext 3D Measuring Laser Microscope*, marca *Olympus*, modelo OL-S 4.100 e o *software* OL-S 4.100 (Figura 23). A análise foi realizada com aumento de 10x.

Figura 23 - A) Microscópio confocal. B) Amostra dos painéis PMBB sendo analisada.

Fonte: Própria autoria.

6.6.2. Avaliação física

O ensaio físico de inchamento em espessura (IE) foi realizado para avaliação da impermeabilização dos painéis PMBB, com e sem revestimento, seguindo os parâmetros descritos na norma ABNT NBR14810-3 (2013). Para este ensaio foram utilizados 10 corpos de prova preparados com dimensões de 50 mm x 50 mm x 12 mm. Foi determinada a espessura dos corpos de prova antes e depois de submetidos à imersão em água, por 24 horas para o cálculo do IE. Juntamente foram determinadas o comprimento, largura e a massa para o cálculo da variação da área superficial do painel, do volume e absorção de água (AA).

6.6.3. Análise estatística

A análise de variância (ANOVA) foi utilizada: i) para investigar o efeito do fator revestimento (PMBB-C - controle, PMBB-B – revestido com breu, PMBB-LS – revestido com látex-LS e, PMBB-LT – revestido com látex-LT) nos valores da rugosidade (S_a ; S_q) dos painéis

fabricados. Para cada um dos quatro painéis foram fabricadas e testadas três amostras, resultando em 24 determinações da rugosidade. ii) para investigar o efeito do fator revestimento (PMBB-C - controle, PMBB-B – revestido com breu, PMBB-LS – revestido com látex-LS e, PMBB-LT – revestido com látex-LT) nas propriedades físicas dos painéis fabricados de inchamento em espessura (IE) e as variações na área, no volume e na massa do painel. Para cada um dos quatro tipos de painel e para cada uma das quatro propriedades foram fabricadas e testadas 10 amostras, resultando em 160 determinações.

A ANOVA foi aplicada ao nível de 5% de significância, e com o auxílio do *software* Minitab® versão 14. Pelas hipóteses formuladas, P-valor menor que 0,05 implica que pelo menos a média de um dentre os tratamentos se difere das demais, e P-valor maior ou igual a 5% resulta que as médias dos quatro tratamentos são estaticamente equivalentes.

Os testes de Anderson-Darling e de Bartlett foram utilizados sobre os resíduos da ANOVA como forma de avaliar a normalidade e a homogeneidade das variâncias, validando o modelo da análise de variância, e tal condição é constatada quando o P-valor dos testes (pelas hipóteses formuladas) é maior ou igual ao nível de significância, também de 5%.

O teste de Tukey foi utilizado para o agrupamento dos níveis do fator, também considerado ao nível de 5% de significância. Do teste de Tukey, A denota o tratamento de maior valor médio, B o de segundo maior valor médio e assim sucessivamente, e letras iguais implicam em tratamentos distintos com médias equivalentes.

6.7. Efeito do tipo de revestimento nas propriedades térmicas do painel

A capacidade do material de transmitir calor varia conforme a umidade do mesmo. Sendo assim, foi realizada a condutividade térmica (k) dos painéis PMBB, com e sem revestimento, mantidos por 24 horas em câmara climática, marca Solab, modelo SL-206, a 23 °C em 3 condições diferentes de umidade relativa do ar (UR): 30%, 60% e 90%.

O ensaio foi conduzido com o medidor de condutividade térmica DTC300, modelo 2022 (item 5.6.3), conforme a norma ASTM E 1530:2011 na temperatura de 30 °C. As dimensões dos corpos de prova foram de 50 mm de diâmetro e 12 mm de espessura.

Foi utilizada a análise de variância (ANOVA) para investigar o efeito dos fatores revestimento (PMBB-C - controle, PMBB-B – revestido com breu, PMBB-LS – revestido com látex-LS e, PMBB-LT – revestido com látex-LT) e UR (30%, 60%, 90%) assim como da

interação entre ambos (Revestimento x UR) nos valores da condutividade térmica (k) dos painéis PMBB fabricados. A combinação dos fatores resultou em 12 tratamentos distintos, como apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 - Tratamentos experimentais delineados para a análise da condutividade térmica dos painéis PMBB-C (controle sem revestimento), PMBB-B (revestido com breu), PMBB-LS (revestido com látex LS) e PMBB-LT (revestido com látex LT).

Tratamento	Revestimento	UR (%)	Tratamento	Revestimento	UR (%)
1	PMBB-C	30	7	PMBB-LS	30
2	PMBB-C	60	8	PMBB-LS	60
3	PMBB-C	90	9	PMBB-LS	90
4	PMBB-B	30	10	PMBB-LT	30
5	PMBB-B	60	11	PMBB-LT	60
6	PMBB-B	90	12	PMBB-LT	90

Fonte: Própria autoria.

Para cada tratamento foram testadas cinco amostras, resultando em 60 determinações da condutividade térmica.

A ANOVA foi avaliada ao nível de 5% de significância, e com o auxílio do software Minitab® versão 14. Pelas hipóteses formuladas, P-valor menor que 0,05 implica que pelo menos a média de um dentre os tratamentos se difere das demais, e P-valor maior ou igual a 5% resulta que as médias dos doze tratamentos são estatisticamente equivalentes.

Os testes de Anderson-Darling e de Bartlett foram utilizados sobre os resíduos da ANOVA como forma de avaliar a normalidade e a homogeneidade das variâncias, validando o modelo da análise de variância, e tal condição é constatada quando o P-valor dos testes (pelas hipóteses formuladas) é maior ou igual ao nível de significância, também de 5%.

Gráfico de interação foi utilizado na interpretação dos resultados (tendência e melhor e pior tratamento) quando considerada significativa a interação entre os fatores pela ANOVA, e quando a interação não é significativa, o teste de Tukey foi utilizado para o agrupamento dos níveis do fator, também considerado ao nível de 5% de significância. Do teste de Tukey, A denota o tratamento de maior valor médio, B o de segundo maior valor médio e assim sucessivamente, e letras iguais implicam em tratamentos distintos com médias equivalentes.

6.8. Avaliação dos painéis de multicamadas com tratamento superficial ao longo do tempo

Neste item está apresentada a avaliação dos painéis PMBB-C (controle), PMBB-B, PMBB-LS e PMBB-LT (item 6.4), nas idades: zero (0 – corpo de prova inicial sem ser exposto ao envelhecimento), 3 meses e 6 meses de envelhecimento.

6.8.1. Teste de energia de superfície por ângulo de contato

Para avaliar a molhabilidade e a eficiência dos filmes sobre os painéis, foi realizado o teste de energia de superfície por ângulo de contato nos painéis com 0 e 3 meses de envelhecimento, por meio de medições dos ângulos de contato de líquidos com diferentes polaridades com as superfícies dos painéis (TONOLI, 2009). A molhabilidade é uma consequência das interações entre as faces que entram em contato (água e superfície do painel), podendo ser determinada a partir do ângulo que a gota forma na superfície do painel. Portanto, por meio da análise pode-se ter uma indicação da molhabilidade do material, ou seja, quanto menor o ângulo formado maior a molhabilidade, sendo considerada uma superfície hidrofílica quando o ângulo formado for menor que 90° e hidrofóbica quando for maior que 90° (LAZGHAB *et al.*, 2005), como ilustrado na Figura 24.

Figura 24 - Ilustração do ângulo de contato formado em superfícies hidrofóbica e hidrofílicas.

Fonte: própria autoria.

Esta análise foi realizada na EMBRAPA Instrumental em São Carlos, SP. A medição consiste em depositar gotas de água deionizada sobre a superfície dos painéis PMBB. Foram coletadas 5 medições por amostra. Foi utilizado para medição o equipamento de ângulo de contato dinâmico ou goniômetro, CAM 101, marca KSV *Instruments*, equipado com câmera para registro das imagens e *software* KSV *Constact Angle Meansurement system* (Figura 25). Foram registradas fotos a cada 1 s, durante 2 min, totalizando 120 fotos.

Figura 25 - Teste de energia de superfície por ângulo de contato.

Fonte: Própria autoria.

6.8.2. Avaliação físico-mecânica

A avaliação física da variação dimensional do painel, antes e após o processo de envelhecimento natural (3 e 6 meses), foi realizada de acordo com a metodologia descrita por Garzón *et al.* (2016) e a ASTM D 1037 (2006).

Inicialmente foram preparados os corpos de prova nas dimensões nominais de 290 mm x 50 mm x 12 mm. Posteriormente foram medidos três valores de espessuras e largura e um de comprimento, com paquímetro com precisão de 0,1 mm (Figura 26) e foi medida também a massa dos corpos de prova em balança analítica (0,1 g), antes e depois do envelhecimento

natural, e foi calculada a variação na espessura, área na seção superficial, volume e massa do corpo de prova.

Figura 26 - Paquímetro para medir a variação dimensional.

Fonte: Própria autoria.

Os ensaios mecânicos foram realizados de acordo com a norma ABNT NBR14810-3 (2013) conforme descrito na seção 5.6.1. Foram conduzidos na máquina universal de ensaios mecânicos, da marca EMIC. Foram calculados o módulo de ruptura (MOR) e o módulo elástico (MOE) na flexão 3 pontos com vão de 240 mm e velocidade de deslocamento de 9 mm/min.

6.8.3. Microscópio óptico

A fim de analisar a superfície dos painéis, com e sem revestimento, após envelhecimento natural foi utilizado o microscópio óptico. Foi utilizado o microscópio óptico, marca Carl Zeiss, modelo *Axio Image AZM AX10*, com câmera de captura Carl Zeiss, modelo *Axiocam MRC 5* e *software Axio Vision* (Release 4.8.206-20). Foram adotados, para análise, aumentos de 10x e 20x.

6.8.4. Análise estatística

A análise de variância (ANOVA) foi utilizada para investigar o efeito dos fatores revestimento (PMBB-C - controle, PMBB-B – revestido com breu, PMBB-LS – revestido com látex-LS e, PMBB-LT – revestido com látex-LT) e tempo de envelhecimento natural (0 - referência, 3 e 6 meses), assim como da interação entre ambos (revestimento e tempo de envelhecimento natural) nos valores das propriedades físicas e mecânicas de interesse, cabendo ressaltar que a condição de referência (sem envelhecimento- 0) não foi considerada na avaliação das propriedades físicas (variação dimensional). A combinação dos dois fatores resultou em 8 tratamentos para as propriedades físicas e em 12 tratamentos para as propriedades mecânicas, sendo explicitados nas Tabela 11 e Tabela 12, respectivamente.

Tabela 11 - Tratamentos experimentais delineados para a análise das propriedades físicas (variação dimensional) dos painéis PMBB-C (controle sem revestimento), PMBB-B (revestido com breu), PMBB-LS (revestido com látex LS) nos diferentes tempos de envelhecimento.

Tratamento	Revestimento	Tempo (meses)	Tratamento	Revestimento	Tempo (meses)
1	PMBB-C	3	5	PMBB-LS	3
2	PMBB-C	6	6	PMBB-LS	6
3	PMBB-B	3	7	PMBB-LT	3
4	PMBB-B	6	8	PMBB-LT	6

Fonte: Própria autoria.

Tabela 12 - Tratamentos experimentais delineados para a análise das propriedades mecânicas dos painéis PMBB-C (controle sem revestimento), PMBB-B (revestido com breu), PMBB-LS (revestido com látex LS) nos diferentes tempos de envelhecimento.

Tratamento	Revestimento	Tempo (meses)	Tratamento	Revestimento	Tempo (meses)
1	PMBB-C	0	7	PMBB-LS	0
2	PMBB-C	3	8	PMBB-LS	3
3	PMBB-C	6	9	PMBB-LS	6
4	PMBB-B	0	10	PMBB-LT	0
5	PMBB-B	3	11	PMBB-LT	3
6	PMBB-B	6	12	PMBB-LT	6

Fonte: Própria autoria.

Para cada tratamento e para cada uma das quatro propriedades físicas e duas mecânicas avaliadas foram fabricadas e testadas dez amostras, resultando em 560 determinações. A ANOVA foi avaliada ao nível de 5% de significância, e com o auxílio do software Minitab® versão 14. Pelas hipóteses formuladas, P-valor menor que 0,05 implica que pelo menos uma média dentre os tratamentos se difere das demais, e P-valor maior que 5% resulta que as médias dos seis tratamentos são estaticamente equivalentes.

Os testes de Anderson-Darling e de Bartlett foram utilizados sobre os resíduos da ANOVA como forma de avaliar a normalidade e a homogeneidade das variâncias, validando o modelo da análise de variância, e tal condição é constatada quando o P-valor dos testes (pelas hipóteses formuladas) é maior ou igual ao nível de significância, também de 5%.

Gráficos de interação foram utilizados na interpretação dos resultados quando considerada significativa a interação entre os fatores pela ANOVA, e quando a interação não é significativa, o teste de Tukey foi utilizado para o agrupamento dos níveis do fator, também considerado ao nível de 5% de significância. Do teste de Tukey, A denota o tratamento de maior valor médio, B o de segundo maior valor médio e assim sucessivamente, e letras iguais implicam em tratamentos distintos com médias equivalentes.

7. ETAPA 3: ESTUDO DA IMPREGNAÇÃO DE NANOPARTÍCULAS DE PRATA (AgNPs) NOS FILMES

Nesta etapa, está apresentada a produção das nanopartículas de prata (AgNPs) para os filmes de breu e de látex. Foram adotados procedimentos de produção diferentes para cada material. Foram avaliadas quatro concentrações de AgNPs: 0; 2,5; 5 e 10 mmol.L⁻¹. Em seguida, foram realizados os testes microbiológicos nos filmes e nos painéis.

7.1. Preparação de AgNPs para o filme à base de breu

Para produzir as nanopartículas de prata (AgNPs) foi utilizado nitrato de prata (AgNO₃) da marca Synth para a produção. A solução de 1% de hidróxido de sódio (NaOH) foi utilizada

como redutor da solução de AgNO_3 , adicionalmente a solução de NaOH promove a aceleração da reação (BALAVANDY, SHAMELI, ABIDIN, 2015; ALLAHYARZADEH *et al.* 2013).

Para se evitar o crescimento de grãos foi empregado o hidróxido de amônio 28-30%, da marca Neon. A amônia derivada da dissociação do hidróxido de amônio, age como um moderador da cinética de crescimento e aglomeração das nanopartículas (OLYVEIRA; CARVALHO; PESSAN, 2009). A metodologia de preparação das nanopartículas de prata consistiu na dissolução do AgNO_3 em água deionizada, nas concentrações de 0; 2,5; 5 e 10 mmol.L^{-1} , seguindo recomendações de Olyveira, Carvalho e Pessan (2009).

A solução foi mantida sob constante agitação e gotas da solução NaOH (1%) foram adicionadas até a alteração da coloração para amarelo amarronzado na dispersão coloidal. Após alteração da coloração, foi adicionado 0,1 mL da solução amoniacal 28%. O sistema foi mantido sob agitação e protegido da radiação solar com um papel alumínio, por 30 min. A impregnação da prata coloidal nos corpos de prova produzidos/tratados com breu foi realizada por imersão.

7.2. Preparação de AgNPs para o filme com látex

A preparação das nanopartículas de prata utilizadas nos filmes de látex LS e LT foi baseada nas metodologias descritas por Olyveira, Carvalho e Pessan (2009) e Rathnayake *et al.* (2012). Os AgNPs foram sintetizados dentro do próprio látex, nas concentrações de 0; 2,5; 5 e 10 mmol.L^{-1} , seguindo a metodologia descrita abaixo:

- Pesagem do nitrato de prata (AgNO_3) para as concentrações de 2,5; 5 e 10 mmol.L^{-1} e dissolução em água deionizada, neste caso utilizou-se apenas 15% de água do volume total desejado.
- A solução em constante agitação foi adicionada à solução de NaOH (1%) até a alteração da coloração de translúcido para amarelo amarronzado.
- Juntamente, foram preparados os látex LS e LT, conforme descrito na seção 6.3.
- Após a alteração da coloração foi adicionado o látex LS ou LT.
- A solução látex+AgNPs foi mantida por 30 min sob agitação e protegida da radiação solar utilizando um papel alumínio sobre o bécker.

7.3. Caracterização e distribuição de nanopartículas de prata

7.3.1. Espectroscopia UV-Vis

Para avaliar a formação do complexo da prata da solução coloidal utilizada para recobrir o filme de breu foi utilizada a espectroscopia de UV-Vis. Os espectros UV-Vis das AgNPs foram obtidos a partir das soluções aquosas, no espectrofotômetro UV-vis (modelo DM-ESPEC, marca Digimed), na região de 190 a 800 nm, em cubeta de quartzo com 1 cm de caminho óptico, utilizando-se água como branco.

7.3.2. Difratoimetria de raios-X

A análise de difração de raio-X (DRX) visou avaliar a formação de Ag⁰ (prata metálica) nos filmes de látex LS e LT. O equipamento utilizado foi o Difratometro XS (Modelo MiniFlex 600, marca Rigaku), operado com 40 kV x 15 mA. Radiação Cu-K α , comprimento de onda λ de 1,54056Å. Ensaio padrão: Theta/2theta, passo de 2°/min entre 2,5 e 80°.

7.3.3. Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectroscopia de energia dispersiva (EDS)

A fim de observar a formação e o tamanho das partículas das nanopartículas de prata no látex e sobre o breu realizou-se a análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV) e a análise de espectroscopia de energia dispersiva (EDS), conforme descrito na seção 5.3.3. A distribuição do tamanho de partículas foi realizada por meio da análise de imagem das micrografias com o auxílio do *software* Image J.

7.4. Avaliação microbiológica

Foram realizados dois testes microbiológicos, o primeiro por teste de sensibilidade pelo método de difusão em ágar com fita de celulose modificada, e o segundo pelo método de inibição do crescimento microbiano em material higienizado nos painéis PMBB revestidos, com e sem, solução de prata coloidal (KIM; KIM, 2006).

7.4.1. Preparo do meio de cultura

Nos ensaios microbiológicos foram utilizados: o caldo BHI² (*Brain Heart Infusion*), marca Kasvi, o ágar Mueller-Hinton³, marca Kasvi e o ágar nutriente⁴, da marca Kasvi. O caldo BHI foi diluído na proporção de 37 g de BHI para 1000 mL de água. A solução foi dividida em alíquotas de dez mL em tubos de ensaios, que, em seguida foram esterilizados em autoclave com temperatura a 120 °C, 1 atm por 15 min.

O meio de ágar Mueller-Hinton foi diluído na proporção de 36 g de ágar para 1000 mL de água, a solução foi aquecida para dissolver completamente e em seguida esterilizado em autoclave com temperatura de 120 °C, 1 atm por 15 min. Foram inseridos aproximadamente 70 mL de ágar em cada placa de Petri de 150 mm de diâmetro.

O ágar nutriente foi diluído na proporção de 28 g de ágar nutriente para 1000 mL de água. A solução foi aquecida para dissolver completamente e em seguida esterilizado em autoclave com temperatura de 120 °C, 1 atm por 15 min. Foram colocados aproximadamente 20 mL de ágar em cada placa de Petri de 90 mm de diâmetro.

² Caldo BHI (Brain Heart Infusion = Infusão de cérebro e coração) é um meio de cultura de utilização geral, apresenta composição: 17.5 g de Infusão do coração e do cérebro, 10 g de peptona, 2.0 g de glicose, 5.0 g cloreto de sódio, 2.5 g fosfato dissódico por 1000mL de água.

³ Ágar Muller-Hinton é um meio de cultura microbiológico que é frequentemente usado para testes de susceptibilidade antimicrobiana, apresenta composição: 2.0 g de extrato de carne, 17.5 g de ácido casamino, 1.5 g de amido, 15 g de ágar por 1000 mL de água.

⁴ Ágar nutriente é um meio de cultura de uma ampla variedade de microrganismo, apresenta composição: 1,0 g de extrato de carne, 2,0 g de extrato de levedura, 5,0 g de peptona, 5,0 g de cloreto de sódio e 15 g de ágar por 1000 mL de água.

7.4.2. Cultura bacteriana

Foram testados 2 micro-organismos (M.O.). Bactérias gram-negativas, *Escherichia coli* (ATCC⁵ 25922) e bactérias gram-positivas, *Staphylococcus aureus* (ATCC 25923). Foram utilizadas essas bactérias, uma vez que ambas são estirpes de referências utilizadas para teses de susceptibilidade à antimicrobianos (LEUNG *et al.*, 2006). Além de serem causadores das principais doenças infecciosas (diarreia e respiratória) que afetam os leitões. As bactérias foram incubadas em caldo BHI em estufa para cultura bacteriológica, modelo DT-6150C, marca Diag Tech, a 38 °C por 24 h. Após a incubação, a suspensão bacteriana foi padronizada em espectrofotômetro, modelo Cirrus 80 MB, marca FEMTO, em um comprimento de onda (λ) de 625 nm, para obtenção de uma leitura entre 0,08 e 0,1 de densidade óptica (DO) que corresponde a uma concentração de 1 a 2×10^8 UFC/mL⁶, equivalente ao ponto 0,5 da escala MacFarland⁷.

7.4.3. Teste de sensibilidade pelo Método de Difusão em ágar modificado

O ensaio microbiológico por difusão em ágar foi feito pelo teste de sensibilidade utilizando o Método de Difusão em ágar modificado, seguindo as recomendações da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), descrito na farmacopeia brasileira (BRASIL, 2010), o documento normativo NCCLS M7-A6 (2003) e segundo recomendações de Bauer *et al.* (1966).

Foram produzidos discos adaptados com dimensões de 20 mm de diâmetro com 0,15 mm de espessura. Na Figura 27 está ilustrado o esquema de produção dos discos. Antes da preparação todos os equipamentos e instrumentos utilizados foram esterilizados em autoclave por 15 min com temperatura de 121 °C a 1,1 atm de pressão, e a preparação foi conduzida próximo à chama de fogo, utilizando-se um bico de Bunsen. Primeiramente foi preparado o

⁵ ATCC - American Type Culture Collection, é uma organização privada sem fins lucrativos dedicada à aquisição, preservação, autenticação e distribuição de diversos materiais biológicos.

⁶ UFC – Unidade formadora de colônia - é uma unidade de medida usada para estimar o número de bactérias ou fungos viáveis

⁷ Escala McFarland é o padrão de turvação utilizado para comparar a turvação da suspensão do teste realizado para determinar o número aproximado de bactérias em uma suspensão líquida (McFarland, 1907).

filme de 0,15 mm de espessura e em seguida os discos foram cortados na dimensão desejada com uma punção com 20 mm de diâmetro de aço inoxidável esterilizado. Na preparação do breu o material foi aquecido sem realizar a diluição em etanol para formar o filme de 0,15 mm e em seguida os discos foram cortados e depois imerso na solução coloidal de AgNPs para realização da análise. O preparo dos filmes a base de látex LS e LT com AgNPs nas concentrações de 0; 2,5; 5 e 10 mmol.L⁻¹ ocorreu conforme descrito na seção 7.2. A secagem dos filmes em estufa 60 °C, foi realizada em um ambiente esterilizado que os manteve isolados dentro da estufa, em seguida os discos foram cortados utilizando punção de aço inoxidável estéril, próximos ao fogo, para evitar contaminação.

Figura 27 - Esquema da preparação dos discos.

Fonte: Própria autoria.

Foi inoculada a suspensão bacteriana padronizada em 1 a 2×10^8 UFC/mL (UFC = unidade formadora de colônias) nas placas de Petri contendo meio de ágar Mueller-Hinton. Foi realizada a semeadura por esgotamento com auxílio de um suabe estéril, evitando deixar áreas descobertas até mesmo na margem da placa de Petri. Em seguida, foram colocados 4 discos e um disco controle nas placas de Petri, para cada placa foi analisado um tipo de material (LS, LT ou B) com as 4 concentrações de AgNPs e um antibiótico comercial para controle (OTA *et al.*, 2010) o teste foi realizado em duplicata. Foi utilizado discos de papel celulose com cloranfenicol 30 µg como controle no teste com *Escherichia coli* e discos de papel celulose com penicilina. As placas foram incubadas em estufa de cultura bacteriológica modelo DT-6150C, marca Diag Tech, a 38 °C por 24 h (Figura 28-A). Após o período de incubação foi feita a medição do diâmetro dos halos de inibição do crescimento bacteriano ao redor de cada disco formado (Figura 28-B e C).

Figura 28 - Método de difusão em ágar modificado, A) placa incubadas com os filmes em estufa de cultura bacteriológica; B) 24 h após incubação e avaliação da formação do halo; C) medição do halo.

Fonte: Própria autoria.

Após o ensaio microbiológico por difusão em ágar, foi realizada a avaliação para determinar se o material apresentava caráter bactericida ou bacteriostático, por meio da adaptação do teste de concentração mínima inibitória (CMI) (NCCLS M7-A6, 2003). O teste foi realizado nos materiais que apresentaram o halo de inibição de crescimento, dando preferência à menor concentração de AgNPs do material.

Primeiramente, foi realizada a diluição da suspensão bacteriana padronizada (1 a 2×10^8 UFC/mL) (UFC: Unidade formadora de colônia) em 1:10 para obter uma suspensão de 1 a 2×10^7 UFC/mL. Em um tubo de vidro esterilizado foi colocado 2,37 mL de caldo BHI e 0,13 mL da suspensão bacteriana diluída. O teste foi conduzido em duplicatas perto da chama de fogo. Em cada tubo foi colocado aproximadamente meio disco para realizar a avaliação (Figura 29-A). Os tubos foram incubados em estufa de cultura bacteriológica a 38°C por 24 h. Após o período de incubação foi avaliado se o tubo apresentava o líquido turvo ou transparente

(Figura 29-B). Nos tubos que apresentaram o líquido transparente, uma amostra foi semeada em placas de Petri contendo meio de ágar Mueller-Hinton com o auxílio de um suabe estéril. As placas foram incubadas em estufa de cultura bacteriológica a 38 °C por 24 h para posterior avaliação de crescimento ou não da bactéria (Figura 29-C). Portanto, se o tubo apresentasse o líquido transparente e na placa após a semeadura houvesse crescimento, demonstrar-se-ia que o material apresenta efeito bacteriostático, e se não houver crescimento, o material apresenta efeito bactericida (NCCLS M7-A6, 2003).

Figura 29 - Teste de concentração mínima inibitória, A) início do teste CMI com meio disco inserido dentro da solução bacteriana; B) após 24 h de incubação, avaliação visual do tubo (transparente ou turvo); C) avaliação crescimento bacteriano na placa após 24 h de incubação.

Fonte: Própria autoria.

7.4.4. Método de inibição do crescimento microbiano nos painéis

O ensaio microbiológico pelo método de inibição do crescimento microbiano em material higienizado foi realizado conforme descrito por Kim e Kim (2006). Foram utilizados os mesmos micro-organismos do ensaio por difusão em ágar. Este teste consistiu em inocular os bacilos na superfície dos painéis PMBB-C (sem recobrimento, controle), PMBB-B (recoberto com breu), PMBB-LS (recoberto com látex LS) e PMBB-LT (recoberto com látex LT).

A concentração de AgNP para realização do desta análise foi conduzida conforme os resultados apresentados no teste de sensibilidade utilizando o método de difusão em ágar. Na Figura 30 está ilustrado o esquema do ensaio microbiológico.

O ensaio foi realizado em duplicata, e foram utilizados corpos de prova do painel PMBB com dimensões de 40 mm x 40 mm. Primeiramente, os corpos de prova foram esterilizados em autoclave com controle de temperatura e pressão (121 °C, 1 atm de pressão, por 15 min). Em seguida, em ambiente limpo e próximo ao fogo, foram aplicados os filmes nos painéis, todos por meio de imersão, para evitar contaminação. Os corpos de prova foram mantidos em ambiente fechado e esterilizado para secagem do material, no caso do breu em temperatura ambiente e no caso do látex em estufa a 60 °C por 24 h.

Após produção dos corpos de prova, foi realizada a diluição da suspensão bacteriana padronizada (1 a 2×10^8 UFC/mL) em 1:100 para obtenção da suspensão de 1 a 2×10^6 UFC/mL. Foi retirada uma alíquota de 0,1 mL da amostra diluída e inoculada na superfície dos painéis, em seguida, com uma alça de Drigalski⁸ a solução foi espalhada sobre toda a superfície. Os corpos de prova foram mantidos em placas de Petri esterilizadas em estufa de cultura bacteriológica a 38 °C por 24 h.

Após este período, os corpos de prova foram lavados com solução neutra de água peptonada (0,1%), foi utilizada para a lavagem 20 mL da solução neutra. A superfície do corpo de prova que foi inoculada com a bactéria diluída foi mantida voltada para baixo, imerso na solução de lavagem por 4 h para total extração das bactérias, visto que a superfície do painel PMBB é muito irregular e rugosa.

⁸ Alça de Drigalski – Haste plástica em formato de L, utilizado para espalhar amostras líquidas na superfície do ágar contidos nas placas de Petri

Em seguida uma alíquota de 0,1 mL obtida a partir desta solução foi inoculada nas diluições 10^0 , 10^{-1} e 10^{-2} em meio de ágar nutriente e mantida em estufa de cultura bacteriológica a 38 °C por 24 h e 48 h. Os números de colônias foram contados manualmente ao final, com auxílio de uma lupa de aumento.

Figura 30 - Esquema ensaio microbiológico pelo método de inibição do crescimento microbiano em material higienizado.

Fonte: Própria autoria.

Uma amostra em branco para cada bactéria foi também realizada, sendo adotadas as diluições de 10^0 , 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} , 10^{-5} e 10^{-6} . Para o cálculo da taxa de redução bacteriana foi utilizada a Eq. 4 (KIM; KIM, 2006).

$$\text{Taxa de redução (\%)} = \frac{(A - B)}{A} \times 100 \quad \text{Eq. 4}$$

sendo, A o número de bactérias depois de 24 h da amostra em branco e B , o número de bactérias depois de 24 h inoculadas no painel.

8. ETAPA 4 – APLICAÇÃO DOS PAINÉIS EM INSTALAÇÃO SUINÍCOLA.

Nesta etapa, o painel PMBB com melhor desempenho apresentado na etapa 3 foi utilizado para avaliação em instalação rural. Foram confeccionados dois escamoteadores, um com painel PMBB do estudo e o outro com chapa compensada laminada de madeira comercial, usualmente utilizado, e o atraso térmico de cada material foi determinado. Foram avaliados os microclimas internos de cada escamoteador e avaliado os índices de conforto térmico e bem-estar animal.

8.1. Atraso térmico

Segundo a norma NBR 15220 (2005), atraso térmico de um material pode ser definido como: *“tempo transcorrido entre uma variação térmica em meio à sua manifestação na superfície oposta de um componente construtivo submetido a um regime periódico de transmissão de calor”*. O atraso térmico (φ) (h) pode ser estimado conforme a Eq. 5:

$$\varphi = 1,382e\sqrt{\rho \cdot c/3,6k} \quad \text{Eq. 5}$$

onde, e é espessura da placa (m); k é a condutividade térmica do material (W/mK); ρ é a densidade aparente do material (kg/m³); c é o calor específico do material (kJ/kg.K).

Foi utilizando um analisador de propriedade térmica K2D Pro, da marca Decagon Devices, Inc. para determinar o calor específico volumétrico (c_v) ($\text{MJ}/\text{m}^3\text{K}$) dos materiais Figura 31-A). O sensor para coleta do calor específico volumétrico foi o *30 mm dual-needle* (SH-1), a distância entre as agulhas é de 6 mm (Figura 31-B). Para realizar a análise foram utilizados corpos de prova com dimensões de 50 mm x 50 mm x 12 mm. Em cada corpo de prova foram feitos dois furos com furadeira de bancada com distância de 6 mm para a inserção das agulhas (Figura 31-C). O ensaio foi realizado em ambiente controlado, em estufa de ventilação forçada, com temperatura de 30 °C.

Figura 31 – Determinação do calor específico: A) analisador K2D Pro; B) sensor SH-1; C) posicionamento do sensor no corpo de prova.

Fonte: Própria autoria.

8.2. Construção dos escamoteadores

A montagem do escamoteador foi conforme esquematizada na Figura 32. Cada escamoteador foi manufaturado com dimensões nominais de aproximadamente 0,8 m de comprimento, 0,5 m de largura e 0,5 m de altura, com uma área total de 0,4 m². A dimensão ficou limitada à dimensão dos painéis PMBB e ao equipamento utilizado para prensagem dos painéis PMBB durante a produção. Os escamoteadores apresentaram cobertura teto móvel para melhor manuseio dos equipamentos de coleta do ambiente.

Figura 32 - Imagem ilustrativa do abrigo escamoteador.

*Módulos sugeridos são em milímetros. Fonte: Própria autoria.

8.3. Avaliação do microclima interno no abrigo escamoteador

A avaliação do microclima interno no abrigo escamoteador foi realizada no Setor de Suinocultura do Campus Fernando Costa USP Pirassununga. Os escamoteadores foram mantidos no setor da maternidade (Figura 33).

Figura 33 - Setor de Suinocultura - Maternidade.

Cortina aberta

Cortina fechada

Fonte: Própria autoria.

Os escamoteadores foram divididos em 4 quadrantes (Q1, Q2, Q3 e Q4) para o mapeamento geotérmico do microclima interno e em cada quadrante foi inserido um dataloger, posicionado ao centro, como apresentadas na Figura 34 e na Figura 35. Em cada quadrante inferior (Q1 e Q2) foi posicionado um globo negro no centro de massa do leitão. Foram coletados os seguintes parâmetros: temperatura do ar, umidade, ponto de orvalho e, nos quadrantes inferiores, foram coletadas também as temperaturas de globo negro (T_g) (PANDORFI, 2002). Além disso, os dados de temperatura e umidade da maternidade foram mensurados.

Figura 34 - Divisão interna do escamoteador e visão interna do escamoteador.

Fonte: Própria autoria.

Os dados das variáveis climáticas foram coletados a cada 15 min, das 18 h às 8 h, incluindo o período da noite e madrugada. O período de coleta foi de 7 dias (17/05/2017 a 24/05/2017), período de maior exigência térmica dos leitões (PANDORFI, 2002). Foi usado um anemômetro digital para coleta da velocidade do vento (vv). Como fonte de aquecimento, lâmpadas incandescentes dispostas a 45cm de altura foram adotadas. Foi utilizado piso emborrachado dentro do escamoteador, igual ao utilizando no setor de suíno.

Figura 35 - Imagem interna do escamoteador com os loggers e globo negro.

Fonte: Própria autoria.

Através dos dados coletados, foram determinados os índices de carga térmica radiante (CTR), o índice de temperatura de globo negro e umidade (ITGU) e entalpia (H), segundo as seguintes equações:

- a) Índice de temperatura de globo negro e umidade, proposto por Buffington et al. (1981), Eq. 6:

$$ITGU = T_g + 0,36T_o + 41,15 \quad \text{Eq. 6}$$

sendo, T_g = temperatura de globo negro (°C); T_o = temperatura do ponto de orvalho (°C).

- b) Índice de carga térmica radiante (W.m^{-2}), proposto por Esmay (1982), Eq. 7 e Eq. 8:

$$CTR = \tau(TMR)^4 \quad \text{Eq. 7}$$

$$TMR = 100 \left\{ \left[2,51(vv)^{0,5}(T_g - T_{bs}) + \left(\frac{T_g}{100} \right)^4 \right]^{0,25} \right\} \quad \text{Eq. 8}$$

sendo, TRM = temperatura média radiante; vv = velocidade do vento (m.s^{-1}); Tg = temperatura de globo negro (K); Tbs = temperatura de bulbo seco (K); $t = 5,67 \times 10^{-8} \text{ K}^{-4} \cdot \text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ (constante de Stefan-Boltzmann).

c) Entalpia (kJ/kg de ar seco), proposto por Rodrigues *et al.*, 2011, Eq. 9:

$$H = 1,06Tbs + \frac{UR}{P_b} \times 10^{\left[\frac{(7,5 * Tbs)}{(237,3 + Tbs)} \right]} \times (71,28 + 0,052 \times Tbs) \quad \text{Eq. 9}$$

sendo, H = entalpia (kcal/kg de ar seco), Tbs = temperatura de bulbo seco ($^{\circ}\text{C}$), UR = umidade relativa (%); P_b = pressão barométrica local (mmHg).

8.4. Análise estatística

Polinômios baseados no modelo de regressão quadrático (Eq. 10) fundamentados na análise de variância (ANOVA), avaliada ao nível de 5% significância, foram utilizados com o propósito de relacionar cada uma das propriedades T, UR, H, Tg, ITGU e CTR com os fatores tipos de escamoteador para os leitões [Tesc] (em compensado (0), em PMBB (1)), quadrantes [Q] (1, 2, 3, 4) e noites [Nt] (1, 2, 3, ..., 7) e horários [h] (18, 19, 20, ..., 7 h) de medição. A combinação dos níveis dos fatores resultou em 784 tratamentos distintos, e por terem sido feitas seis medições a cada hora, foram obtidos 4704 valores de cada uma das 6 propriedades que estão envolvidas na variável resposta (Y).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot \text{Tesc} + \beta_2 \cdot Q + \beta_3 \cdot \text{Nt} + \beta_4 \cdot h + \beta_5 \cdot \text{Tesc}^2 + \beta_6 \cdot Q^2 + \beta_7 \cdot \text{Nt}^2 + \beta_8 \cdot h^2 + \beta_9 \quad \text{Eq. 10}$$

$$\text{Tesc} \cdot Q + \beta_{10} \cdot \text{Tesc} \cdot \text{Nt} + \beta_{11} \cdot \text{Tesc} \cdot h + \beta_{12} \cdot Q \cdot \text{Nt} + \beta_{13} \cdot Q \cdot h + \beta_{14} \cdot \text{Nt} \cdot h + \varepsilon$$

Tal metodologia possibilita identificar a significância e a forma (aumento ou redução) como cada termo afeta a variável resposta (Y) de interesse assim, como determinar as composições associadas aos valores extremos, cabendo destacar que a qualidade do ajuste é medida pelo coeficiente de determinação (R^2).

O teste de comparações múltiplas de Tukey (5% de significância) foi utilizado para contrastar as médias dos níveis de cada fator, em que A representa o nível de maior valor médio,

B o nível com o segundo maior valor médio, e assim sucessivamente, e letras iguais implicam em níveis do fator com médias estatisticamente equivalentes. Nessa análise o ambiente externo foi também considerado, possibilitando investigar a sua influência em relação aos abrigos feitos de painel compensado e PMMB. Os testes de Anderson-Darling e de Bartlett foram utilizados para validação dos resultados do teste de Tukey, e tal condição é constatada quando o P-valor dos testes (pelas hipóteses formuladas) é maior ou igual ao nível de significância, também de 5%.

9. RESULTADOS E DISCUSSÕES DA ETAPA 1

9.1. Caracterização bagaço de cana-de-açúcar e do bambu

Na Tabela 13 estão listadas algumas as características físicas das matérias primas lignocelulosicas utilizadas para produção dos painéis PMBB. O bagaço e o bambu apresentaram valores de densidade real de 1,33 g/cm³ e 1,5 g/cm³ respectivamente. Os valores do bagaço foram próximos ao encontrado por Sartori (2012), sendo de 1,41 g/cm³.

A relação da densidade real do painel com a densidade real da matéria prima (razão de compactação) é um parâmetro de grande importância na estabilidade dimensional e na resistência mecânica do painel de partículas. Painéis com maior razão de compactação apresentarão propriedades mecânicas superiores, porém, menor estabilidade dimensional (IWAKIRI *et al.*, 2008).

Com relação ao teor de umidade, os valores obtidos no trabalho ficaram acima do encontrado na literatura para painéis de partículas à base de bagaço de cana-de-açúcar de 3% de umidade (FIORELLI *et al.*, 2013; MENDES *et al.*, 2009). Moslemi (1974) *apud* Bertolini *et al.* (2013) recomendam o teor de umidade entre 3-6%, contudo a literatura para este teor refere-se, principalmente, para aglomerados feitos com resinas à base de formaldeído. Segundo Nascimento (2003) e Dunky e Pizzi, (2002), a resina poliuretana requer teor de umidade maior que a resina à base de formaldeído, devido ao grupo isocianato, que reage com a água, liberando dióxido de carbono e auxilia na expansão do polímero.

Tabela 13 - Valor médio da densidade real e o teor de umidade do bagaço de cana-de-açúcar e bambu.

	Densidade real (g/cm ³)	Teor de Umidade (%)
Bagaço de cana-de-açúcar	1,33	5,98
Bambu	1,5	6,34

Fonte: Própria autoria.

Na Tabela 14 está apresentada a análise química realizada no bagaço de cana e no bambu, são observados os altos teores de lignina e celulose nestes materiais. Quanto maior o teor de lignina e celulose maiores serão os valores de resistência mecânica dos painéis de partículas. O bambu apresentou maiores teores de lignina e celulose, sendo respectivamente 30,40% e 52,41%, quando comparado ao bagaço de cana-de-açúcar que apresentou valores de 17,88% e 42,06% respectivamente para a lignina e celulose.

Tabela 14 - Composição química do bagaço de cana-de-açúcar e do bambu.

		Bagaço	Bambu
Teor de cinza	(%)	2,95	1,44
Teor de extrativos	(%)	3,39	0,40
Teor de lignina insolúvel	(%)	17,88	30,40
Teor de celulose	(%)	42,06	52,41
Teor de hemicelulose	(%)	31,65	25,49

Fonte: Própria autoria.

Estes resultados apresentam os teores dos componentes químicos dos materiais próximo aos encontrados por Gouveia *et al.* (2009) e Brito *et al.* (1987). Em seu estudo Gouveia *et al.* (2009) encontraram valores de composição química do bagaço de cana de açúcar de 22,1% de lignina, 42,8% de celulose, 25,8% de hemicelulose e quantidade de extrativos de 6,1%. Segundo Brito *et al.*, (1987) para bambu *Dendrocalamus giganteus* tem-se como composição química de 63,7% de holocelulose, 20-25% e 23,4 % de lignina.

Os valores obtidos na análise química das amostras e bagaço de cana-de-açúcar e bambu empregados neste estudo demonstram serem adequados para a produção dos painéis PMBB, pois o alto teor de lignina e celulose conferem ao material uma maior resistência.

A Figura 36 e a Figura 37 apresentam as micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura, da parte superficial e transversal das partículas de bagaço de cana-de-açúcar e

bambu. É possível observar nas imagens superficiais do bagaço e do bambu uma porosidade com diâmetro que varia de 0,95 μm a 1,64 μm .

Na seção transversal foi observado os diâmetros dos lúmens das células variando de 18,4 μm a 51,8 μm para o bagaço de cana-de-açúcar e de 1,5 μm a 2,8 μm para o bambu. O bagaço de cana mostrou-se ser mais poroso.

Figura 36 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) do bagaço de cana-de-açúcar: A) da superfície e B) da secção transversal.

Fonte: Própria autoria.

Figura 37 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura (MEV) do bambu: A) da superfície e B) da secção transversal.

Fonte: Própria autoria.

Segundo Iwakiri (2005), as características morfológicas como dimensão dos elementos celulares e as cavidades celulares, estão diretamente relacionadas com a porosidade e a permeabilidade do material. E, para produção dos painéis, a porosidade e a permeabilidade influenciam na colagem das partículas. Pois tais características apresentam estreita relação com o movimento do adesivo para o interior da estrutura da madeira, possibilitando uma adequada ancoragem (DEVRIES; ADAMS, 2002).

Fiorelli *et al.* (2014) também discutem que a porosidade da matéria prima tem efeito sobre as propriedades físicas e mecânicas dos painéis, pois quanto menor a porosidade do material, menor será a penetração do adesivo, o que resulta em uma ligação adesiva mais superficial e menos resistente.

9.2. Interação: material lignocelulósico e resina poliuretana de óleo de mamona

Durante a formação do painel, diferentes processos de interação entre a resina com o material lignocelulósico ocorrem, podendo ser separados, especialmente, em processos mecânicos, químicos e eletrostáticos.

O processo mecânico irá depender da morfologia do material lignocelulósico e da viscosidade da resina utilizada. A morfologia da matéria prima tem relação direta com a adequada ancoragem da resina sobre a superfície e a penetração no interior da estrutura do material lignocelulósico através dos poros (DEVRIES, ADAMS, 2002).

Na Figura 38, estão apresentadas as micrografias do painel PMBB. Foi possível observar a dispersão da resina sobre a superfície e no interior da estrutura da partícula, indicando a influência da morfologia das partículas de bagaço de cana-de-açúcar e de bambu facilitam no processo de ancoragem mecânica com a resina.

Figura 38 - Micrografias do MEV do painel PMBB. As flechas indicam as regiões com resina.

Fonte: Própria autoria.

O processo químico entre as partículas e a resina consiste na interação química do grupo isocianato da resina de óleo de mamona com o grupo -OH da celulose ou lignina do material ou o grupo -OH presente na umidade do material, formando uma ligação covalente, como apresentado na Eq. 11. (PAPADOPOULOS *et al.*, 2002; DUNKY, PIZZI, 2002). Essa interação química foi avaliada por meio da análise de FT-IR cujo o gráfico está na Figura 39.

Na Figura 39, estão apresentados os espectros de infravermelho (FTIR) obtidos de cada componente utilizado para a formação do painel: o material lignocelulósico (bagaço de cana-de-açúcar e bambu) e a resina de óleo de mamona, polimerizado na proporção de 1:1 (poliol : pré-polímerol), e o painel PMBB inteiro.

Nos espectros do bagaço de cana-de-açúcar e bambu, foram observados os picos característicos do material lignocelulósico a 3350 cm^{-1} , atribuído ao estiramento do O-H da celulose; a 2925 e 2850 cm^{-1} atribuído ao estiramento do C-H; a 1640 cm^{-1} a dobra O-H de água adsorvida e a 1030 cm^{-1} correspondendo a vibração do estiramento do C-OH da celulose e lignina; (RODRIGUES *et al.*, 2015; PANDEY 1999; STARK; MATUANA; CLEMONS, 2004).

Figura 39 - A) Espectros de infravermelho (FTIR) do bagaço de cana-de-açúcar, do bambu, da resina de óleo de mamona e do painel PMBB formado. B) Detalhes da faixa do espectro entre 2000 a 800 cm^{-1} .

Fonte: Própria autoria.

No espectro da resina de óleo de mamona, foram observados os principais picos característicos da poliuretana: a 3330 cm^{-1} referente à ligação N-H do uretano; a 2925 e 2857 cm^{-1} atribuída às bandas C-H assimétricas e simétricas do grupo CH_2 ; a 1720 cm^{-1} do estiramento C=O do uretano (DAS *et al.* 2017; LUONG, *et al.* 2016); e a 2276 cm^{-1} atribuído à ligação N=C=O do isocianato, sua ausência indicando que todo o isocianato livre do pré-polímero reagiu com a mistura de poliol ou com os OH da celulose e da lignina (LUONG, *et al.* 2016).

No espectro do painel PMBB (Figura 39), o pico correspondente ao isocianato (2276 cm^{-1}) não aparece, os picos das bandas -OH da celulose a 3350 cm^{-1} , C-OH da celulose e da lignina a 1030 cm^{-1} e -OH da água adsorvida a 1640 cm^{-1} diminuem quando comparados ao espectro do bagaço e do bambu. Foram constatadas as formações das bandas C=O a 1714 cm^{-1}

e N-H a 1551 cm^{-1} correspondentes à reação do isocianato da resina com o OH da celulose e da lignina do material lignocelulósico (DUNKY, PIZZI, 2002).

Por fim, o processo de interação eletrostática entre a resina e o material lignocelulósico ocorre por conta da presença de elétrons livres na camada de valência dos elementos de ligação e, desta forma, as cargas eletrostáticas de sinal opostos tendem a ser atrair mutuamente (DEVRIES, ADAMS, 2002).

Na Figura 40, estão apresentados os valores de potencial zeta (ζ) dos componentes do painel PMBB (bagaço de cana-de-açúcar, bambu e resina) em função do pH. A resina estudada apresenta o valor de pH igual a aproximadamente 6 e, nesse pH, a resina apresentou valor de ζ de -5,9 mV. Enquanto o bagaço de cana-de-açúcar se encontra no ponto isoelétrico ($\zeta=0$), o bambu acaba de sair da região de floculação, apresentando valor de ζ de -28,35 mV, sendo estável em solução (YANG; NEUBAUER; JENNINGS, 1997). Portanto, o bambu apresentou repulsão eletrostática com a resina, enquanto que o bagaço apresentou uma leve atração eletrostática.

Figura 40 - Valores do potencial zeta em função do pH para as matérias primas constituintes do painel.

Fonte: Própria autoria.

9.3. Avaliação do tipo de moldagem (PMBB - M1 *versus* PMBB - M2)

9.3.1. Caracterização físico, mecânica e térmica

Na Tabela 15 estão apresentados os valores médios ($\bar{x}$) das propriedades densidade aparente (ρ), espessura e teor de umidade (TU), segundo a norma ABNT NBR14810-3 (2013), para os painéis fabricados segundo os dois processos de moldagem: PMBB-M1 (com prensagem entre as camadas) e PMBB-M2 (sem prensagem entre as camadas), os coeficientes de variação (CV), os intervalos de confiança da média (IC), ao nível de 95% de confiança, e os resultados do teste de contraste de Tukey.

Tabela 15 - Resultados da densidade, teor de umidade e espessura dos painéis PMBB-M1 (com prensagem entre as camadas) e PMBB-M2 (sem prensagem entre as camadas).

Propriedades	PMBB-M1			PMBB-M2		
	$\bar{x}$	CV (%)	IC	$\bar{x}$	CV (%)	IC
ρ (g/cm ³)	0,57 ^A	2,81	(0,56; 0,59)	0,59 ^A	6,38	(0,56; 0,61)
Espessura (mm)	12,55 ^A	1,22	(12,44; 12,66)	12,47 ^A	3,17	(12,19; 12,75)
T U (%)	4,68 ^B	3,64	(4,56; 4,80)	5,46 ^A	2,85	(5,34; 5,57)

Letras iguais na linha implicam níveis do fator com médias estatisticamente equivalentes ao nível de 0.05 de significância. Fonte: Própria autoria.

Os P-valores do teste de normalidade de Anderson-Darling referentes às três propriedades da Tabela 15 variaram entre 0,074 a 0,553, e do teste F para a análise da equivalência das variâncias, os P-valores variaram entre 0,064 a 0,791, e por serem superiores ao nível de significância (5%), constatou-se a validação do teste de Tukey.

Os painéis de partículas são classificados em três classes de densidade: alta (> 800 kg/m³), média (entre 640-800 kg/m³) e baixa (< 640 kg/m³) (ANSI A208.1, 1999). As densidades nominais dos painéis PMBB com as moldagens M1 e M2 foram de 0,57 e 0,59 g/cm³, respectivamente enquadrando-os como painéis de baixa densidade.

Pode-se observar que não houve diferença significativa na densidade aparente e na espessura dos painéis PMBB com a moldagem M1 e M2 ($p > 0,05$), demonstrando que os requisitos estabelecidos de produção de densidade e espessura permaneceram iguais para as

duas moldagens, pois essas propriedades influenciam o comportamento das propriedades físicas e mecânicas dos painéis. No entanto, o painel PMBB com a moldagem M2 apresentou o teor de umidade maior que o painel PMBB com a moldagem M1 ($p < 0,05$).

Na Tabela 16, são apresentados os valores médios ($\bar{x}$) do ensaio físico de inchamento na espessura, segundo a norma ABNT NBR14810-3 (2013), avaliados para os painéis fabricados segundo os dois processos de moldagem: PMBB-M1 (com prensagem entre as camadas) e PMBB-M2 (sem prensagem entre as camadas), os coeficientes de variação (CV), os intervalos de confiança da média (ao nível de 95% de confiança) e os resultados do teste de contraste de Tukey.

Foi avaliada a variação nas três dimensões do painel, comprimento, largura e espessura, por meio do inchamento em espessura (IE), a variação na área da seção superficial (Δ Área) e a variação no volume (Δ Vol). Após os corpos de prova serem mantidos 24 h imersos em água, também foi feita a avaliação do material após 24 h de secagem em temperatura ambiente, e a variação final dos corpos de prova após imersão e secagem.

Tabela 16 - Resultados das características físicas de inchamento em espessura (IE), variação na área superficial (Δ Área) e no volume (Δ Vol) dos painéis PMBB-M1 (com prensagem entre as camadas) e PMBB-M2 (sem prensagem entre as camadas).

	Característica	PMBB-M1			PMBB-M2		
		$\bar{x}$	CV (%)	IC	$\bar{x}$	CV (%)	IC
24 h imerso em água	IE (%)	13,63 ^A	7,56	(12,89; 14,36)	11,33 ^B	10,29	(10,49; 12,16)
	Δ Área (%)	0,79 ^A	40,59	(0,56; 1,02)	0,33 ^B	53,84	(0,20; 0,45)
	Δ Vol (%)	14,52 ^A	6,65	(13,83; 15,21)	11,59 ^B	9,38	(10,81; 12,37)
24 h secagem ao ar	IE (%)	-4,45 ^A	-12,20	(-4,84; -4,06)	-3,86 ^B	-8,30	(-4,09; -3,63)
	Δ Área (%)	-0,65 ^A	-47,82	(-,087; -0,43)	-0,23 ^B	-73,73	(-0,35; -0,11)
	Δ Vol (%)	-5,08 ^A	-9,48	(-5,42; -4,73)	-3,93 ^B	-13,61	(-4,31; -3,55)
Δ final	IE (%)	8,57 ^A	11,33	(7,86; 9,26)	7,03 ^B	18,29	(6,11; 7,95)
	Δ Área (%)	0,22 ^A	93,11	(0,07; 0,36)	0,27 ^A	69,47	(0,14; 0,41)
	Δ Vol (%)	8,71 ^A	11,51	(7,99; 9,43)	7,21 ^B	18,34	(6,26; 8,15)

Letras iguais na linha implicam níveis do fator com médias estatisticamente equivalentes ao nível de 0.05 de significância. Fonte: Própria autoria.

Os P-valores do teste de normalidade de Anderson-Darling referentes às nove propriedades físicas avaliadas variaram entre 0,107 e 0,971, e do teste F para a análise da equivalência das variâncias, os P-valores variaram entre 0,089 e 0,829, e por serem superiores ao nível de significância (5%), constata-se a validação do teste de Tukey.

Os painéis à base de material lignocelulósico, em geral, apresentam baixa estabilidade dimensional quando aplicados em ambientes com alto teor de umidade. Isto se deve à presença de grupos polares que atraem as moléculas de água, o que acarreta no acúmulo de moléculas de água na parede celular das partículas. Promovendo o inchaçamento das partículas e também na interface partícula-adesivo, resultando em alterações nas dimensões dos corpos de prova (TABARSA; ASHORI; GHOLAMZADEH, 2011; FIORELLI et al., 2013).

Os resultados de IE, Δ Área e Δ Vol após 24 h de imersão em água do painel PMBB com a moldagem M1 (com prensagem entre as camadas) foi significativamente maior do que o painel PMBB com a moldagem M2 (sem prensagem entre as camadas) ($p < 0,05$).

Provavelmente a prensagem nas as camadas (moldagem M1) gerou maiores tensões internas, o que resultou, durante a imersão do material em água, maior liberação de tensões geradas durante o processo de prensagem (IWAKIRI *et al.*, 2001). Portanto, o valor de inchamento em espessura (IE) do painel PMBB-M1 foi 20% maior que o painel PMBB-M2.

A norma NBR14810-3 (2013) estabelece para painéis de média densidade não estrutural para uso interno em condições secas requisito mínimo para o inchamento em espessura de 18% e para condições úmidas de 17%. Os valores obtidos neste trabalho em ambas as moldagens M1 (13,6%) e M2 (11,3%), proporcionaram valores abaixo daqueles estabelecidos pela referida norma.

Tabarsa; Ashori e Gholamzadeh (2011) produziram painéis multicamada de bagaço de cana-de-açúcar com resina ureia-formaldeído obtiveram valor de IE após 24 h imerso em água de aproximadamente 24%.

Painéis moldados em multicamadas de bagaço de cana de açúcar com reforço de partículas de bambu produzidos com densidade nominal de 550 kg/m³ usando resina de óleo de mamona como aglutinante produzido por Belini *et al.* (2014), obtiveram valor de inchamento em espessura após 2 h de imersão em água de 3,5%.

Os corpos de prova após 24 h de secagem apresentaram retração nas dimensões dos painéis PMBB-M1 e PMBB-M2, observado pelo valor negativo apresentado em todas as direções (comprimento, largura e espessura). Isto se deve a perda por evaporação da água adsorvida na superfície da partícula, que ocasionou a diminuição do volume da partícula,

consequentemente diminuição da dimensão dos painéis. Sendo que o painel PMBB-M1 apresentou valores significativamente maiores de retração que o painel PMBB-M2.

E, ao final, a variação após imersão e secagem foi maior no painel PMBB-M1 que no painel PMBB-M2 ($p < 0,05$). O acúmulo de água na interface da partícula:resina pode resultar no desprendimento da partícula do adesivo (FIORELLI et al., 2013;), portanto, mesmo após a retração as dimensões do painel, estes não voltaram ao tamanho original. Provavelmente, devido a maior tensão interna que acarretou em maior variação, principalmente na direção da espessura.

O processo de moldagem só não foi significativo para a área final (Arf). Para as demais propriedades, o processo de moldagem M2 (sem pré-prensagem entre as camadas) forneceu os menores valores das propriedades, evidenciado ser mais eficiente que o processo M1.

Na Tabela 17 e na Tabela 18 são apresentados os valores médios ($\bar{x}$) das propriedades mecânicas obtidas na flexão estática de módulo de ruptura (MOR) e módulo elástico (MOE), arrancamento de parafuso de superfície (APs) e topo (APt), adesão interna (AI) segundo a norma ABNT NBR14810-3 (2013) e condutividade térmica (k) segundo a norma ASTM E 1530:2011, avaliadas para os painéis fabricados segundo os dois processos de moldagem: PMBB-M1 (com prensagem entre as camadas) e PMBB-M2 (sem prensagem entre as camadas), os coeficientes de variação (CV), os intervalos de confiança da média (IC), ao nível de 95% de confiança e os resultados do teste de contraste de Tukey.

Os P-valores do teste de normalidade de Anderson-Darling referente às oito propriedades variaram entre 0.117 a 0.876, e do teste F para a análise da equivalência das variâncias, os P-valores variaram entre 0.073 a 0.523, e por serem superiores ao nível de significância (5%), constata-se a validação do teste de Tukey.

Tabela 17 - Resultados das propriedades mecânicas na flexão estática e adesão interna (AI) dos painéis PMBB-M1 (com prensagem entre as camadas) e PMBB-M2 (sem prensagem entre as camadas).

Propriedade	M1			M2		
	$\bar{x}$	CV (%)	IC	$\bar{x}$	CV (%)	IC
MOR (MPa)	9,47 ^B	17,41	(8,30; 10,66)	13,08 ^A	17,49	(11,44; 14,72)
MOE (MPa)	1000 ^B	17,75	(873; 1127)	1298 ^A	13,72	(1171; 1426)
AI (MPa)	0,66 ^B	21,59	(0,56; 0,77)	0,87 ^A	17,28	(0,76; 0,97)

Letras iguais na linha implicam níveis do fator com médias estatisticamente equivalentes ao nível de 0.05 de significância. Fonte: Própria autoria.

A norma ANSI A208.1 (1999) de painéis de partícula estabelece requisitos mínimos de MOR, MOE e AI de 5,0 MPa, 1025 MPa, e 0,1 MPa respectivamente, para painéis de baixa densidade classificado como LD-2. Ambos os painéis satisfazem o requisito mínimo estabelecido pela norma.

Enquanto que a norma NBR14810-3 (2013) estabelece para painéis não estruturais de média densidade para uso interno em condições secas valores mínimos de MOR de 11 MPa, MOE de 1800 MPa e AI de 0,40 MPa, e para condições úmidas de MOR de 15 MPa, MOE de 2050 MPa e AI de 0,45 MPa. O painel PMBB-M2 atingiu o requisito mínimos da propriedade de MOR para uso interno em condições secas.

Os valores obtidos das propriedades mecânicas dos painéis PMBB-M1 e PMBB-M2 estão próximos e acima dos valores obtidos por Belini *et al.* (2014) para painéis de multicamada de bagaço de cana-de-açúcar com reforço de partículas de bambu produzidos com densidade nominal de 550 kg/m³ apresentando valores de MOR e MOE de 10,5 MPa e 1045 MPa, respectivamente.

Com base nos resultados mecânicos, o painel PMBB-M2 apresentou propriedades de MOR e MOE obtidas na flexão estática significativamente maiores que o painel PMBB-M1 ($p < 0,05$). Ou seja, as prensagens entre as camadas na moldagem M1, representou redução do desempenho mecânico.

Na Figura 41 estão apresentadas as curvas típicas de tensão *versus* deformação específica obtidas do ensaio mecânico de flexão (3 pontos) dos painéis (PMBB-M1 e PMBB-M2). As propriedades mecânicas de MOR e MOE na flexão do painel PMBB-M2 foi 38,1% e 29,8%, respectivamente maiores, comparado ao painel PMBB-M1.

Uma hipótese para o desempenho mecânico inferior do painel PMBB-M1 pode estar atrelada a orientação das partículas, ocasionada pela prensagem nas camadas. Ou seja, a prensagem individual de cada camada ocasionou planos de descontinuidade fragilizante no painel. Consequentemente, este processo resultou na menor interação entre as camadas, como pôde ser comprovado pelo ensaio de adesão interna (AI), em que o painel PMBB-M1 apresentou desempenho significativamente inferior (0,66 MPa) quando comparado ao painel PMBB-M2 (0,87 MPa), sem prensagem nas camadas ($p < 0,05$) (Tabela 17).

A Figura 42 ilustra a posição de rompimento durante o ensaio, o painel PMBB-M1 ocorreu entre as camadas e o PMBB-M2 mais centralizado.

Figura 41 - Curvas típicas e representativas de tensão *versus* deformação específica dos painéis PMBB-M1 e PMBB-M2.

Fonte: Própria autoria.

Figura 42 - Fotos ilustrativas do ensaio de adesão interna dos painéis PMBB-M1 e PMBB-M2. As distâncias indicam a posição típica de rompimento.

Fonte: Própria autoria.

O valor de arrancamento de parafuso de superfície (APs), apresentados na Tabela 18, foi significativamente maior no painel PMBB-M2 ($p < 0,05$), enquanto que o processo de moldagem (M1 e M2) de conformação das camadas não foram significativos para as propriedades de resistência ao arrancamento de parafuso de topo (APt) e na condutividade térmica.

Tabela 18 - Resultados das propriedades de arrancamento de parafuso de superfície (APs) e topo (APt) e condutividade térmica (k) dos painéis PMBB-M1 (com prensagem entre as camadas) e PMBB-M2 (sem prensagem entre as camadas).

Prop.	M1			M2		
	$\bar{x}$	CV (%)	IC	$\bar{x}$	CV (%)	IC
APs (N)	635,93 ^B	25,49	(519,96; 751,90)	801,61 ^A	19,03	(692,48; 910,74)
APt (N)	478,89 ^A	23,00	(400,07; 557,72)	634,65 ^A	32,87	(485,44; 783,61)
k (W/m·K)	0,138 ^A	2,66	(0,133; 0,143)	0,133 ^A	4,10	(0,126; 0,140)

Letras iguais na linha implicam níveis do fator com médias estatisticamente equivalentes ao nível de 0.05 de significância. Fonte: Própria autoria.

As propriedades físico-mecânicas do painel final é influenciado desde a escolha das matérias primas até os parâmetros de produção. O bagaço de cana-de-açúcar e o bambu apresentam boas características químicas, físicas e morfológicas que garantem boa interação com a resina de óleo de mamona utilizado. Outro fator importante que influenciou nas propriedades dos painéis foram os parâmetros utilizados durante a conformação das camadas, processo de moldagem M1 (com prensagem nas camadas) e M2 (sem prensagem nas camadas). A produção de painel multicamadas utilizando bagaço de cana-de-açúcar e bambu sem prensagens nas camadas (M2) proporcionou um painel com menor variação dimensional e melhor desempenho mecânico, devido a melhor interação entre as camadas durante sua formação.

9.3.2. Caracterização microestrutural

A microestrutura dos painéis PMBB-M1 e PMBB-M2 foi analisada por meio da técnica de microtomografia computadorizada (micro-TC) de raios X. A técnica proporciona a análise em 3D da imagem da região interna do painel, podendo ser extraídas imagens em três direções do plano ortogonal da amostra, como esquematizada na Figura 43.

As imagens geradas pela técnica de micro-TC foram processadas (binarizadas e “thresholded”) e a porcentagem de poros ao longo do perfil do painel foi analisada, os valores estão apresentados na Figura 44.

Figura 43 - Esquema de retirada de corpos de prova para análise de microtomografia computadorizada (micro-TC) de raios X e indicação das três direções de análise do plano ortogonal.

Fonte: Própria autoria.

Foram delimitadas 3 regiões: camada externa, camada interna e região de interação entre as camadas. Conforme os resultados obtidos, o painel PMBB-M2 apresentou na região de interação entre as camadas, uma maior porosidade, ou seja, representou uma região com as partículas desorganizadas, ocasionado pela não prensagem entre as camadas, o que não ocorreu com o painel PMBB-M1, que mantém relativamente constante a porosidade. Essa desorganização refletiu em maior ancoragem entre as partículas resultando na melhor adesão entre as camadas, como pode ser observado pelos resultados mecânicos de adesão interno.

Figura 44 - Porcentagem de poros ao longo do perfil do painel.

Fonte: Própria autoria.

Na Figura 45 estão apresentadas as imagens de micro-TC dos painéis PMBB-M1 e PMBB-M2. Na camada interna foi possível observar as partículas de bagaço de cana-de-açúcar e de bambu no painel.

Figura 45 - Imagens geradas pela microtomografia computadorizada dos painéis – PMBB-M1 e PMBB-M2, em três direções do plano ortogonal da amostra (Corte A, B e C).

* CE= camada externa, CI= camada interna. Fonte: Própria autoria.

Foi observado que no interior da camada externa (CE) o tamanho de poros se apresenta menor, do que na camada interna (CI). Isto pode ser constatado pela análise de distribuição de tamanho de poros das imagens de micro-TC, obtida pelo software Image J, apresentado na Figura 46.

Foi possível observar na imagem ampliada na Figura 46 (A), que a camada interna (CI) apresentou maior frequência de poros com perímetros maiores que 2 mm. A porosidade está em função do tamanho das partículas e está diretamente relacionada às propriedades físicas do painel (FIORELLI, *et al.*, 2017).

Figura 46 - Distribuição de tamanho de poros dos painéis PMBB-M1 e PMBB-M2 obtidas para as camadas externa e interna. A) Ampliação do gráfico na região de 0.45 a 10 mm.

Fonte: Própria autoria.

9.4. Considerações parciais da etapa 1

Por meio dos resultados de caracterização das partículas de bagaço de cana-de-açúcar e bambu e de interação com a resina obtidos da etapa 1 pode-se concluir que:

a) Os valores obtidos na análise química das partículas de bagaço e bambu apresentaram altos teores de lignina e celulose. Este resultado é positivo, pois altos teores de lignina e celulose conferem maior resistência ao material, além de conferir uma interação química entre a celulose e a resina poliuretana de óleo de mamona com a diminuição das bandas -OH da celulose e lignina e N=C=O do isocianato da resina poliuretana e formação das bandas C=O e N-H correspondente da ligação das partículas com a resina. A presença de poros e as cavidades celulares aumentam a probabilidade de ancoragem mecânica entre as partículas e a resina poliuretana, como observada pelas imagens de microscopia.

Com relação aos resultados obtidos dos processos de moldagens adotados na conformação das camadas: PMBB-M1, com prensagens entre as camadas e PMBB-M2, sem prensagens entre as camadas, pode-se concluir que:

- a) O valor de inchamento em espessura (IE) do painel PMBB-M1 foi 20% maior que o painel PMBB-M2. As prensagens entre as camadas (moldagem M1) proporcionaram maiores tensões internas, o que resultou durante a imersão do material em água uma maior liberação de tensões geradas das prensagens.
- b) As propriedades mecânicas de MOR e MOE na flexão do painel PMBB-M2 foi 38% e 29%, respectivamente maiores, comparado ao painel PMBB-M1. As prensagens entre as camadas na moldagem M1, representou redução do desempenho mecânico. Possivelmente, a prensagem proporcionou uma orientação das partículas diminuindo a interação entre as camadas, como pode ser observado pelo valor de adesão interna menor no painel PMBB-M1 com prensagem entre as camadas.

10. RESULTADOS E DISCUSSÕES DA ETAPA 2

Na Etapa 2, “*Estudo do tratamento superficial dos painéis*”, foi adotada a moldagem M2 para a produção dos painéis PMBB, de acordo com os resultados obtidos da etapa 1.

Nesta seção estão apresentadas as caracterizações dos filmes utilizados (látex e breu), a avaliação do recobrimento e impermeabilização dos filmes nos painéis PMBB e a avaliação dos efeitos do tipo de revestimento nas propriedades térmicas do painel e a avaliação dos painéis de multicamada com tratamento superficial ao longo do tempo.

10.1. Caracterização do Breu

O breu é composto de ácidos resínicos, monocarboxílicos de hidro-fenantreno de alquilo e, principalmente da mistura de ácidos tipo abiético e tipo primário (FINK, 2013). Também contém pequena quantidade de componentes não-ácidos (BARABDE *et al.*, 2005).

O ácido tipo primário é composto de ácido primário e isoprimário, formado por duplas ligações não conjugadas. Adicionalmente, o ácido tipo abiético é composto de ácidos levoprimário, palustrico, abiético e neoabiético, formado por duplas ligações conjugadas (CHEN, 1992).

A composição do breu vai depender de onde os pinheiros foram cultivados e o processo de separação utilizado. Segundo Chen (1992), os ácidos tipo primário são mais estáveis ao calor que os ácidos abiéticos.

Na Figura 47 está apresentado o termograma de TG/DTG e DSC do breu. Pode-se observar uma primeira faixa de decomposição entre 50 a 200 °C, com perda de massa de 4,9% atribuído a processos exotérmicos e endotérmicos da decomposição da água e produtos voláteis (PIETRZAK *et al.* 2014).

Na faixa de 200 a 500 °C ocorre a decomposição térmica do breu, com perda de massa de 88,28%, atribuído aos ácidos tipos primário, abiético e entre outros. No estudo desenvolvido por Pietrzak *et al.* (2014), apresentou faixa de decomposição térmica de 200 a 450 °C para oxidação do breu.

A curva de degradação térmica em estudo, apresentou uma temperatura mais alta de decomposição (300 a 500 °C), possivelmente deva apresentar maior quantidade de ácido

primário, que possui maior estabilidade estrutural refletindo nos resultados térmicos (CHEN, 1992).

Figura 47 - Gráfico de TG, DTG e DSC do breu.

Fonte: Própria autoria.

A Figura 48 apresenta o espectro de infravermelho (FTIR) do breu na região de 4000-650 cm^{-1} . Nota-se a presença do grupo C-H em 2927 e 2868 cm^{-1} (PIETZAK *et al.*, 2014), um pico em 1695 cm^{-1} referente ao alongamento do C=O do grupo COOH, um pico a 1458 cm^{-1} correspondendo a dupla ligação em fração hidro-fenantreno (ATTA *et al.*, 2006).

O alongamento simétrico de C-O, em 1046 cm^{-1} , pertencente aos álcoois primários, e o pico a 771 cm^{-1} correspondendo ao grupo $(\text{CH}_2)_n$ de sequência das cadeias alifáticas dos ácidos graxos (PIETZAK *et al.*, 2014).

Figura 48 - Espectro de infravermelho (FTIR) do Breu.

Fonte: Própria autoria.

10.2. Caracterização do Látex

A degradação térmica da borracha natural ocorre em uma única etapa na faixa entre 287 – 400 °C e corresponde à degradação de 39% de isopreno (1,3-butadieno), 13,2% dipreno e pequenas quantidades de p-menthene (MATHEW; PACKIRISAMY; THOMAS, 2001; MADORSKY *et al.*, 1949).

A Figura 49 apresenta o termograma de TG/ DTG e de DSC do látex polimerizado (inicial sem adição de nenhum agente de vulcanização) e dos látex vulcanizados com dois processos diferentes: LS e LT utilizados no trabalho. A análise termográfica foi realizada em atmosfera inerte (N₂).

No látex não vulcanizado a decomposição térmica ocorreu em diversas etapas na faixa de temperatura entre 289 a 495 °C, com perda de massa total de 89,70%. Essas etapas correspondem aos processos endotérmicos e exotérmicos, identificados pelos intervalos de 1 a 3. O intervalo 1, correspondeu a perda de massa de 20,59%, referente aos vários processos endotérmicos dos diversos isômeros do dipreno, presentes na estrutura. O intervalo 2

apresentou um pico exotérmico referente aos processos de quebra do isopreno, com perda de massa de 58,18% (MATHEW; PACKIRISAMY; THOMAS, 2001; MADORSKY *et al.*, 1949). E o intervalo 3, correspondendo ao ombro na curva dv/dt em torno de 450 °C, com perda de massa de 10,52%, característico da decomposição mais lenta de cadeias poliméricas ou resíduos poliméricos altamente reticulados, como apresentado por Rippel (2005) e Sircar (1997).

A adição de enxofre e outros elementos nos látex LS e LT para o processo de vulcanização não alteraram a faixa de decomposição térmica, mantendo o mesmo que o látex inicial entre 289 a 495 °C, com perda de massa total de 94,13% para o LS e de 90,88% para o LT. Apesar de a faixa de decomposição não ser alterada, o uso destes agentes quelantes proporcionou pequenas alterações estruturais, observadas nas mudanças referentes aos picos exotérmicos para endotérmicos, assim confirmando que o processo de vulcanização foi efetivado.

Figura 49 - Gráficos de TG, DTG e DSC do látex polimerizado inicial, látex LS e látex LT.

Fonte: Própria autoria.

A massa residual ao final da degradação térmica pode ser atribuída à parte inorgânica, como óxidos presentes na composição do látex, apresentando cerca de 6% para o Látex inicial, 3% para o látex LS e 5% para o látex LT (AGOSTINI; CONSTANTINO; JOB, 2008; MATHEW; PACKIRISAMY; THOMAS, 2001; RAO; JOHNS, 2008).

Na Figura 50 estão apresentados os espectros de infravermelho (FTIR) obtidos do látex polimerizado (inicial sem adição de nenhum agente de vulcanização) e dos látex LS e LT utilizados no trabalho, na região de 4000-650 cm^{-1} .

O espectro do látex inicial apresentou as bandas características do cis-1,4 poli-isopreno, que segundo Agostini, Constantino e Job (2008), Nor e Ebdon (2000) e Rippel *et al.* (2003) as bandas mais significativas estão presentes em 2964 cm^{-1} e 2852 cm^{-1} atribuído ao estiramento do C-H dos grupos CH_2 e CH_3 , em 1663 cm^{-1} correspondente ao estiramento C=C, em 1445 cm^{-1} e 1376 cm^{-1} ao dobramento do C-H do grupo CH_2 e CH_3 e em 842 cm^{-1} a ligação C=CH (PHINYOCHEEP; DUANGTHONG, 2000). Adicionalmente, também estão presentes as bandas em 1315 e 1242 cm^{-1} da torção do grupo CH_2 e CH_3 (DALL' ANTONIA *et al* 2009). Outros picos não associados ao isopreno estão apresentados, em 3335 cm^{-1} indicando a presença de grupo hidroxila (O-H livre) ou grupo amida (N-H) livre (LI *et al.*, 2000; NOR; EBDON, 2000; RIPPEL *et al.*, 2003). O pico 1547 cm^{-1} indica presença de amida (N-H) que vem da amônia (RIPPEL *et al.*, 2003) e OH livre indica a presença de água em solução.

Figura 50 - Espectro de infravermelho do látex polimerizado.

Fonte: Própria autoria.

10.3. Avaliação do recobrimento e impermeabilização dos painéis com filmes

10.3.1. Análise de microscopia confocal

A Figura 51 ilustra os valores médios das medidas de rugosidade S_a (média aritmética da rugosidade tridimensional) e S_q (desvio quadrático médio da rugosidade superficial) dos painéis PMBB-C (painel controle sem revestimento), PMBB-B (painel revestido com filme de breu), PMBB-LS (painel revestido com filme de latex LS) e PMBB-LT (painel revestido com filme de látex LT), o intervalo de variação dos coeficientes de variação (CV), os intervalos de confiança das médias (ao nível de 95% de confiabilidade) e os resultados do agrupamento do teste de Tukey. Enquanto o parâmetro S_a descreve a rugosidade média, o S_q , considerado um parâmetro de amplitude descreve a variação da topografia superficial, em relação a um plano médio.

Figura 51 - Resultados das medidas da média aritmética da rugosidade tridimensional (S_a) e desvio quadrático médio da rugosidade tridimensional (S_q).

Fonte: Própria autoria.

Os P-valores dos testes de Anderson-Darling [0,206; 0,758] e de Bartlett [0,160; 0,359] para as duas medidas de rugosidade foram ambos superiores ao nível de significância de 5%, validando o modelo da ANOVA. Nas duas medidas de rugosidade (S_a ; S_q), os P-valores da ANOVA foram inferiores a 5%, evidenciando a existência de médias estatisticamente diferentes entre os tratamentos.

A rugosidade média (S_a) dos painéis PMBB-C, PMBB-B, PMBB-LS e PMBB-LT apresentaram valores de 21,2; 15,3; 5,6 e 4,4 μm , respectivamente. A aplicação dos revestimentos de filmes de breu e dos látex LS e LT resultaram na diminuição significativa dos valores de rugosidade média (S_a) ($p < 0,05$).

O recobrimento possibilitou o fechamento e diminuição dos vazios entre as partículas como foi ilustrado na Figura 52, resultando na diminuição da rugosidade, sendo que o filme de látex (LS e LT) promoveu a formação de um filme contínuo por toda a superfície do painel. Enquanto que o filme de breu não formou um filme contínuo devido a baixa viscosidade, contanto houve a formação de uma película sobre as partículas (Figura 53).

Segundo HIZIROGLU (1996) é estabelecido que valores de rugosidade média em perfil (R_a) para aglomerados comerciais podem variar de 3 a 6 μm . Os valores de rugosidade média tridimensional (S_a) seguem os mesmos parâmetros da rugosidade em perfil (R_a). Observa-se que o painel PMBB-LS e PMBB-LT estão enquadrados nos parâmetros estabelecidos para fabricação de painéis de partículas comerciais.

O painel PMBB-C, sem revestimento, apresentou valores de rugosidade altos para os requisitos de painéis comerciais, ocasionado pelo tamanho de partícula adotada na camada externa. Tabarsa; Ashori e Gholamzadeh (2011) produziram painéis multicamada com tamanho de partículas menores que 0,4 mm com diferentes valores de umidade e tempo de prensagem valores de R_a variando entre 20 a 12,3 μm .

A variação da topografia superficial, em relação a um plano médio (S_q), mostrou que o uso do filme de breu (PMBB-B) não resultou em diferença com a rugosidade do painel sem recobrimento (PMBB-C). Os menores valores são associados aos painéis revestidos com filme de LS ou LT (estatisticamente equivalentes entre si).

Figura 52 - Imagens tridimensionais da superfície dos painéis PMBB-C (sem recobrimento), PMBB-B (com recobrimento com breu), PMBB-LS (com recobrimento com látex-LS) e PMBB-LT (com recobrimento com látex-LT).

Fonte: Própria autoria.

Figura 53 - Imagem de microscopia óptica dos painéis: A) PMBB-C, B) PMBB-B.

Fonte: Própria autoria.

10.3.2. Avaliação física

A Figura 54 ilustra os valores médios das propriedades físicas dos painéis PMBB-C (painel controle sem revestimento), PMBB-B (painel revestido com filme de breu), PMBB-LS (painel revestido com filme de látex LS) e PMBB-LT (painel revestido com filme de látex LT), os intervalos de variação dos coeficientes de variação (CV), os intervalos de confiança das médias (ao nível de 95% de confiabilidade) e os resultados do agrupamento do teste de Tukey.

Foram avaliados inchamento em espessura (IE) segundo a norma ABNT NBR14810-3 (2013), a variação na área, volume e absorção de água (AA), após imersão em água por 24h.

Os P-valores dos testes de Anderson-Darling [0,439; 0,990] e de Bartlett [0,058; 0,260] para todas as propriedades físicas foram ambos superiores ao nível de significância de 5%, validando o modelo da ANOVA. Os P-valores da ANOVA foram inferiores a 5% nas quatro propriedades físicas avaliadas, evidenciando a existência de médias estatisticamente diferentes entre os tratamentos.

A aplicação dos filmes nos painéis PMBB-B, PMBB-LS e PMBB-LT promoveu uma redução no inchamento em espessura, respectivamente de 81,16%, 90,87% e 86,66% quando comparado ao painel sem revestimento (PMBB-C) ($p < 0,05$), sendo que os tratamentos com látex apresentaram os menores valores de IE.

Figura 54 - Resultados das propriedades físicas – inchamentos em espessura (IE), em variação da área, variação no volume e absorção de água após imersão 24h.

Fonte: Própria autoria.

Fiorelli *et al.* (2011) utilizando revestimento à base de resina poliuretana bicomponente de óleo de mamona em painéis de bagaço de cana-de-açúcar, observaram que em 24 h o painel sem revestimento apresentou valor de inchamento em espessura de 25,07% enquanto que o com revestimento foi de 19,09%, apresentando uma diminuição no inchamento em espessura ao comparar com os painéis sem revestimento de 23,85%.

Os valores de inchamento em espessura encontrados neste trabalho foram menores indicando o quanto estes tratamentos podem melhorar a estabilidade dimensional, pois em ambos os tratamentos, o recobrimento dificultou a entrada de água no painel, devido a formação de um filme na superfície, principalmente nos painéis com látex, como observado pela diminuição da rugosidade na análise de microscopia confocal. A estabilidade dimensional corresponde também a variação nas outras direções do painel, e o uso dos recobrimentos resultou em menores variações na área e no volume dos painéis.

Com relação à absorção de água os painéis com recobrimento mostraram redução de 38,22% para o PMBB-B, de 96,03% para o PMBB-LS e de 85,64% para o PMBB-LT em

comparação com o painel sem recobrimento (PMBB-C). Apesar do painel recoberto com filme de breu apresentar uma redução significativa, esta redução foi significativamente menor quando comparado com os outros painéis revestidos com látex (PMBB-LS e PMBB-LT). Pois como obtido nas imagens de microscopia confocal (Figura 52) o breu não criou uma película uniforme sobre o painel, deixando muitos poros abertos. Devido a isso, provavelmente houve a entrada da água para dentro dos poros.

10.4. Efeito do tipo de revestimento e da UR nas propriedades térmicas do painel

A Figura 55 ilustra os valores médios da condutividade térmica dos painéis PMBB fabricados de acordo com os 12 tratamentos experimentais, correspondendo aos painéis PMBB-C (sem recobrimento), PMBB-B (recoberto com breu), PMBB-LS (recoberto com látex LS) e PMBB-LT (recoberto com látex LT) em três condições de umidade relativa (UR) do ar: 30, 60 e 90%, o intervalo de variação dos coeficientes de variação (CV) e os intervalos de confiança das médias (ao nível de 95% de confiabilidade).

Os painéis PMBB-C, PMBB-B, PMBB-LS e PMBB-LT mostraram-se promissores para aplicações que requerem conforto térmico. Segundo Wang (1988), os materiais podem ser classificados como isolantes térmicos quando apresentam valor de condutividade térmica abaixo de 0,25 W/mK.

A condutividade térmica está diretamente relacionada com a densidade do material (TAKAGI et al., 2007). Khedari, Charoenvai e Hirunlabh (2003) produziram painéis com fibras de coco e resina de isocianato em três densidades: 0,3; 0,6 e 0,9 g/cm³ e obtiveram valores de condutividade térmica de 0,076; 0,105 e 0,143 W/mK, respectivamente. Painéis produzidos a base de casca de amendoim e fibra de coco, com resina poliuretana à base de óleo de mamona com densidade aparente de 0,5 g/cm³, apresentaram valores de condutividade térmica de 0,29 W/mK (CESAR et al., 2014) e compósitos verdes de bambu com poly (lactic acid) (PLA) como matriz do painel de densidade 1,34 g/cm³ apresentaram valores de condutividade de 0,34 W/mK (TAKAGI et al., 2007).

Figura 55 - Análise descritiva dos valores médios da condutividade térmica dos painéis PMBB-C (sem revestimento), PMBB-B (recoberto com breu); PMBB-LS (recoberto com látex LS) e PMBB-LT (recoberto com látex LT).

Fonte: Própria autoria.

A Tabela 19 apresenta os resultados da ANOVA e validação para condutividade térmica. A interação dos dois fatores (Revestimento x UR) não foi considerada significativa pela ANOVA. Ou seja, o revestimento não interferiu significativamente sobre a condutividade térmica sob diferentes teores de umidade relativa do ar.

Tabela 19 - Resultados da ANOVA para a condutividade térmica.

Propriedade	Validação (ANOVA)		ANOVA		
	AD	Bt	Revestimento	UR	Rev. x UR
k	0,608	0,289	0,993 ^{ns}	0,035*	0,349 ^{ns}

^{ns} P-valores considerados não significativo * P-valores considerados significativos. Fonte: Própria autoria.

Dos fatores isolados, somente a UR afetou de forma significativa os valores da condutividade térmica, mas não o tipo de revestimento. Ou seja, os filmes não afetaram de forma significativa nos valores da condutividade térmica dos painéis; mas a variação no teor de UR proporcionou aumentos significativos nos valores da condutividade térmica.

A Figura 2 ilustra o gráfico de efeitos principais do fator umidade em conjunto com os resultados do teste contraste de Tukey.

Figura 56 - Gráfico de efeito UR *versus* condutividade térmica dos painéis e resultados do teste de Tukey.

Fonte: Própria autoria.

O aumento no teor de UR proporcionou aumentos nos valores da condutividade térmica dos painéis. A 90% de umidade resultou em um aumento de 3% na condutividade dos painéis, quanto comparados ao ensaio realizado a 30% de UR. Isso se deve a maior quantidade de moléculas de água aderidas a superfície das partículas (TABARSA; ASHORI; GHOLAMZADEH, 2011; FIORELLI et al., 2013), e dentro dos poros e vazios presentes na estrutura dos painéis, portanto, a água atua melhor como condutor térmico do que o ar, resultando em valores maiores de condutividade térmica.

10.5. Avaliação dos painéis com tratamento superficial após envelhecimento natural

Foi avaliada a molhabilidade e o efeito do recobrimento ao longo do tempo (0 - inicial e 3 meses de envelhecimento natural) pelo resultado do teste de energia de superfície por ângulo

de contato, como apresentado nas Figura 57 e Figura 58, respectivamente. A molhabilidade do painel com relação a água é uma consequência das interações químicas e físicas entre os materiais que entram em contato (água e superfície do painel). Por meio dessa análise pode-se ter uma indicação da molhabilidade dos painéis, sendo considerada uma superfície hidrofílica quando o ângulo da água sobre a superfície do painel for menor que 90° e hidrofóbico quando for maior que 90° (LAZGHAB *et al.*, 2005).

Inicialmente ambos os painéis, com e sem recobrimento, apresentaram caráter hidrofóbico (Figura 57). O painel PMBB-C apesar de não apresentar nenhum tipo de recobrimento a resina de óleo de mamona utilizada apresenta caráter hidrofóbico e dependendo da quantidade de óleo de mamona na composição da resina o caráter hidrofóbico é maior (ZHANG *et al.* 2017)

Figura 57 - Gráfico do ângulo de contato dos painéis PMBB-C, PMBB-B, PMBB-LS e PMBB-LT inicial.

Fonte: Própria autoria.

Após o período de 3 meses de envelhecimento natural os painéis passaram de caráter hidrofóbico para hidrofílico como apresentado na Figura 58. A temperatura, UR, radiação solar e a presença de alguns microrganismos (fungos e bactérias) influenciaram na decomposição tanto da fibra como da resina e os filmes de breu e látex.

Figura 58 - Gráfico do ângulo de contato dos painéis PMBB-C, PMBB-B, PMBB-LS e PMBB-LT após 3 meses de envelhecimento natural.

Fonte: Própria autoria.

Foi observado o aparecimento de fungos (pontos pretos) nos painéis PMBB-C e PMBB-B aos 3 meses, como apresentado na Figura 59, em que mostra os painéis e as micrografias ópticas dos fungos sobre superfície dos painéis, atingindo a resina e o breu.

A lignina é o mais componente hidrofóbico do material lignocelulósico, sua degradação juntamente com a degradação da resina na superfície do painel faz com que os painéis sejam mais suscetíveis à absorção de umidade. (GARZÓN *et al.*, 2016)

A resina pode se degradar tanto pela ação das enzimas dos microrganismos que promovem a hidrólise das cadeias poliméricas das ligações de éster metílico e de uretano (DAS *et al.*, 2017), como também pela temperatura, que segundo Uysal, Kurt e Yildirim (2010) a resina quando expostos de forma intermitente ou continua a temperatura superior a 38°C por longo período está sujeita a degradação.

Somando-se tais fatores, o material torna-se mais hidrofílico, como demonstrado pelo teste de molhabilidade. Vale ressaltar que o breu utilizado como filme do painel PMBB-B, provavelmente sofreu também a quebra dos seus compostos por microrganismos e pela temperatura.

Figura 59 - Imagens obtidas pela microscopia óptica dos painéis sem revestimento (PMBB-C) e com revestimento de breu (PMBB-B).

Fonte: Própria autoria.

Nos painéis PMBB-LS após 3 meses de envelhecimento natural foram encontrados diversos fungos, como ilustrado na Figura 60 e na imagem de microscopia óptica (Figura 61). Os mesmos não foram constatados para os painéis PMBB-LT.

Os filmes com látex LS e LT, apesar de também terem apresentado o caráter hidrofílico com ângulos de contato de 39° e 29°, respectivamente (Figura 58), muito superior aos demais tratamentos. Isto ocorreu porque as ligações cruzadas em cadeias poliméricas são naturalmente mais resistentes ao calor do que os polímeros não cruzados (UYSAL, KURT, YILDIRIM, 2010), visto que o processo de vulcanização promove esse cruzamento entre as cadeias de polímeros.

Figura 60 - Ilustrações dos fungos encontrados no painel PMBB-LS após 3 meses de envelhecimento natural.

Fonte: Própria autoria.

Figura 61 - Imagens de microscopia ótica da superfície do painel PMBB-LS após 3 meses de envelhecimento natural.

Fonte: Própria autoria.

A Figura 62 ilustra os valores médios obtidos da análise de variação dimensional e da massa dos painéis fabricados de acordo com os seis tratamentos com o intervalo de variação dos coeficientes de variação (CV) e os intervalos de confiança das médias (ao nível de 95% de confiabilidade). Foi avaliada a variação na espessura (ASTM D 1037, 2006), na área da seção superficial, no volume e na massa dos painéis PMBB-C, PMBB-B, PMBB-LS e PMBB-LT depois de 3 e 6 meses expostos em bancada de envelhecimento externo.

Figura 62 - Análise descritiva das variações das características físicas – espessura, área da seção superficial, volume e massa.

Fonte: Própria autoria.

Quando expostos às variáveis climáticas, tais como, chuva, radiação solar, vento, assim como de agentes biológicos, poeira, entre outros, os painéis sofrem alterações nas dimensões e nas massas. A água, além de promover o inchamento da partícula, atua como agente de degradação (STARK *et al.*, 2004), da mesma forma que a radiação solar que atua principalmente sobre a resina e os filmes quebrando das cadeias poliméricas e influenciando diretamente nas suas propriedades químicas e físicas, como observada individualmente na análise de ângulo de contato.

Todos os painéis em estudo incharam com 3 e 6 meses de idade. Contudo, a variação de massa dos painéis PMBB-C com 6 meses e PMBB-B com 3 e 6 meses apresentaram decréscimo, representado pelo valor negativo. Provavelmente essa perda ocorreu principalmente na borda dos materiais (30% da superfície total) como pode ser constatada pela variação negativa da área da seção superficial, e não nas faces superiores e inferiores, como

visto pelos valores de inchamento. O mesmo comportamento não foi observado para o painel PMBB-LS, devido a maior proteção contra umidade que o látex proporciona. O painel PMBB-LT apresentou perda de massa aos 3 e 6 meses e quase não se nota variação na área, podendo corresponder a perda (ressecamento) do filme de látex.

Garzón *et al* (2016) avaliaram painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar com resina de óleo de mamona de média densidade e revestidos com pasta acrílica nas bordas e verniz marítimo em toda a superfície, após 12 meses de envelhecimento natural. Os pesquisadores obtiveram IE de 26,1% para o painel revestido e de 39,9% para o painel sem revestimento.

O ganho de peso nos painéis PMBB-LS aos 3 meses pode estar atrelado ao crescimento do fungo, o que não ocorreu com o painel PMBB-LT, enquanto a perda de massa aos 6 meses pode ser em função da perda de látex e de material lignocelulósico.

A Tabela 20 apresenta os resultados da ANOVA das características físicas avaliadas. Foi observado que as interações entre os dois fatores foram consideradas significativas em todas as variáveis.

Tabela 20 - Resultados obtidos pela ANOVA das características físicas.

Características	ANOVA		
	Revestimento	Idade (meses)	Reves x Idade
Espessura	0,000*	0,004* ^s	0,000*
Área superficial	0,000*	0,000*	0,000*
Volume	0,000*	0,122 ^{ns}	0,000*
Massa	0,000*	0,000*	0,000*

* P-valores considerados significativos; ^{ns} P-valores considerados não significativos. Fonte: Própria autoria.

Na Figura 63 estão ilustrados os gráficos de interação entre os fatores (revestimento e idade) para as características físicas. O painel PMBB-LS apresentou os maiores valores no IE, área na seção superficial e volume, demonstrando que o recobrimento de látex LS apesar de apresentar resultados satisfatórios ao ser imerso em água por 24 h, na exposição as variáveis climáticas resultaram em maior variação dimensional do corpo de prova.

O painel PMBB-LT apresentou os menores valores aos 3 meses de inchamento em espessura e volume, seguido do painel PMBB-B. Contudo aos 6 meses os painéis PMBB-LT e PMBB-B apresentaram valores equivalentes ao painel PMBB-C, ou seja, após 6 meses o efeito das variáveis climáticas são os mesmos. Portanto, os filmes de látex-LT e Breu promoveram

aos materiais até os 3 meses de envelhecimento menor variação dimensional. Como apresentada na análise de molhabilidade, os filmes (B e Látex-LT) aos 3 meses apresentam perda de suas propriedades (tornaram-se hidrofílicos), o que acarretou aos seis meses valores físicos equivalentes ao painel PMBB-C.

Figura 63 - Gráficos de interação para as características físicas - espessura, área da seção superficial, volume e massa entre os fatores revestimento e idade.

*Letras maiúsculas iguais implicam médias estatisticamente equivalentes entre os tipos de revestimento em cada idade estudada ao nível de 0,05 de significância.

**Letras minúsculas iguais implicam médias estatisticamente equivalentes entre a idade estudada em cada tipo de revestimento ao nível de 0,05 de significância. Fonte: Própria autoria.

Contudo, vale ressaltar que as condições externas do envelhecimento natural são extremamente severas ao se comparar com as aplicações potenciais para os tipos de materiais estudados neste trabalho, ou seja, para uso interno e condições secas ou úmidas, provavelmente o recobrimento teria maior eficiência em locais úmidos, entretanto, sem a presença da radiação solar.

A Figura 64 ilustra os valores médios das propriedades mecânicas na flexão estática, dos painéis fabricados de acordo com os nove tratamentos, o intervalo de variação dos coeficientes de variação (CV) e os intervalos de confiança das médias (ao nível de 95% de confiabilidade). Foram avaliadas as propriedades de MOR e MOE dos painéis PMBB-C, PMBB-B, PMBB-LS e PMBB-LT sem envelhecimento (idade=0) e após 3 e 6 meses de envelhecimento natural em bancada.

Figura 64 - Análise descritiva dos valores das propriedades mecânicas – módulo de ruptura na flexão estática (MOR) e Módulo de elasticidade na flexão estática (MOE).

NBR14810-3 (2013): Tipo P2 (Painéis não estruturais para uso interno em condições secas); Tipo P3 (painéis não estruturais para uso em condições úmidas). ANSI A208.1 (1999): LD-2 (painéis de baixa densidade). Fonte: Própria autoria.

De acordo com os resultados obtidos, todos os tratamentos (painéis PMBB-C, PMBB-C, PMBB-LS e PMBB-LT com 0, 3 e 6 meses de idade) com exceção o tratamento 8 (PMBB-LS com 3 meses) atenderam os requisitos mínimos da norma ANSI A208.1 (1999) para o valor de MOR, todavia para o valor de MOE somente os tratamentos 1, 4, 7 e 10 atenderam o requisito mínimo.

O requisito mínimo do valor de MOR estabelecido pela a norma NBR14810-3 (2013) para painéis de média densidade tipo P2 (painéis não estruturais para uso interno em condições secas) inicialmente foi atendido por todos os painéis (idade=0).

No estudo utilizando painéis de média densidade de bagaço de cana-de-açúcar com resina de óleo de mamona revestido com pasta acrílica nas bordas e verniz marítimo em toda a superfície após 12 meses de envelhecimento natural apresentaram valor de 7,5 MPa e 0,38 GPa de MOR e MOE, respectivamente (GARZÓN *et al.*, 2016).

A Tabela 21 apresenta os resultados da ANOVA das propriedades mecânicas avaliadas. As interações entre os dois fatores foram consideradas significativas em todas as propriedades.

Tabela 21 - Resultados da ANOVA das propriedades mecânicas.

Propriedade	ANOVA		
	Revestimento	Idade (meses)	Reves. x Idade
MOR	0,000*	0,000*	0,000*
MOE	0,000*	0,000*	0,000*

* P-valores considerados significativos; ^{ns} P-valores considerados não significativos. Fonte: Própria autoria.

Na Figura 65 são ilustrados os gráficos de interação entre os fatores para as propriedades mecânicas na flexão. Constatou-se inicialmente (idade=0) que o uso dos filmes não resultou em diferença significativa das propriedades de MOR na flexão entre os painéis. Contudo, o valor de MOE do painel PMBB-B foi significativamente maior que o painel PMBB-C sem envelhecer (idade=0). Ou seja, o breu proporcionou aumento na rigidez do painel.

Foi observado o decréscimo de 41%, 28%, 64% e 20% do valor de MOR e de 51%, 37%, 61% e 21% do valor de MOE para os painéis PMBB-C, PMBB-B, PMBB-LS e PMBB-LT, respectivamente após 3 meses de envelhecimento. Os painéis PMBB-B e PMBB-LT, apresentaram menor redução da resistência mecânica de MOR e MOE, sendo ambos os painéis estatisticamente maiores que os painéis PMBB-C e PMBB-LS tanto para MOR como para MOE após 3 meses de envelhecimento.

Figura 65 - Gráficos de interação para as propriedades mecânicas - módulo de ruptura na flexão estática (MOR) e Módulo de elasticidade na flexão estática (MOE).

*Letras maiúsculas iguais implicam médias estatisticamente equivalentes entre os tipos de revestimento em cada idade estudada ao nível de 0,05 de significância.

**Letras minúsculas iguais implicam médias estatisticamente equivalentes entre a idade estudada em cada tipo de revestimento ao nível de 0,05 de significância. Fonte: Própria autoria.

A degradação microbiológica da celulose e lignina, resulta na queda da resistência da fibra (WEI-HONG *et al.*, 2005), sendo que a força individual da fibra é relevante para o resultado da propriedade de MOR (PANYAKAEW, FOTIOS, 2011).

Após 6 meses, os valores de MOR e MOE dos painéis PMBB-C, PMBB-B e PMBB-LT foram estatisticamente iguais. Portanto, o uso dos filmes de látex LT e breu sobre o painel PMBB proporcionou uma proteção contra as intempéries climáticas durante os primeiros 3 meses de envelhecimento.

O painel PMBB-LS após envelhecimento (3 e 6 meses) apresentou os menores valores para todas as propriedades mecânicas em estudo. Foi observado, principalmente, nos painéis PMBB-LS com 3 e 6 meses um encurvamento ocasionado pelo próprio revestimento de látex, devido ao ressecamento e degradação térmica ocasionados pelas intempéries climáticas na parte superior, gerando forças de compressão na superfície exposta, como pode ser observado na Figura 66, o que ocasionou valores inferiores na energia específica após envelhecimento. Desse modo, acarretou redução do valor de MOR após envelhecimento. Este encurvamento também foi percebido nos painéis PMBB-LT após 6 meses de envelhecimento.

Figura 66 - Painel PMBB-LS após envelhecimento natural de 3 meses.

Fonte: Própria autoria.

10.6. Considerações parciais da etapa 2

A partir dos resultados obtidos da avaliação dos painéis sem recobrimento (PMBB-C) e dos painéis recobertos com o filme de breu (PMBB-B), o filme de látex LS, usando látex vulcanizado apenas com enxofre (PMBB-LS) e o filme de látex LT, a partir do látex

vulcanizado utilizando além do enxofre, aceleradores e doadores de enxofre (PMBB-LT), pode-se concluir que:

- a) Os látex LS e LT formaram um filme contínuo que recobriu os poros superficiais do painel observado pela diminuição da rugosidade comparado ao painel sem recobrimento, enquanto que o breu não formou um filme contínuo, devido à baixa viscosidade, formando um filme transparente sobre as partículas.
- b) Os filmes de látex LS/LT e breu promoveram redução na permeabilidade da água nos painéis de multicamadas e reduziram o inchamento em espessura (IE) de 81,1%, 90,8% e 86,6%, respectivamente para os painéis PMBB-B, PMBB-LS e PMBB-LT, quando comparado ao painel sem revestimento (PMBB-C)
- c) O uso dos filmes não influenciou o desempenho térmico dos painéis, como também não houve interação do tipo de recobrimento com a variação da umidade relativa do ar.
- d) A perda mecânica e o aumento da variação dimensional se devem à degradação biológica, física e química dos componentes lignocelulósicos, bagaço e bambu, da resina de óleo de mamona e dos filmes de látex e breu dos painéis provocada pela água, temperatura, radiação solar e microrganismos, tornando-os hidrofílicos, após o período de envelhecimento.
- e) Os painéis PMBB-LS apresentaram valores de inchamento em espessura satisfatórios, porém não apresentaram aumento de resistência mecânica. Ao serem expostos às intempéries climáticas pelo ensaio de envelhecimento natural, apresentaram redução da resistência mecânica e crescimento de fungos na superfície.
- f) O uso dos filmes de látex-LT e de breu não proporcionaram acréscimo de resistência mecânica, mas formaram uma proteção contra às intempéries climáticas nos primeiros 3 meses de envelhecimento natural, resultando em menores reduções nos valores de MOR e MOE.
- g) Após os seis meses de envelhecimento natural o desempenho mecânico foi igual para todos os painéis, lembrando que essas condições são muito severas às condições propostas para o uso deste material, sendo em locais internos com umidade e sem a presença da radiação solar.

11. RESULTADOS E DISCUSSÕES DA ETAPA 3

Na Etapa 3, “*Estudo da impregnação de nanopartículas de prata (AgNPs) nos filmes*”, estão apresentados os resultados de caracterização e distribuição das nanopartículas de prata (AgNPs) nos filmes de breu (B), látex-LS e látex-LT, assim como, as avaliações microbiológicas dos filmes, sem e com AgNPs nas concentrações de 0; 2,5; 5 e 10 mmol.L⁻¹, e as avaliações microbiológicas nos painéis PMBB, recobertos com os filmes.

11.1. Caracterização e distribuição de nanopartículas de prata

A solução de AgNPs quando submetida a leituras de absorbância ao longo de uma faixa de comprimentos de onda eletromagnética, fornece informações referentes à capacidade do composto em absorver luz no espectro. A interação da luz com a matéria depende da estrutura química dos compostos, desta forma, o espectro de absorção é uma forma de caracterização que permite-se verificar qual a faixa de comprimento de onda em que um dado composto apresenta sua maior afinidade de absorção.

Em espectro visível ocorre um fenômeno óptico decorrente da oscilação simultânea e coletiva dos elétrons da banda de condução do metal (WANG *et al.*, 2010). A perturbação dos elétrons pode ser induzida por uma interação da radiação eletromagnética da luz. (BRANDL *et al.*, 2006). O comprimento de onda e a intensidade dessa banda dependem de um grande número de fatores, tais como: tamanho das partículas, forma e distribuição de tamanho, meio onde estão essas partículas (viscosidade, constante dielétrica, íons ou moléculas coordenadas à superfície).

Observou-se pela análise dos espectros de absorção no UV-vis da Figura 67 a formação das AgNPs com máximo de absorção em 215 nm. Existe um aumento na intensidade de absorção, à medida que a concentração de partículas de AgNPs aumenta. Não há influência da absorção de água no espectro.

Figura 67 - Espectros de absorção no UV-vis das nanopartículas de prata.

Fonte: Própria autoria.

A banda de absorção em torno de 445 nm observada por Sondi, Goia e Matijevi (2003) não foi obtida neste trabalho, indicando que o complexo de prata formado (AgNPs) não é óxido de prata.

A absorção em menor comprimento de onda (215 nm) do AgNPs, quando comparada à literatura (445nm), indicou uma maior capacidade de emitir em comprimento de ondas menores (HARRIS, 2008), gerando maior energia para atuar como agente antimicrobiano.

Foi observada a formação do Ag⁰ (prata metálica) em todos os filmes, como apresentado na Figura 68, representados pelos picos nos ângulos de difração (2θ) 38,12° (111); 44,31° (200); 64,46° (220); 77,41° (311). Difrátogramas semelhantes foram observados por outros pesquisadores, tais como Pinto *et al.*, 2012; Raymundo-Pereira *et al.* (2017); Nasrollahzadeh *et al.* (2015).

Figura 68 - Difratoograma de raios X do látex-LT e látex-LS, com partículas de prata.

Fonte: Própria autoria.

Na curva do difratograma do látex-LT, é possível observar a presença do óxido de zinco, representados pelos picos nos ângulos de difração (2θ) $32,3^\circ$; $35,12^\circ$; $36,9^\circ$; $48,18^\circ$; $52,24^\circ$; $63,4^\circ$; $68,36^\circ$ e $69,7^\circ$. Vale ressaltar que o ZnO entra no processo de preparação do látex como acelerador.

Na Figura 69 estão ilustradas as imagens de MEV, a análise de EDS e o histograma do diâmetro das partículas calculados por meio do software *Image J*. Por meio das imagens de MEV e a análise de EDS pode-se identificar a presença de prata no material. Além disso, foi observado maior frequência do tamanho de diâmetro de partícula entre 150 a 250 nm. Essa faixa de valor se deve, provavelmente, ao agrupamento das partículas.

A micrografia do látex-LT apresenta uma distribuição do tamanho de diâmetro de partículas maiores, que se deve à presença do ZnO, como observado pelo difratograma de DRX apresentado na Figura 68 e a análise de EDS apresentada na Figura 70.

Figura 69 - Imagens de microscopia eletrônica de varredura e da distribuição de diâmetro de partícula da prata e EDS dos filmes de breu, látex-LS e Látex-LT com AgNPs.

Fonte: Própria autoria.

Figura 70 - Micrografia eletrônica de varredura e EDS do filme de látex-LT.

Fonte: Própria autoria.

11.2. Avaliação microbiológica

11.2.1. Teste de sensibilidade pelo Método de Difusão em ágar modificado

A Tabela 22 apresenta a resposta qualitativa do teste de sensibilidade pelo método de difusão em ágar pela presença do halo ao redor dos discos de filme (zona de inibição de crescimento, distância do halo ao disco). No teste utilizando a bactéria *Escherichia coli* apenas o látex-LT apresentou a formação do halo de inibição, até mesmo sem a presença da AgNPs, ocasionada pelo efeito principalmente do ZnO. Enquanto que os filmes de B e de látex-LS não apresentaram a formação do halo de inibição mesmo com a AgNPs. Segundo Sondi e Salopek-Sondi (2004) apesar dos íons de prata e os compostos de prata serem altamente tóxicos para a maioria das bactérias, algumas estirpes raras são resistentes à prata. Portanto, a estirpe de *E. coli* utilizada neste teste apresentou resistência a prata, portanto o efeito no látex-LT se deve a presença do ZnO.

A avaliação para a bactéria *Staphylococcus aureus* mostrou que os filmes de Breu e de látex-LS sem AgNPs não apresentaram a formação do halo de inibição. No entanto, com a presença da AgNPs, um pequeno halo foi constatado, sendo que no filme de látex-LS o halo foi menor, pois parte das partículas de prata estão presentes na superfície do filme e parte dessa prata encontra-se inserida no látex. Portanto somente a prata que encontra-se mais superficialmente estaria atuando. Diferente do filme Breu que a impregnação de AgNPs

concentrou-se na superfície. Outro ponto pode ser devido à baixa concentração de AgNPs, o que resultou no halo pequeno.

Segundo Bakhshi *et al.* (2013), a preparação de revestimentos poliméricos com biocidas quimicamente ancorados com caráter microbiocida é um campo crescente na área de superfícies de higiene, apresentando vantagens, como, evitar a liberação de biocidas no meio ambiente, tempo prolongado de manutenção do revestimento e aumento da eficiência antibacteriana decorrente da alta concentração local de biocidas na superfície dos materiais.

Tabela 22 - Resposta do teste de sensibilidade pelo método de Difusão em ágar: avaliação zona de inibição de crescimento dos filmes de Breu, látex-LS, látex-LT em quatro concentrações.

Bactéria	Filme	Concentração (mmol.L ⁻¹)			
		0	2,5	5	10
<i>E. coli</i>	Breu	Não	Não	Não	Não
	Látex-LS	Não	Não	Não	Não
	Látex-LT	Sim (4,81mm)	Sim (4,63 mm)	Sim (3,66 mm)	Sim (4,36 mm)
<i>S. aureus</i>	Breu	Não	Sim (1,51 mm)	Sim (0,69 mm)	Sim (1,63 mm)
	Látex-LS	Não	Sim (0,72 mm)	Sim (0,91 mm)	Sim (0,86 mm)
	Látex-LT	Sim (6,46 mm)	Sim (7,30 mm)	Sim (6,87 mm)	Sim (6,10 mm)

Fonte: Própria autoria.

A análise realizada com a bactéria *Staphylococcus aureus*, mostrou que o uso da prata resultou na formação do halo de inibição, como ilustrado na Figura 71. O filme de látex-LT apresentou novamente a formação do halo em todas as concentrações de AgNPs até mesmo no látex-LT sem AgNPs devido à presença do ZnO. O halo apresentado foi maior nos testes com látex-LT visto a maior concentração de ZnO utilizado (2 phr=*parts per hundred rubber*) em comparação com a concentração da AgNPs.

Estudos desenvolvidos com filmes nanocompósitos de quitosana e seu derivados com nanopartículas de prata, nas concentrações 1,1; 2,58; 3,94 % em massa apresentaram a formação do halo de inibição, sendo crescente conforme o aumento da concentração de nanopartículas para as bactérias *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* e *Klebsiella pneumoniae*, com efeito bacteriostático para as menores concentrações e efeito bactericida para as maiores concentrações (PINTO *et al.*, 2012).

Figura 71 - Imagens da formação dos halos nos filmes de breu e de látex LS e LT do teste de sensibilidade pelo método de difusão em ágar.

Fonte: Própria autoria.

Após o ensaio microbiológico por difusão em ágar foi realizada a avaliação para determinar se o material apresentava caráter bactericida ou bacteriostático, por meio da adaptação do teste de concentração mínima inibitória (CMI) (NCCLS M7-A6, 2003).

Os filmes testados foram os que apresentaram a formação do halo de inibição no teste anterior, dentre as concentrações, a menor foi a escolhida. Portanto, para a bactéria *Escherichia coli* foi avaliado o filme de látex-LT sem nanopartícula de prata e com 2,5 mmol.L⁻¹ de AgNPs. Para a bactéria *Staphylococcus aureus* avaliaram-se os filmes: Breu com concentração de 2,5 mmol.L⁻¹ de AgNPs e, látex-LS e látex-LT sem e com concentração de 2,5 mmol.L⁻¹ de AgNPs. O resultado do teste está listado na Tabela 23.

Tabela 23 - Resposta obtida do teste de concentração mínima inibitória dos filmes de Breu com 2,5 mmol.L⁻¹ e de Látex-LS e Látex-LT sem e com 2,5 mmol.L⁻¹ de nanopartículas de prata.

Bactéria	Filme	Concentração (mmol.L ⁻¹)	Tubo	Placa
<i>Escherichia coli</i>	Positivo	-	**	**
	Negativo	-	*	**
	Látex-LT	0	*	**
		2,5	*	**
<i>Staphylococcus aureus</i>	Positivo	-	**	**
	Negativo	-	*	**
	Breu	2,5	*	**
	Látex-LS	0	**	**
		2,5	**	**
	Látex-LT	0	*	**
		2,5	*	**

* não crescimento; ** crescimento; Fonte: Própria autoria.

Conforme os dados apresentados na Tabela 23, o látex-LT com 0 e 2,5 mmol.L⁻¹ de AgNPs e o Breu com 2,5 mmol.L⁻¹ não apresentaram crescimento de ambas as bactérias testadas durante o período de 24 h de incubação no tubo, observado pelo meio translúcido.

No entanto, em ambos os filmes após a inoculação da solução contida no tubo, nas placas de Petri com ágar, foi observado o crescimento das bactérias, mesmo resultado obtido pelo teste negativo com o uso de antibiótico, como observado na Tabela 23 e ilustrado na Figura 72 e Figura 73. Portanto, em comparação com os testes positivo e negativo, com meio turvo significa o crescimento de bactéria e o meio translúcido o não crescimento das bactérias.

O látex LS apresentou crescimento bacteriano após 24 h de incubação do tubo, apresentando o mesmo resultado obtido pelo teste positivo.

Figura 72 - Teste concentração mínima inibitória utilizando a bactéria *Escherichia coli*.

Fonte: Própria autoria.

Figura 73 - Teste concentração mínima inibitória utilizando a bactéria *Staphylococcus aureus*.

Fonte: Própria autoria.

Os filmes de látex-LT e Breu apresentaram caráter bacteriostático, pois não matam as bactérias, apenas impediram sua proliferação e aparentemente um caráter levemente bactericida, observado pela diminuição das colônias formadas, como ilustrado na Figura 74, contudo não foram feitas diluições nem contagens para saber com exatidão a taxa de redução de colônias formadoras.

Figura 74 - Imagens ampliada do crescimento das bactérias semeadas na placa.

Fonte: Própria autoria.

11.2.2. Método de inibição do crescimento microbiano em material higienizado nos painéis revestidos com e sem a solução de prata coloidal

A Tabela 24 lista os resultados do método de inibição do crescimento microbiano em material higienizado, teste que consistiu em inocular os bacilos *E. coli* e *S. aureus*, à superfície dos painéis PMBB-C (sem recobrimento), PMBB-B2,5 (revestido com breu impregnado com 2,5 mmol/L de partículas de prata) e PMBB-LT0 (revestido com látex LT sem partículas de prata), juntamente com a taxa de redução bacteriana calculada.

Tabela 24 - Resultado do teste de inibição do crescimento microbiano em nos painéis PMBB-C, PMBB-LT e PMBB-B.

Bactéria	Amostra	Concentração após 24 h (UFC/mL)	Redução da taxa bacteriana (%)
<i>E. coli</i>	BRANCO	$7,3.10^5$	
	Painel PMBB-C (sem recobrimento)	10*	99,98
	Painel PMBB-LT0 (sem AgNPs)	0	100
<i>S. aureus</i>	BRANCO	$8,2.10^5$	
	Painel PMBB-C (sem recobrimento)	110*	99,97
	Painel PMBB-LT0 (sem AgNPs)	0	100
	Painel PMBB-B2,5 (com 2,5 mmol.L ⁻¹)	0	100

O número de bactérias nas culturas foi calculado pela multiplicação pelo índice de diluição.

BRANCO: nenhuma amostra colocada; UFC: unidade formadora de colônias. * valor estimado

Fonte: Própria autoria.

A contagem bacteriana no painel PMBB-C para ambas as bactérias ficou muito abaixo na faixa considerada significativa de 25 - 250 UFC/placa ou 30 - 300 UFC/placa (GUERRA, 2016), portanto os valores calculados por UFC/mL foram estimados, podendo considerar que não houve crescimento bacteriano. Enquanto que para os painéis PMBB-LT0 e PMBB-B2,5 não foi visualizado o crescimento de nenhuma colônia de bactérias.

No caso do painel PMBB-C que não apresenta nenhum tipo de recobrimento ou aplicação de nanopartículas de prata, a taxa de redução bacteriana foi muito alta. Algumas hipóteses podem ser levantadas, como: a concentração bacteriana aplicada sobre o painel foi pequena; a umidade do painel, em torno de 4-5%, é muito baixa para a proliferação das bactérias; a rugosidade deste material, como avaliado anteriormente, possibilitou a penetração da bactéria e dificultou sua extração durante a lavagem, mesmo mantendo a superfície inoculada imersa na solução de lavagem por 4 h; ou, pode ter ocorrido a liberação de alguma substância tóxica para as bactérias, visto que para a produção da poliuretana existem comercialmente diferentes composição poli isocianatos (ZHANG *et al.*, 2017).

No caso dos painéis de PMBB-B e PMBB-LT a ausência de crescimento de colônias bacterianas pode ter sido, devido, além dos fatores supracitados cima, o AgNPs presente no filme de B, o ZnO presente no látex-LT, a baixa concentração de bactérias incubadas sobre os

painéis, ocasionaram a morte das bactérias presentes. A Figura 75 ilustra o crescimento bacteriano nas placas de Petri.

Figura 75 - Imagem do crescimento bacteriano nas placas.

* Ponto vermelho = marcação contagem com caneta. Fonte: Própria autoria.

Portanto, muitos fatores podem ter influenciado o resultado obtido deste teste. Seriam necessários mais repetições e adaptações na metodologia para garantir que a umidade ou a rugosidade do material não estivesse influenciando no desenvolvimento ou não das bactérias. Ou ainda aferir se há algum outro fator que possa estar contribuindo para estes resultados apresentados neste trabalho.

11.3. Considerações parciais da etapa 3

Com base nos resultados apresentados obtidos da caracterização da nanopartículas de prata (AgNPs), os ensaios microbiológicos de teste de sensibilidade pelo método de difusão em ágar modificado realizados nos filmes de B, látex-LS e látex-LT com 0; 2,5; 5 e 10 mmol.L⁻¹ de AgNPs e a avaliação dos painéis PMBB-C, PMBB-B com 2,5 mmol.L⁻¹ de AgNPs, e PMBB-LT pelo método de inibição do crescimento microbiano em material higienizado, pode-se concluir que:

- Foi observada a formação de prata metálica (Ag^0) com maior frequência de diâmetro de partícula na faixa de entre 150 a 250 nm.

- No teste de sensibilidade foi constatado que o filme de látex-LT apresentou a formação do halo de inibição para ambas as bactérias (*E. coli* e *S. aureus*). O resultado indica que o efeito maior se deve ao ZnO utilizado na produção do próprio filme.

- O filme de látex-LS, apesar da formação do halo no teste de sensibilidade pelo método de difusão em ágar, ao realizar o teste de concentração mínima inibitória os resultados foram insatisfatórios, ou seja, não teve ação microbida.

- A estirpe de *E. coli* utilizada neste trabalho apresentou resistência a prata, portanto o efeito no látex-LT se deve à presença do ZnO.

- Por meio do teste de sensibilidade e do teste de concentração mínima inibitória, obteve-se que os filmes de látex-LT e B apresentaram caráter bacteriostático, pois, não matam as bactérias, apenas impedem sua proliferação. Sendo que, o filme de B apresentou esse efeito apenas para as bactérias gram-positivas (*S. aureus*), enquanto que o filme látex-LT abrangeu tanto as bactérias gram-positivas (*S. aureus*) quanto as gram-negativas (*E. coli*).

- Na avaliação microbiológica dos painéis foi constatado que o painel PMBB-C, sem revestimento houve uma redução em ambas as bactérias testadas de 99%, muitos fatores podem ter influenciado na taxa de redução bacteriana, como umidade, concentração de AgNPs e rugosidade superficial do painel. No entanto, os painéis PMBB-LT0 e PMBB-B2,5, não foi constatado crescimento de nenhuma colônia. Além dos fatores já mencionados, há também os agentes biocidas que juntamente com a baixa concentração mataram as bactérias incubadas sobre os painéis.

12. RESULTADO E DISCUSSÕES DA ETAPA 4

Na Etapa 4, “Aplicação dos painéis PMBB em Instalação agroindustrial”, foi adotado o painel PMBB-LT sem partículas de prata para a produção dos escamoteadores, visto os resultados obtidos da etapa 2 e 3. Pois o filme de látex-LT nos painéis promoveu a redução na permeabilidade da água, como também, formou uma proteção contra as intempéries climáticas nos primeiros 3 meses de envelhecimento natural. Além de, apresentar caráter bacteriostático tanto para as bactérias gram-positivas (*S. aureus*) quanto as gram-negativas (*E. coli*).

Adicionalmente, visto o efeito maior do óxido de zinco e o custo inferior comparado a prata, optou-se em não utilizar as partículas de prata.

Nesta seção estão apresentadas as avaliações dos microclimas gerados pelos escamoteadores em comparação com o ambiente externo durante as 7 noites de análise e os índices de conforto térmico animal.

12.1. Atraso térmico

Foi feita a avaliação das propriedades térmicas dos painéis utilizados na produção dos escamoteadores e calculado o atraso térmico do material. Os resultados estão apresentados na Tabela 25. Estes materiais apresentaram atraso térmico de aproximadamente de 0,60 e 0,66 h para o compensado e o painel PMBB-LT, respectivamente. O atraso térmico do painel PMBB-LT foi significativamente maior que o compensado, ou seja, conserva melhor o ambiente interno, já que a perda de calor é mais lenta. Influenciando na perda de calor do escamoteador para o meio externo.

Tabela 25 - Propriedade térmicas do painel PMBB-LT e do compensado e valor médio do atraso térmico calculado (ϕ).

	T (°C)	k (W/m.K)	c _v (MJ/m ³ .K)	D (mm ² /s)	R (°C.cm/W)	ρ (kg/m ³)	ϕ (h)
Compensado	30,1 ^A	0,130 ^B	0,857 ^A	0,153 ^B	7,715 ^A	513 ^B	0,60 ^B
PMBB-LT	30,2 ^A	0,137 ^A	0,829 ^A	0,167 ^A	7,313 ^B	632 ^A	0,66 ^A

*k=condutividade térmica, c_v = calor específico volumétrico, D=difusividade, R=resistência térmica, ρ =densidade

Fonte: Própria autoria.

12.2. Avaliação do microclima interno dos escamoteadores

Na Figura 76 estão apresentadas as médias das temperaturas e umidades relativas dentro da maternidade onde os escamoteadores permaneceram durante o período de 17/05/2017 a 24/05/2017. Foi registrada a média de temperatura, das 18 h às 8 h, de 20,2 °C e umidade relativa de 88%.

Figura 76 - Média da temperatura e umidade relativa da instalação de suíno das 18 h às 8 h.

Fonte: Própria autoria.

A temperatura ambiente dentro da instalação durante a noite encontra-se abaixo da temperatura de conforto térmico do leitão. A temperatura de conforto térmico de leitões ao nascimento é de 32 – 30 °C, mas esta faixa diminui conforme as semanas de vidas, sendo, na primeira semana a faixa de conforto de 30 – 28 °C, na segunda semana de 28 – 26 °C, na terceira semana de 26 – 24 °C e na quarta semana de 24 – 22 °C (FERREIRA, 2005). A exigência inicial é maior pois o sistema termorregulador ainda não se encontra bem desenvolvido (PANDORFI *et al.*, 2005) e o leitão não possui muita gordura corporal (HOECK; BÜSCHER, 2015), sendo a primeira semana de vida a mais crítica, no entanto, conforme o filhote se desenvolve a faixa de conforto térmico diminui, pois, o animal consegue manter melhor o calor corporal.

A temperatura registrada durante as noites demonstra que os leitões poderão apresentar estresse por frio, evidenciando a importância do uso dos escamoteadores com fonte de aquecimento. O melhor ganho de peso na fase de aleitamento apresentará reflexo positivo nas fases subsequentes de crescimento dos animais.

Na Tabela 26 estão listados os valores médios de temperatura do ar (T), umidade relativa (UR) e a temperatura de globo negro (TGN) dos escamoteadores produzidos com compensado e o painel PMBB-LT comparado com o ambiente externo, intervalos de confiança da média

(95% de confiabilidade) juntamente com os resultados do teste de Tukey ao nível de significância (0,05).

Tabela 26 - Valores médios e intervalos de confiança das variáveis climáticas: de temperatura ar (T), umidade relativa (UR) e temperatura de globo negro (TGN).

	T (°C)	UR (%)	TGN (°C)
Compensado	30,4 ^A (30,3 – 30,6)	53,02 ^C (52,6 – 53,3)	30,7 ^A (30,6 – 30,8)
PMBB	30,4 ^A (30,2-30,5)	54,5 ^B (54,2 – 45,9)	28,7 ^B (28,6 – 28,9)
Externo	20,0 ^B (19,9 – 20,1)	85,9 ^A (85,4 – 86,3)	23,5 ^C (23,3 – 23,6)

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente em 5% pelo teste de Tukey. Fonte: Própria autoria.

As temperaturas médias internas dos escamoteadores não apresentaram diferença significativa, sendo ambos estatisticamente maiores que o ambiente externo ($p < 0,05$). A temperatura média interna atende à zona de conforto ao nascer, e encontra-se acima da zona de conforto para as outras semanas de vida, conforme valores de temperatura apresentado por Ferreira (2005). Segundo Pandorfi *et al.* (2005) a temperatura interna registrada nos dois escamoteadores está dentro da faixa de conforto térmico de 28 – 32 °C. Em testes de preferência realizados com leitões utilizando abrigos com diferentes temperaturas interna, os leitões permaneceram um tempo maior nos ambientes com temperaturas elevadas, acima da zona de conforto (VANDAL *et al.*, 2010).

A umidade relativa média de ambos os escamoteadores foi menor que o registrado externamente, sendo que o escamoteador de compensado foi significativamente menor que o escamoteador de PMBB, provavelmente se deve ao filme de látex-LT utilizado como revestimento superficial. De acordo com Ferreira (2005), a umidade registrada dentro dos escamoteadores está dentro da faixa de conforto de 50-70%.

Pandorfi *et al.* (2005) avaliando diferentes formas de aquecimento e obtiveram com o uso de lâmpada incandescente valores médios de temperatura de 32,2 °C, umidade relativa de 48,9 % e temperatura de globo negro de 32,8 °C.

Para comparação entre os escamoteadores foi realizado o modelo de regressão para cada variável temperatura (T), umidade relativa e temperatura de globo negro (TGN), de acordo com as equações Eq. 12, Eq. 13 e Eq. 14, respectivamente, juntamente com os coeficientes de determinação (R^2). Encontrando-se sublinhados os termos considerados não significativos.

$$T = 27,0176 + 1,06267 \cdot \text{Tesc} - 0,354369 \cdot Q - 0,214829 \cdot \text{Nt} + 0,148159 \cdot h + \text{Eq. 12}$$

$$0,545463 \cdot Q^2 - 0,0283061 \cdot \text{Nt}^2 - 0,00599649 \cdot h^2 - 0,179925 \cdot \text{Tesc} \cdot Q -$$

$$0,168716 \cdot \text{Tesc} \cdot \text{Nt} - 0,00132283 \cdot \text{Tesc} \cdot h + 0,0371575 \cdot Q \cdot \text{Nt} - 5,04194 \cdot 10^{-4} \cdot Q \cdot h +$$

$$0,0175892 \cdot \text{Nt} \cdot h$$

$$R^2=84,22\%$$

$$\text{UR} = 57,3970 - 1,53195 \cdot \text{Tesc} - 3,17958 \cdot Q + 7,04072 \cdot \text{Nt} - 0,143802 \cdot h - \text{Eq. 13}$$

$$0,736637 \cdot Q^2 - 0,844571 \cdot \text{Nt}^2 + 0,00376388 \cdot h^2 + 0,569787 \cdot \text{Tesc} \cdot Q +$$

$$0,409128 \cdot \text{Tesc} \cdot \text{Nt} + 0,00242896 \cdot \text{Tesc} \cdot h - 0,142521 \cdot Q \cdot \text{Nt} + 0,00979318 \cdot Q \cdot h -$$

$$0,00262340 \cdot \text{Nt} \cdot h$$

$$R^2=95,18\%$$

$$\text{TGN} = 31,4015 - 6,46768 \cdot \text{Tesc} - 0,900856 \cdot Q + 0,0280202 \cdot \text{Nt} + 0,139596 \cdot h - \text{Eq. 14}$$

$$0,0598408 \cdot \text{Nt}^2 - 0,00602971 \cdot h^2 + 3,38445 \cdot \text{Tesc} \cdot Q - 0,121936 \cdot \text{Tesc} \cdot \text{Nt} -$$

$$7,63305 \cdot 10^{-4} \cdot \text{Tesc} \cdot h + 0,0693339 \cdot Q \cdot \text{Nt} - 0,00324834 \cdot Q \cdot h + 0,0203093 \cdot \text{Nt} \cdot h$$

$$R^2=76,33\%$$

onde, Tesc = tipo de escamoteador, Q = quadrante, Nt = noite e h= horas.

Através dos modelos de regressão foram determinados os menores e os maiores valores (valores extremos) para cada variável ambiental coletada, apresentada na Tabela 27

Tabela 27 - Valores extremos obtidos pelos modelos de regressão para temperatura (T), umidade relativa (UR) e temperatura de globo negro (TGN).

	Mín	Tesc	Q	Nt	h	Máx	Tesc	Q	Nt	h
T (°C)	24,54	PMBB-LT	1	7	1:00	35,57	Compensado	4	5	17:00
UR (%)	36,01	Compensado	4	7	0:00	62,14	PMBB-LT	1	7	1:00
TGN (°C)	24,58	PMBB-LT	1	7	1:00	31,46	Compensado	1	7	0:00

Fonte: Própria autoria.

Conforme os modelos de regressão, o período da noite (horas) não influenciou nas variáveis climáticas coletadas dentro dos escamoteadores, observada pela não significância na interação dos fatores: tipo de escamoteador vs. horas (Tesc h) e quadrante vs. horas (Q h). Contudo, houve interação entre o tipo de escamoteador e o quadrante (Tesc·Q).

As médias das temperaturas em cada quadrante (Q) em cada tipo de escamoteador (compensado e PMBB-LT) estão apresentadas na Tabela 28.

Tabela 28 - Média das temperaturas (°C) de cada quadrante (Q) em cada escamoteador.

	Q1	Q2	Q3	Q4
Compensado	27,6 ^{D a}	27,9 ^{C a}	31,4 ^{B b}	34,8 ^{A a}
PMBB-LT	27,6 ^{C a}	27,5 ^{C b}	32,6 ^{B a}	33,7 ^{A b}

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente em 5% pelo teste de Tukey.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente em 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Própria autoria.

Os quadrantes superiores (Q3 e Q4) apresentaram os maiores valores médio de temperatura, sendo que no Q4 foi o qual apresentou o maior valor, para ambos os escamoteadores, devido a este quadrante encontrar-se mais afastado da entrada do escamoteador.

As menores temperaturas dos quadrantes inferiores (Q1 e Q2) se deve ao posicionamento mais afastado da fonte de aquecimento e a presença da entrada do escamoteador e de aberturas (furos) no piso emborrachado utilizado para escoamento de urina.

Segundo Zhang e Xin (2001) uma pequena zona de alta temperatura existe diretamente debaixo da lâmpada. podendo chegar a 49 °C, sendo que a uma distância de 19 cm a temperatura cai para 34 ° C. As temperaturas apresentadas nos quadrantes inferiores encontram-se abaixo da zona de temperatura ao nascimento e para a primeira semana de vida, segundo Ferreira (2005).

Na Figura 77 está representada a variação da temperatura dos escamoteadores em cada quadrante no período das 18:00 às 8:00 horas. O escamoteador de compensado apresenta uma variação de amplitude de temperatura muito maior que o escamoteador de PMBB, que mantém um ambiente mais homogêneo.

Portanto, o microclima formado apresenta pontos com diferentes temperaturas. O que supõe que o posicionamento da lâmpada a uma altura menor do que o utilizado neste trabalho, possa proporcionar um ambiente com temperaturas maiores, principalmente nos quadrantes inferiores.

Figura 77 - Temperatura média dos escamoteadores em cada quadrante (Q) das 18:00 às 8:00h.

Fonte: Própria autoria.

Na Tabela 29 estão apresentadas as médias das temperaturas em cada quadrante (Q) em cada tipo de escamoteador (compensado e PMBB-LT). Nota-se em todos os quadrantes (Q) do escamoteador de PMBB-LT foram estatisticamente superiores ao escamoteador de compensado. E de forma contrária os quadrantes o quadrante Q1 apresentou os maiores valores de umidade, devido à abertura (entrada) do escamoteador.

Tabela 29 - Valores médios de umidade relativa (UR) (%) de cada quadrante (Q) em cada escamoteador.

	Q1	Q2	Q3	Q4
Compensado	62,5 ^{Ab}	59,4 ^{Bb}	48,0 ^{Cb}	42,0 ^{Db}
PMBB-LT	63,1 ^{Aa}	60,9 ^{Ba}	49,6 ^{Ca}	44,4 ^{Da}

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente em 5% pelo teste de Tukey.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente em 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Própria autoria.

Na Figura 78 está representada a variação da umidade dos escamoteadores em cada quadrante no período das 18:00 às 8:00 h.

Figura 78 - Umidade relativa média dos escamoteadores em cada quadrante (Q) das 18:00 às 8:00 h.

Fonte: Própria autoria.

12.3. Índices de conforto térmico

A Tabela 30 apresenta os valores médios dos índices de conforto térmico: índice de temperatura de globo e umidade (ITGU), carga térmica radiante (CTR) e a entalpia (H) dos escamoteadores produzidos com compensado e o painel PMBB-LT comparado com o ambiente externo, intervalores de confiança da média (95% de confiabilidade) juntamente com os resultados do teste de Tukey ao nível de significância (0,05).

Tabela 30 - Valores médios e intervalo de confiança dos índices de conforto térmico: ITGU, CRT e H.

	ITGU	CTR (Wm^{-2})	H ($\text{kJ kg ar seco}^{-1}$)
Compensado	79,2 ^A (79,1-79,3)	483,5 ^A (482,9-484,2)	60,2 ^B (59,9-60,4)
PMBB	77,3 ^B (77,2-77,5)	471,3 ^B (470,6-472,1)	60,9 ^A (60,6-61,12)
Externo	71,2 ^C (71,0-71,4)	439,3 ^C (438,4-440,2)	45,7 ^C (45,3-46,0)

Médias seguidas pela mesma letra na coluna não diferem significativamente em 5% pelo teste de Tukey. Fonte: Própria autoria.

O índice de globo negro e umidade utilizado, foi baseado na combinação de fatores: temperatura de bulbo seco, umidade, radiação e movimento do ar. Sendo um bom indicador para avaliar o conforto térmico animal (BUFFINGTON & COLLAZO-AROCHO, 1981).

O valor médio de ITGU obtido no escamoteador de compensado foi significativamente maior que no escamoteador de PMBB-LT, sendo ambos maiores que o ambiente externo ($p < 0,05$). Segundo Turco *et al.* (1995) *apud* Campos *et al.* (2008) recomendam valores de ITGU para matrizes de 72 e para leitões de 80. No entanto, para Pandorfi *et al.* (2005), a faixa ideal de ITGU para leitões encontra-se entre 82 a 84. Esta faixa não se encontra bem definida para a classe de suínos nas primeiras semanas de vida, tendo, portanto, variações entre os autores. Os valores de ITGU calculados neste trabalho foram menores do que os valores recomendados pelos autores acima.

O valor de CTR do escamoteador produzido de compensado foi maior que o do escamoteador produzido de PMBB-LT ($p < 0,05$). O CTR é a quantidade total de energia térmica trocada por um indivíduo através de radiação com o meio ambiente (TAKAHASHI; BILLER; TAKAHASHI, 2009). Os valores calculados de CTR para ambos os escamoteadores foram superiores à energia radiante média recomendada de aproximadamente 450 Wm^{-2} (BAÊTA & SOUZA, 1997), considerado suficiente para manutenção da condição de conforto dos leitões (SILVA; PANDORFI; PIEDADE, 2005). Sendo que o ambiente externo o CTR encontrou-se abaixo do recomendado.

O escamoteador produzido com o painel PMBB-LT apresentou valores médio de entalpia (H) maiores que o escamoteador produzido com o compensado ($p < 0,05$). Segundo Pandorfi *et al.* (2005) o valor ideal para a entalpia na primeira semana de vida dos leitões é de $90,2 \text{ kJ kg ar seco}^{-1}$, na segunda semana é de $81,6 \text{ kJ kg ar seco}^{-1}$ e na terceira semana de $73,8 \text{ kJ kg ar seco}^{-1}$. No entanto, os valores médios de H em ambos os escamoteadores não atingiram o valor ideal de $90,2 \text{ kJ kg ar seco}^{-1}$ recomendado para os dias iniciais mais críticos.

Pandorfi et al. (2005) avaliando diferentes formas de aquecimento e obtiveram com o uso de lâmpada incandescente valores médios dos índices de conforto de ITGU de 81,3, CTR de 493 Wm^{-1} e entalpia de $72,1 \text{ kJ kg ar seco}^{-1}$.

Para comparação dos índices de conforto térmico calculados entre os escamoteadores foi realizado o modelo de regressão de acordo com as equações Eq. 15, Eq. 16 e Eq. 17, juntamente com os coeficientes de determinação (R^2). Encontrando-se sublinhados os termos considerados não significativos.

$$\begin{aligned} \text{ITGU} = & 79,3478 - 6,51442 \cdot \text{Tesc} - 1,17495 \cdot Q + 0,681962 \cdot \text{Nt} + 0,174347 \cdot h - \\ & 0,158695 \cdot \text{Nt}^2 + 0,00764436 \cdot h^2 + 3,44396 \cdot \text{Tesc} \cdot Q - 0,107679 \cdot \text{Tesc} \cdot \text{Nt} - 8,79805 \cdot 10^{-4} \cdot \text{Tesc} \cdot h \\ & + 0,0624385 \cdot Q \cdot \text{Nt} - 0,00374451 \cdot Q \cdot h + 0,0264305 \cdot \text{Nt} \cdot h \end{aligned} \quad \text{Eq. 15}$$

$$R^2 = 70,24\%$$

$$\begin{aligned} \text{CTR} = & 487,734 - 40,5067 \cdot \text{Tesc} - 5,72431 \cdot Q + 0,147370 \cdot \text{Nt} + 0,910835 \cdot h - \\ & 0,367894 \cdot \text{Nt}^2 - 0,0390289 \cdot h^2 + 21,2037 \cdot \text{Tesc} \cdot Q - 0,742692 \cdot \text{Tesc} \cdot \text{Nt} - \\ & 0,0141318 \cdot \text{Tesc} \cdot h + 0,424421 \cdot Q \cdot \text{Nt} - 0,0154912 \cdot Q \cdot h + 0,126058 \cdot \text{Nt} \cdot h \end{aligned} \quad \text{Eq. 16}$$

$$R^2 = 72,93\%$$

$$\begin{aligned} H = & 53,2044 + 1,56151 \cdot \text{Tesc} - 1,73112 \cdot Q + 3,18897 \cdot \text{Nt} + 0,266005 \cdot h + \\ & 0,866206 \cdot Q^2 - 0,555711 \cdot \text{Nt}^2 - 0,0145817 \cdot h^2 - 0,0298334 \cdot \text{Tesc} \cdot Q - \\ & 0,197711 \cdot \text{Tesc} \cdot \text{Nt} - 2,62355 \cdot 10^{-4} \cdot \text{Tesc} \cdot h + 0,0406094 \cdot Q \cdot \text{Nt} + 3,71160 \cdot 10^{-5} \cdot Q \cdot h + \\ & 0,0570495 \cdot \text{Nt} \cdot h \end{aligned} \quad \text{Eq. 17}$$

$$R^2 = 72,63\%$$

onde, Tesc = tipo de escamoteador, Q = quadrante, Nt = noite e h = horas.

Através dos modelos de regressão foram determinados os menores e os maiores valores (valores extremos) para cada índice de conforto térmico calculado, apresentada na Tabela 31.

Tabela 31 - Valores extremos obtidos pelos modelos de regressão para temperatura (T), umidade relativa (UR) e temperatura de globo negro (TGN).

	Mín	Tesc	Q	Nt	h	Máx	Tesc	Q	Nt	h
ITGU	72,1	PMBB-LT	1	7	1	79,7	Compensado	1	7	24
CTR (Wm^{-2})	445,2	PMBB-LT	1	7	1	488,1	Compensado	1	7	24
H ($\text{kJ kg ar seco}^{-1}$)	48,37	Compensado	1	7	1	69,54	PMBB-LT	4	7	1

Fonte: Própria autoria.

Conforme os modelos de regressão para o ITGU e CTR, o período da noite (horas) não influenciou nos valores dos índices calculados dentro dos escamoteadores, observada pela não significância na interação dos fatores: tipo de escamoteador e horas (Tesc h), e, quadrante e horas (Q h). Contudo, houve interação entre o tipo de escamoteador e o quadrante (Tesc·Q). Enquanto que no modelo de regressão para H, não houve interação tanto das horas como entre o tipo de escamoteador e o quadrante.

Na Tabela 32 estão apresentados os valores médios de ITGU em cada quadrante (Q) em cada tipo de escamoteador (compensado e PMBB-LT). No quadrante 1 os valores de ITGU foram diferentes entre os tipos de escamoteadores, enquanto que no quadrante 2 não houve diferença no valor de ITGU entre os tipos de escamoteadores. Nota-se também que, da mesma forma que as variáveis climáticas, o valor de ITGU varia significativamente dentro dos escamoteadores.

Tabela 32 - Valores médios de ITGU de cada quadrante (Q) em cada escamoteador.

	Q1	Q2
Compensado	79,6 ^{Aa}	78,6 ^{Ba}
PMBB-LT	76,1 ^{Bb}	78,6 ^{Aa}

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente em 5% pelo teste de Tukey.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente em 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Própria autoria.

Os valores médios de CTR em cada quadrante (Q) em cada tipo de escamoteador (compensado e PMBB-LT) estão apresentados na Tabela 33. Os valores de CTR dentro dos escamoteadores apresentaram o mesmo comportamento que o ITGU.

Tabela 33 - Valores médios de CTR (Wm^{-2}) de cada quadrante (Q) em cada escamoteador.

	Q1	Q2
Compensado	485,3 ^{Aa}	481,8 ^{Ba}
PMBB	462,9 ^{Bb}	479,8 ^{Aa}

Médias seguidas pela mesma letra maiúscula na linha não diferem significativamente em 5% pelo teste de Tukey.

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na coluna não diferem significativamente em 5% pelo teste de Tukey.

Fonte: Própria autoria.

12.4. Considerações parciais da etapa 4

A partir dos resultados das variáveis climáticas e dos índices de conforto térmico obtidos dos escamoteadores produzidos com compensado e com o painel PMBB-LT pode-se concluir que:

- Os escamoteadores produziram um microambiente que atende melhor as necessidades dos leitões, comparando ao ambiente externo.
- A temperatura e a umidade relativa estão dentro da faixa de conforto para leitões na primeira semana de vida.
- O microclima formado em ambos os escamoteadores apresenta pontos com diferentes temperaturas. O que supõe que o posicionamento da lâmpada a uma altura menor do que o utilizado neste trabalho, possa proporcionar um ambiente com temperaturas maiores, principalmente nos quadrantes inferiores.
- O escamoteador de compensado apresenta uma variação de amplitude de temperatura muito maior que o escamoteador de PMBB-LT, que mantém um ambiente mais homogêneo.
- O escamoteador produzido com PMBB-LT apresentou uma umidade interna maior que o escamoteador de compensado, podendo ser efeito do filme de látex-LT utilizado.
- Ambos os escamoteadores apresentaram valores de ITGU e entalpia menores que os valores recomendados para leitões, e, valores maiores de CTR.
- O painel PMBB-LT mostrou ter potencial como material para produção dos escamoteadores.

13. CONCLUSÕES

A partir deste trabalho pode-se concluir que:

- O processo de moldagem na conformação de cada camada na produção de painéis multicamada à base de bagaço de cana-de-açúcar reforçado com partículas de bambu (PMBB) influenciou nas propriedades físicas e mecânicas do painel, portanto, o processo sem prensagem entre as camadas (PMBB-M2) resultou em um painel com valor de inchamento em espessura

20% menor e valores de MOR e MOE de 38% e 29%, respectivamente, maiores, comparados ao processo com prensagens entre as camadas (PMBB-M1).

- O uso dos filmes de Breu (B), látex-LS e látex-LT promoveram a redução na permeabilidade de água no painel PMBB em torno de 85%, na média, mostrando serem bons impermeabilizantes, contudo, quando expostos ao envelhecimento natural, a radiação solar, juntamente com outros fatores climáticos promoveram a degradação química e biológica dos filmes e do painel. Apesar disso, os filmes de Breu e de látex-LT, até os 3 meses de envelhecimento natural, preservaram as propriedades físicas e mecânicas dos painéis.

- O teste de sensibilidade pelo método de difusão em ágar modificado juntamente com o teste adaptado de concentração mínima inibitória dos filmes de látex-LT e de Breu com impregnação de nanopartículas de prata (AgNPs) apresentaram ter caráter bacteriostático para as bactérias gram-positivas (*Staphylococcus aureus*). Para as bactérias gram-negativas (*Escherichia coli*) somente o filme de látex-LT mostrou ser bacteriostático. O teste de inibição do crescimento microbiano em material higienizado dos painéis com a aplicação dos filmes promoveu redução de crescimento bacteriano de 100%, quando inoculadas as bactérias sobre a superfície dos painéis, contudo, este teste necessita ainda de algumas modificações, para as condições dos painéis.

- O painel PMBB-LT apresentou potencial de aplicação como escamoteadores/abrigos para leitões no setor da maternidade em instalação de suínos. O microclima interno formado encontrou-se dentro da zona de conforto térmico exigido pelos leitões, principalmente na primeira semana de vida.

Portanto, pode-se concluir no geral que, o filme de látex-LT utilizado como revestimento em painéis PMBB, promoveu a impermeabilização do material e, por apresentar caráter bacteriostático, tanto para as bactérias gram-positivas quanto para as gram-negativas, evita a proliferação das bactérias sobre a superfície do filme. A aplicação do painel PMBB recoberto com o filme de látex-LT como escamoteador, em instalação para suíno, apresentou bom desempenho como material isolante térmico, atendendo as exigências térmicas dos leitões.

Assim sendo, o uso do filme de látex-LT como recobrimento em painéis PMBB, tem potencial de uso como material isolante para fabricação de escamoteadores para leitões, para ser utilizado na criação de suínos, que possui ambiente úmido e com grande carga bacteriana

14. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Modificar a formulação do látex, acrescentando agentes hidrofóbicos, por exemplo acrescentar parafina e alterar ou acrescentar outro agente que diminua ainda mais a absorção da radiação e prolongue a resistência à radiação solar.
- Modificar o teste de inibição do crescimento microbiano em material higienizado para avaliação de painéis de partículas. Como por exemplo, aumentar a concentração bacteriana ou ter um meio (painel) com maior umidade.
- Avaliar se a resina libera alguma substância tóxica às bactérias, por meio do teste com o painel envelhecido, em que a resina esteja degradada.
- Testar os abrigos com os leitões, e avaliar o recobrimento para avaliar o efeito microbiológico
- Testar os filmes envelhecidos com relação ao efeito microbiológico.

15. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAHÃO, A. A. F.; VIANNA, W. L.; CARVALHO, L. F. O. S.; MORETTI, A. S. A. Causas de mortalidade de leitões neonatos em sistema intensivo de produção de suínos. *Braz. J. Vet. Res. Anim. Sci.*, v.41, p.86-91, 2004.
- ABPA. Associação Brasileira de Proteína animal. 2017 Relatório Anual. São Paulo, 2017.
- AGOSTINI, D. L. S. **Caracterização dos constituintes do látex e da borracha natural que estimulam a angiogênese**. 2009. 101 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", UNESP, Presidente Prudente, 2009.
- AGOSTINI, D. L. S.; CONSTANTINO, C. J. L.; JOB, A. E. Thermal degradation of both latex and latex cast Combined TG / FTIR investigation. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 91, p. 703–707, 2008

- AIPING, Z.; DONGSHENG, H.; HAITAO, L.; YI, S. Hybrid approach to determine the mechanical parameters of fibers and matrixes of bamboo. **Construction and Building Materials**, v. 35, p. 191-196, 2012.
- ALLAHYARZADEH, V.; MONTAZER, M.; NEJAD, N. H.; SAMADI, N. In Situ Synthesis of Nano Silver on Polyester Using NaOH/Nano TiO₂. **Journal Applied Polymer Science**. v.129, p.892-900, 2013.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM, Philadelphia, **ASTM1530** - Standard Test Method for Evaluating the Resistance to Thermal Transmission of Materials by the Guarded Heat Flow Meter Technique, Philadelphia, 18p., 2011.
- _____. **ASTM D 1037** - Standard test method for properties of wood-based fiber and particle panel materials, West Conshohocken, PA, 32p., 2006.
- AMERICAN NATIONAL STANDARD – ANSI, Gaithersburg, **ANSI A208.1** – Particleboard, Gaithersburg, 11p., 1999.
- ARAÚJO, S. C. **Vulcanização do látex de borracha natural induzida com feixes de elétrons**. 1993. 102 f. Dissertação (mestrado) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN), São Paulo, 1993.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, Rio de Janeiro. **NBR 14810** - Painéis de partículas de média densidade. Parte 2: Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 69p., 2013.
- _____. **NBR 9575** - Impermeabilização - Seleção e projeto. Rio de Janeiro, 18p., 2010.
- _____. **NBR ISO 4287** – Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil – Termo, definições e parâmetros da rugosidade. Rio de Janeiro, 18p., 2002.
- _____. **NBR 15220** – Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 92p., 2005.
- ATTA, A. M.; EL-SAEED, S. M.; FARAG, R. K. New vinyl ester resins based on rosin for coating applications. **Reactive & Functional Polymers**, v.66, p.1596–1608, 2006.
- BACCARO, M. R.; MORENO, A. M.; FERREIRA, A. J. P. Occurrence of some virulence genes among Escherichia coli isolates piglets in Brazil. In: INTERNATIONAL PIG VETERINARY SOCIETY CONGRESS, 16., 2000, Melbourne. **Anais...**Melbourne: International Pig Veterinary Society, p.52. 2000.
- BACCARO, M. R.; MORENO, A. M.; CORRÊA, A.; FERREIRA, A. J. P.; CALDERARO F. F. Resistência antimicrobiana de amostras de Escherichia coli isoladas de fezes de leitões com diarreia. **Arq. Inst. Biol.**, v.69, p.15-18, 2002.

- BAÊTA, F. C.; SOUZA, C. F. **Ambiência em edificações rurais –conforto animal**. Viçosa: UFV, 1997. 246p.
- BALAVANDY, S. K.; SHAMELI, K.; ABIDIN, Z. Z. Rapid and Green Synthesis of Silver Nanoparticles via Sodium Alginate Media. **Int. J. Electrochem. Sci.**, v.10, p.486–497, 2015.
- BAKHSHI, H.; YEGANEH, H.; MEHDIPOUR-ATAEI, S.; SHOKRGOZAR, M. A.; YARI, A.; Saeedi-Eslami, S. N. Synthesis and characterization of antibacterial polyurethane coatings from quaternary ammonium salts functionalized soybean oil based polyols. **Materials Science and Engineering C**, v.33, p.153-164, 2013.
- BANEJEE, I.; PANGULE, R. C.; KANE, R. S. Antifouling Coatings: Recent Developments in the Design of Surfaces That Prevent Fouling by Proteins, Bacteria, and Marine Organisms. **Advanced Materials**, v. 23, p.690-718, 2011.
- BARABDE, U. V.; FULZELE, S. V.; SATTURWAR, P. M.; DORLE, A. K.; Joshi, S. B. Film coating and biodegradation studies of new rosin derivative. **Reactive & Functional Polymers**, v.62, p.241–248, 2005.
- BARROS FILHO, R. M.; MENDES, L. M.; NOVACK, K. M.; APRELINI, L. O.; BORATO, V. R. Hybrid chipboard panels based on sugarcane bagasse, urea formaldehyde and melamine formaldehyde resin. **Industrial Crops and Products**, v. 33, p. 369-373, 2011.
- BATTISTELLE, R. A. G.; MARCILIO, C.; LAHR, F. A. R. Emprego do bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum*) e das folhas caulinares do bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus* na produção de chapas de partículas. **Revista Minerva**, v. 5, n. 3, p. 297-305, 2009.
- BAUER, A. W.; KIRBY, W. M. M.; SHERRIS, J. C.; TURCK, M. Antibiotic Susceptibility Testing by a Standardized Single Disk Method. **American Journal of Clinical Pathology**, v.45, p.493–496, 1966.
- BEILEN, J. B. V., POIRIER, Y. Establishment of new crops for the production of natural rubber. **Trends in Biotechnology**, v.25, p.522–529, 2007
- BELINI, U. L., TOMAZELLO FILHO, M., CHAGAS, M. P. Densitometria de raios X aplicada na avaliação tecnológica de painéis MDF de eucalipto. **Scientia Forestalis** (IPEF). v.37, p.343 - 350, 2009.
- BELINI, U. L. **Caracterização tecnológica de painéis de fibras da madeira de eucalipto, *Eucalyptus grandis*, e de partículas do bagaço do colmo de cana-de-açúcar, *Saccharum sp.*** 2012. 168 p. Tese (Doutorado em Ciências, opção Tecnologia de

- Produtos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.
- BELINI, U. L.; SAVASTANO JR, H.; GARZÓN, N.; SARTORI, D. L.; LEITE, M. K.; FIORELLI, J. TOMAZELLO FILHO, M. Painel multicamada com reforço de partículas de bambu. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 103, p. 421-427, 2014.
- BERALDO, A. L.; RIVERO, L. A. Bambu laminado colado (BLC). **Floresta e Ambiente**, v.10, n. 2, p. 36-46, 2003.
- BERTOLINI, M. S.; LAHR, F. A. R.; NASCIMENTO, M. F.; AGNELLI, J. A. M. Accelerated Artificial Aging of Particleboards from Residues of CCB Treated Pinus sp. and Castor Oil Resin. **Materials Research**, v. 16, n. 2, p. 293-303, 2013.
- BOUXSEIN, M. L.; BOYD, S. K.; CHRISTIANSEN, B. A.; GULDBERG, R. E.; JEPSEN, K. J.; MÜLLER, R. Guidelines for Assessment of Bone Microstructure in Rodents Using Micro-Computed Tomography. **Journal of Bone and Mineral Research**, v. 25, n. 7, p.1468–1486, 2010.
- BRANDL, D. W.; MIRIN, N. A. NORDLANDER, P. Plasmon Modes of Nanosphere Trimers and Quadrumers. **J. Phys. Chem. B**, v.110, n.25, p.12302–12310, 2006
- BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Farmacopeia Brasileira, volume 2. Brasília: Anvisa, 546p., 2010.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). A Geração Termoelétrica com a Queima do Bagaço de Cana-de-Açúcar no Brasil, Análise do Desempenho da Safra 2009-2010, março/2011- Companhia Nacional de Abastecimento. – Brasília : Conab 2011.
- BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA). Diagnóstico dos resíduos orgânicos do setor agrossilvopastoril e agroindústrias associadas. Relatório de Pesquisa - Brasília, 2012.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Acompanhamento de safra brasileira: cana-de-açúcar, segundo levantamento, agosto/2017 - Companhia Nacional de Abastecimento - Brasília: Conab, 2017.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; GUTIERREZ, L. E. Qualidade do Breu e Terebentina de pinheiros Tropicais. **IPEF** n.21, p.55-63, 1980.
- BRITO, J. O.; FILHO, M. T.; SALGADO, A. L. B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. Piracicaba,SP. **IPEF**, n 36 p.13-17.1987.

- BOWLER, W. W. Electro horetic Mobility Study of Fresh Hevea Latex. **Industrial and Engineering Chemistry**, v. 45, n. 8, p. 1790–1794, 1953.
- BROOM, D. M.; MOLENTO, C. F. M. Bem-estar animal: conceito e questões relacionadas – Revisão. **Archives of Veterinary Science**, v. 9, n. 2, p. 1-11, 2004.
- BUFFINGTON, D. E.; COLAZZO-AROCHO, A.; CATON, G. H. Black globe humidity comfort index (BGHI) as comfort equation for dairy cows. **Transaction of the ASAE**, v.24, n.4, p.711-714, 1981.
- CABRAL, M. R.; NAKANISHI, E. Y.; FIORELLI, F.; SAVASTANO JR, H. Avaliação do desempenho térmico de bezerreiros com eco-forro de partículas de madeira e fibra de sisal. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**. v. 11, n.3, p.217-228, 2017.
- CALVI, L. C. Associação Brasileira de Tecnologia da Borracha, (ABTB). Princípios básicos sobre a tecnologia. **Boletim Técnico** n- 45, p. 43, 1990).
- CAMPOS, J. A.; TINÔCO, I. F. F.; BAÊTA, F. C.; SILVA, J. N.; CARVALHO, C. S.; MAURINI, A. L. Ambiente térmico e desempenho de suínos em dois modelos de maternidade e creche. **Ceres**, v.55, n.3, p.187- 193, 2008.
- CARVALHO, S. T. M. **Propriedades térmicas do painel aglomerado de bagaço de cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.)**. 2012. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Lavras, UFLA, Lavras, 2012.
- CBCS - CONSELHO BRASILEIRO DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL. Materiais, componentes e a construção sustentável. São Paulo, 2009.
- CÉSAR, S. F. **Chapas de madeira para vedação vertical de edificações produzidas industrialmente – projeto conceitual**. 2002. 257 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção, UFSC, Florianópolis, 2002.
- CHAOWANA, P. Bamboo: An alternative raw material for wood and wood-based composites. **Journal of Materials Science Research**, v. 2, n. 2, p 90-102, 2013.
- CHEN, G-F. Developments in the field of rosin chemistry and its implications in coatings. **Progress in Organic Coatings**, v. 20, p. 139-167, 1992.
- CRAVO, J. C. M. **Compósito particulado de baixa densidade com casca de amendoim, fibra de coco verde e resina poliuretana à base de óleo de mamona para aplicação como forro de galpões avícolas**. 2013. 167 f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, USP, Pirassununga, 2013.

- CRAVO, J. C. M.; SARTORI, D. L.; NAKANISHI, E. Y.; FIORELLI, J.; BALIEIRO, J. C. C.; SANTOS, W. N. Forro ecológico de resíduos agroindustriais para galpões avícolas. **Ciência Rural**, v.44, n.8, p. 1466–1471, 2014.
- CORRÊA, A. A. R.; MENDES, L. M.; BARBOSA, N. P.; PROTÁSIO, T. P.; CAMPOS, N. A.; TONOLI, G. H. D. Incorporation of bamboo particles and “synthetic termite saliva” in adobes. **Construction and Building Materials**, v.98, p.250–256, 2015.
- CORREAL, J. F.; ECHEVERRY, J. S.; RAMÍREZ, F.; YAMÍN, L. E. Experimental evaluation of physical and mechanical properties of Glued Laminated *Guadua angustifolia* Kunth. **Construction and Building Materials**, v.73, p.105–112, 2014
- CORREIA, V. C. **Produção e caracterização de polpa organossolve de bambu para reforço de matrizes cimentícias**. 121 p. Dissertação (Mestrado) Universidade de São Paulo – USP, Pirassununga, 2011.
- COSTA, M. M. E.; MELO, S. L. S.; SANTOS, J. V. M.; ARAÚJO, E. A.; CUNHA, G. P.; DEUS, E. P.; NICOLAS SCHMITT, N. Influence of physical and chemical treatments on the mechanical properties of bamboo fibers. **Procedia Engineering**, v.200, p.457–464, 2017.
- DAS, S.; PANDEY, P.; MOHANTY, S.; NAYAK, S. K. Evaluation of biodegradability of green polyurethane/nanosilica composite synthesized from transesterified castor oil and palm oil based isocyanate. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.117, p.278-288, 2017.
- DALL’ANTONIA, A. C.; MARTINS, M. A.; MORENO, R. M. B; JOB, A. GONÇALVES, P. S; MATTOSO, L. H. C. Caracterização Mecânica e Térmica da Borracha Natural Formulada e Vulcanizada dos Clones: GT 1, IAN 873, PB 235 E RRIM 600. **Polímeros**, v. 19, p. 63-71, 2009.
- DEVRIES, K. L.; ADAMS, D. O. **Mechanical testing of adhesive joints**. In: DILLARD, D.A.; POCIUS, A.V. (Ed.) **Adhesive science and engineering - 1: The mechanics of adhesion**. Amsterdam: Elsevier, 2002. p.193-234.
- DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana a base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada**. 116 p. Tese (Doutorado) em Ciência e Engenharia de Materiais. Universidade de São Paulo, 2004.
- DIKMEN, S.; HANSEN, P. J. Is the temperature-humidity index the best indicator of heat stress in lactating dairy cows in a subtropical environment? **Journal of Dairy Science**, v.92, p.109-116, 2009.

- DUNKY, M., PIZZI, A. Wood adhesives. In: CHAUDHURY, M., POCIUS, A.V. (Ed.) **Adhesive science and engineering - 2: surfaces, chemistry and applications**. Amsterdam: Elsevier, 2002. p.1039-1103.
- DOWNS *et al.* American Mineralogist. v.78, p.1104-1107, 1993
- EDWARDS, S. A. Perinatal mortality in the pig: environmental or physiological solutions? **Livestock Production Science**, v.78, p.3–12, 2002.
- ESMAY, M. L. **Principles of animal environment**. Westport Avi Publishing Company Inc, 1982. 325p.
- FARIQ, A.; KHAN, T.; YASMIN, A. Microbial synthesis of nanoparticles and their potential applications in biomedicine. **Journal of Applied Biomedicine**, v.15, p.241–248, 2017
- FARMACÓPEIA DO BRASIL. Código Farmacêutico Brasileiro. São Paulo, Siqueira S/A, 1959.
- FEENEY, F. E.; LAWLOR, V.; EVERTSEN, J. A. An ultrasonic analogue to gamma ray densitometry of medium density fibreboard (MDF). In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON NONDESTRUCTIVE TESTING OF WOOD, 10., 1996, Lausanne. Proceedings... Lausanne, 1996. p. 407.
- FENGGIU, T.; XIAOXIAN, H.; YUFENG, Z. JINGKKUN, G. Effect of Dispersants on Surface Chemical Properties of Nano-Zirconia Suspensions. **Ceram. Inter.** v. 26, p. 93-97, 2000.
- FERREIRA, R. A. **Maior produção com melhor ambiente para aves, suínos e bovinos**. Viçosa: Aprenda Fácil, 2005.
- FINK, J. K. **Reactive Polymers Fundamentals and Applications: A Concise Guide to Industrial Polymers**. 2 ed. Austria: PDL (Plastics Design Library), 2013.
- FIORELLI, J.; LAHR, F. A. R.; NASCIMENTO, M. F.; SAVASTANO Jr, H.; ROSSIGNOLO, J. A. Painéis de partículas à base de bagaço de cana de resina de mamona - produção e propriedades. **Acta Scientiarum Technology**, v. 33, n.4, p.401-406, 2011.
- FIORELLI, J.; SHMIDT, R.; KAWABATA, C. Y.; OLIVEIRA, C. E. L.; SAVASTANO JUNIOR, H.; ROSSIGNOLO, J. A.; Eficiência térmica de telhas onduladas de fibrocimento aplicadas em abrigos individuais para bezerros expostos ao sol e à sombra. **Ciência Rural**, v. 42, n. 1, p. 64-67, 2012
- FIORELLI, J.; SARTORI, D. L.; CRAVO, J. C. M.; SAVASTANO JR, H.; ROSSIGNOLO, J. A.; NASCIMENTO, M. F.; LAHR, F. A. R. Sugarcane bagasse and castor oil

- polyurethane adhesive-based particulate composite. **Material Research**, v.16, n.2, p.439-446, 2013.
- FIGURELLI, J.; GOMIDE, C. A.; LAHR, F. A. R.; NASCIMENTO, M. F.; SARTORI, D. L.; MEJIA, J. E.; BUENO, S. B.; BELINI, U. L. Physico-chemical and anatomical characterization of residual lignocellulosic fibers. **Cellulose**, v. 21, p. 3269-3277, 2014.
- FIGURELLI, J.; GALO, R. G.; CASTRO JUNIOR, S. L.; BELINI, U. L.; LASSO, P. R. O.; SAVASTANO JR., H. Multilayer Particleboard Produced with Agroindustrial Waste and Amazonia Vegetable Fibres. **Waste Biomass Valor**, 2017.
<https://doi.org/10.1007/s12649-017-9889-x>.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). World bamboo resources – A thematic study prepared in framework of the Global Forest Resource Assessment 2005. Non-Wood Forest Products, n.18. Rome, 2007.
- _____. 2013 Global forest products facts and figures, Rome, 2014.
- FORD, E. T. L. C.; MENDES, J. U. L.; NASCIMENTO, R. M. Material compósito com rasps de pneu e látex para isolamento térmico. **Engenharia Civil**, n. 37, p. 27-35, 2010.
- GLAVIC, P.; LUKMAN, R. Review of sustainability terms and their definitions. **Journal of Cleaner Production**, v. 15, p. 1875-1885, 2007.
- GARZÓN, N. M.; SARTORI, D.; ZUANTETTI, I.; BARBIRATO, G. H. A.; Ramos, R. D.; FIGURELLI, J.; SANTOS, S. F.; SAVASTANO JUNIOR, H. Durability evaluation of agroindustrial waste based particle boards using accelerated aging cycling tests. **Key Engineering Materials**, v. 517, p. 628-634, 2012.
- GARZÓN, N. M. **Estudo da durabilidade de painéis de partículas de bagaço de cana de açúcar e resina poliuretana a base de óleo de mamona para aplicação na construção civil**. 2015, 229 p. Tese (Doutorado direto) – Universidade de São Paulo, USP, Pirassununga, SP, 2015.
- GARZÓN, N. M.; SHIRAKAWA, M. A.; BRAZOLIN, S.; PEREIRA, R. G.F. N. B.; LARA, I. A. R.; SAVASTANO JR, H. Evaluation of mold growth on sugarcane bagasse particleboards in natural exposure and in accelerated test. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v.115, p.266-276, 2016.
- GHAVAMI, K.; MARINHO, A. G. Propriedades físicas e mecânicas do colmo inteiro do bambu da espécie *Guadua angustifolia*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 9, n. 1, p. 107-114, 2005.

- GEIMER, R. L.; MONTREY, H. M.; LEHMANN, W. F. Effects of layer characteristics on the properties of three layer particleboards. **Forest Products Journal**, v.25, n.3, p.19-29, 1975.
- GOUVEIA, E. R.; NASCIMENTO, R. T.; SOUTO-MAIOR, A. M.; ROCHA, G. J. M. Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 32, n. 6, p. 1500-1503, 2009.
- GRISON, E. C.; BECKER, E.; SARTORI, A. **Borrachas e seus aditivos: componentes, influências e segredos**. Porto Alegre: Letra & Vida, 1ª ed., 206p, 2010.
- GUERRA, A. F. **Métodos de contagem microbiana**. Valença, 1ª ed., 28p., 2016
- HARRIS, D. C. **Análise Química Quantitativa**. Brasil:LTC, 7ª ed., 2008.
- HIZIROGLU, S. Surface roughness analysis of wood composites: a stylus method. **Forest Prod J**, v.46, p.67–72, 1996.
- HOECK, J.; BÜSCHER, W. Temperature-dependent consumption of drinking water in piglet rearing. **Applied Animal Behavior Science**, v.170, p.20-25, 2015.
- HUANG, H-L.; LIN, C-C.; HSU, K. Comparison of resistance improvement to fungal growth on green and conventional building materials by nano-metal impregnation. **Building and Environment**, v.93, p.119-127 (2015).
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). World Energy Investment Outlook. OECD/IEA, 2014.
<https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEIO2014.pdf> (accessed 15 March 2017).
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARTIZATION – ISO, Geneva, **ISO 11562** – Geometrical product specifications (GPS) – Surface texture: Profile method – Metrological characteristics of phase correct filters, Geneva, 1996.
- INTERNATIONAL RUBBER STUDY GROUP (IRSG). Rubber statistical Bulletin. v. 69, n. 7-9, 2015.
- IONASHIRO, M. **Giolito: Fundamentos da termogravimetria, Análise térmica diferencial, calorimetria exploratória diferencial**, São Paulo: Giz, 2005.
- IWAKIRI, S.; SILVA, J. R. M.; MATOSKI, S. L. S.; LEONHADT, G.; CARON, J. Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pinus tropicais. **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, p. 137-142, 2001.
- IWAKIRI, S.; KEINERT JUNIOR, S.; ALBUQUERQUE, C. E. C.; LATORRACA, J. V. F.; MENDES, L.M. **Painéis de madeira reconstituída**. Curitiba: FUPEF, 2005. 247 p.

- IWAKIRI, S.; STINGHEN, A. B. M.; SILVEIRA, E. L.; ZAMARIAN, E. H. C.; PRATA, J. G.; BRONOSKI, M. Influência da massa específica sobre as propriedades mecânicas de painéis aglomerados. **Floresta, Curitiba**, v. 38, n. 3, p. 487-493, 2008.
- JOHN, V. M., SATO N. M. N., AGOPYAN, V.; SJÖSTRÖM C. Durabilidade e Sustentabilidade: desafios para a construção civil brasileira. **In: WORKSHOP SOBRE DURABILIDADE DAS CONSTRUÇÕES**, vol. 2. 2001.
- JOSÉ, F. J. **Chapa de partículas homogêneas de bambu aglomeradas com resina poliuretana bi-componente à base de óleo de mamona**. 2006. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Univesidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Agrícola, Campinas, 2006.
- KHEDARI, J.; CHAROENVAI, S.; HIRUNLABH, J. New insulating particleboards from durian peel and coconut coir. **Building and Environment**, v.38, p.435 – 441, 2003.
- KIM, S.; KIM, H-J. Anti-bacterial performance of colloidal silver-treated laminate wood flooring. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 57, p. 155-162, 2006.
- KLASEN, H. J. Historical review of the use of silver in the treatment of burns. I. Early uses. **Burns**, v.26, p.117-130, 2000.
- KWANG, S.; ABBOTT, P. V. Bacterial contamination of the fitting surfaces of restorations in teeth with pulp and periapical disease: a scanning electron microscopy study. **Australian Dental Journal**, v. 57, p. 421-428, 2012.
- KOLICHESKI, M. B. **Síntese do Mirceno a partir da isomerização térmica do β -pineno**. 2006. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.
- LAZGHAB, M.; SALEH, K.; PEZRON, I.; GUIGON, P.; KOMUNJER, L. Wettability assessment of finely divided solids. **Powder Technology**, v.157, p.79 – 91, 2005.
- LEE, N. K.; KIM, E. M.; LEE, H. K. Mechanical properties and setting characteristics of geopolymer mortar using styrene-butadiene (SB) latex. **Construction and Building Materials**, v.113, p.264–272, 2016.
- LI, S; YU, H.; PENG, Z.; ZHU, C.; LI, P. Study on Thermal Degradation of Sol and Gel. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 75, p. 1339–1344, 2000.
- LI, M.; ZHOU, S.; GUO, X. Effects of alkali-treated bamboo fibers on the morphology and mechanical properties of oil well cement. **Construction and Building Materials**, v.150, p.619–625, 2017
- LI, X. **Physical, chemical, and mechanical properties of Bamboo and its utilization potential for Fiberboard manufacturing**. 2004. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Lousiana State Universtity, Lousiana, 2004.

- LI, X.; CAI, Z.; WINANDY, J. E.; BASTA, A. H. Selected properties of particleboard panels manufactured from rice straws of different geometries. **Bioresource Technology, Essex**, v. 101, p. 4662-4666, 2010.
- LI, Y.; LEUNG, P.; YAO, L.; SONG, Q. W.; Newton, E. Antimicrobial effect of surgical masks coated with nanoparticles. **Journal of Hospital Infection**, v.62, p.58–63, 2006
- LIN, S.; CHEN, L.; HUANG, L.; CAO, S.; LUO, X.; LIU, K. Novel antimicrobial chitosan–cellulose composite films bioconjugated with silver nanoparticles. **Industrial Crops and Products**, v. 70, p. 395-403, 2015.
- LIN, C. J.; HIZIROGLU, S.; KAN, S. M.; LAI, H.W. Manufacturing particleboard panels from betel palm (*Areca catechu* Linn.). **Journal of Materials Processing Technology**, v. 97, p. 445-448, 2008.
- LOPES, W. A.; FASCIO, M. Esquema para interpretação de espectros de substâncias orgânicas na região do Infravermelho. **Química Nova**, v. 27, n. 4, p. 670-673, 2004.
- LUONG, N. D.; SINH, L. H.; MINNA, M.; JÜRGEN, W.; TORSTEN, W.; MATTHIAS, S.; JUKKA, S. Synthesis and characterization of castor oil-segmented thermoplastic polyurethane with controlled mechanical properties. **European Polymer Journal**, v.81, p.129–137, 2016.
- MADORSKY, B. S.; STRAUS, S.; THOMPSON, D.; WILLIAMSON, L. Pyrolysis of polyisobutene (vistanex), polyisoprene, polybutadiene, gr-s, and polyethylene in a high vacuum. **J Polym Sci**, v.4, p.639–64, 1949.
- MADURWAR, M. V.; RALEGAONKAR, R. V.; MANDAVGANE, S. A. Application of agro-waste for sustainable construction materials: a review. **Construction and Building Materials**, v. 38, p. 872-878, 2013.
- MARINHO, N. P.; NISGOSKI, S.; MUÑIZ, G. I. B. Avaliação das dimensões das fibras de colmos de bambu, *Dentrocalamus giganteus* (wall) Munro, em diferentes idades. **Ciência Florestal**, v. 24, n. 1, p.251-256, 2014.
- MARTÍN -MARTINEZ, J. M Rubber baseadhesives. In: CHAUDHURY, M., POCIUS, A.V. (Ed.) **Adhesive science and engineering - 2: surfaces, chemistry and applications**. Amsterdam: Elsevier, 2002. p.1039-1103
- MATHEW, A. P.; PACKIRISAMY, S.; THOMAS, S. Studies on the thermal stability of natural rubber / polystyrene interpenetrating polymer networks: thermogravimetric analysis. **Polymer Degradation and Stability**, v. 72, p. 423-439, 2001.

- MENDES, R. F.; GUIMARÃES Jr, J. B.; SANTOS, R. C.; BUFALINO, L. The adhesive effect on the properties of particleboards made from sugar cane generated in the distiller. **Revista de Ciências Agrárias**, v. 32, n. 2, p.209-218, 2009.
- MENDES, J. U. L.; SILVEIRA, F. F.; CAVALCANTI, S. L. L.; OLIVEIRA, L. K. R.; RIBEIRO, F. A.; SOUSA, R. F. Determinação da difusividade térmica de um compósito natural visando classificá-lo como isolante térmico. **In:** Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais (20° CBECIMAT), Joinville, SC, 2012.
- MCFARLAND, J. Nephelometer: an instrument for media used for estimating the number of bacteria in suspensions used for calculating the opsonic index and for vaccines. **Journal of American Medical Association**, v.14, p.1176-8, 1907.
- MORAIS, J. P.S.; ROSA, M. F.; MARCONCINI, J. M. Documento 236 - Procedimentos para análise lignocelulósica. Campina Grande: Embrapa Algodão, 54 f. 2010.
- NASCIMENTO, M. F. CPF - **Chapas de Partículas Homogêneas - Madeiras do Nordeste do Brasil**. 2003. 143 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2003.
- NASROLLAHZADEH, M.; SAJADI, M.; BABAEI, F.; MAHAM, M. Euphorbia helioscopia Linn as a green source for synthesis of silver nanoparticles and their optical and catalytic properties. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.450, p.374–380, 2015
- NCCLS. Methods for Dilution Antimicrobial Susceptibility Tests for Bacteria That Grow Aerobically; Approved Standard – Sixth Edition. **NCCLS document M7-A6** [ISBN 1-56238-486-4]. NCCLS, 940 West Valley Road, Suite 1400, Wayne Pennsylvania 19087-1898 USA, 2003.
- NOR, H. M.; EBDON, J. R. Ozonolysis of natural rubber in chloroform solution Part 1 . A study by GPC and FTIR spectroscopy. **Polymer**, v. 41, p. 2359–2365, 2000.
- NUNES, D. S. S.; COUTINHO, F. M. B.; MELLO, I. L. Principais aspectos da polimerização do 1,3-butadieno. **Polímeros**, vol. 15, n. 4, p. 296-305, 2005.
- OLIVEIRA, D. C. G. **Avaliação do microclima interno de abrigos escamoteadores com diferentes tipos de pisos**. 2010. 119f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2010.
- OLIVEIRA, G. M.; CARVALHO, A. J. F.; PESSAN, L. A. Obtenção de nanopartículas de prata/dióxido de titânio pelo método Turkevich para aplicações antimicrobiais em matrizes poliméricas. **In:** Anais do 10º Congresso Brasileiro de Polímeros – Foz do Iguaçu, PR – 2009

- OTA, C. C. C.; SILVA, D. V. G.; K, C.; BAURA, V.; NUNES, S. Avaliação da atividade antimicrobiana e anti-inflamatória do extrato hidroalcoólico do *allium sativum* (alho). Tuiuti: **Ciência e Cultura**, n. 43, p. 37-49, 2010.
- PAES, J. B.; NUNES, S. T.; LAHR, F. A. R.; NASCIMENTO, M. F.; LACERDA, R. M. A. Qualidade de chapas de partículas de *Pinus elliottii* coladas com resina poliuretana sob diferentes condições de pressão e temperatura. **Ciência Florestal**, v. 21, n. 3, p. 551-558, 2011.
- PAIVA, A.; PEREIRA, S.; SÁ, A. CRUZ, D.; VARUM, H. PINTO, J. A contribution to the thermal insulation performance characterization of corn cob particleboards. **Energy and Buildings**, v. 45, p. 274-279, 2012.
- PAL, S.; TAK, Y. K.; SONG, J.M. Does the antibacterial activity of silver nanoparticles depend on the shape of the nanoparticle? A study of the gram-negative bacterium *Escherichia coli*. **Appl Environ Microbiol**, v.27, n.6, p. 1712-1720, 2007.
- PANDEY, K. K. A Study of chemical structure of soft and hardwood and wood polymers by FTIR spectroscopy. **Journal of Applied Polymer Science**, v.71, n.12, p.1969-1975. 1999.
- PANDORFI, H. **Avaliação do comportamento de leitões em diferentes sistemas de aquecimento por meio da análise de imagem e identificação eletrônica**. 2002. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luis de Queiroz"., Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.
- PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; MOURA, D. J.; SEVEGNANI, K. B. Análise de imagem aplicada ao estudo do comportamento de leitões em abrigo escamoteador. **Eng. Agríc.**, v.24, n.2, p.274-284, 2004.
- PANDORFI, H.; SILVA, I. J. O.; MOURA, D. J.; SEVEGNANI, K. B. Microclima de abrigos escamoteadores para leitões submetidos a diferentes sistemas de aquecimento no período de inverno. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.9, n.1, p.99-106, 2005.
- PANYAKAEW, S.; FOTIOS, S. New thermal insulation boards made from coconut husk and bagasse. **Energy and Buildings**, v.43, p.1732–1739, 2011.
- PAPADOPOULOS, A. N.; HILL, C. A. S.; TRABOULAY, E.; HAGUE, J. R. B. Isocyanate Resins for Particleboard: PMDI vs EMDI. **Holz als Roh- und Werkstoff**, v. 60, p. 81–83, 2002.
- PHINYOCHEEP, P.; DUANGTHONG, S. Ultraviolet-Curable Liquid Natural Rubber. **Journal of Applied Polymer Science**, v.78, p.1478–1485, 2000

- PIETRZAK, K.; KIRPLUKS, M.; CABULIS, U.; RYSZKOWSKA, J. Effect of the addition of tall oil-based polyols on the thermal and mechanical properties of ureaurethane elastomers. **Polymer Degradation and Stability**, v.108, p.201-211, 2014.
- PIEROZAN, N. J. Fabricação de artefatos de látex. Dossiê técnico, SENAI, Rio Grande do Sul, 2007, 24p.
- PINTO, R. J. B.; FERNANDES, S. C. M.; FREIRE, C. S. R.; SADOCCO, P.; CAUSIO, J.; PASCOAL NETO, C.; TRINDADE, T. Antibacterial activity of optically transparent nanocomposite films based on chitosan or its derivatives and silver nanoparticles. **Carbohydrate Research**, v.348, p.77–83, 2012.
- PUSKAS, J. E.; GAUTRIAUD, E.; DEFFIEUX, A.; KENNEDY, J. P. Natural rubber biosynthesis—A living carbocationic polymerization?. **Prog. Polym. Sci.**, v.31, p.533–548, 2006.
- QIAN, S.; WANG, H.; ZAREI, E.; SHENG, K. Effect of hydrothermal pretreatment on the properties of moso bamboo particles reinforced polyvinyl chloride composites. **Composites Part B**, v.82, p.23-29, 2015.
- RAI, M.; YADAV, A.; GADE, A. Silver nanoparticles as a new generation of antimicrobials. **Biotechnology Advances**, v.27, p.76–83, 2009.
- RAMAGE, M. H.; SHARMA, B.; SHAH, D. U.; REYNOLDS, T. P. S. Thermal relaxation of laminated bamboo for folded shells. **Materials and Design**, v.132, p.582–589, 2017
- RAO, V.; JOHNS, J. Thermal behavior of chitosan / natural rubber latex blends TG and DSC analysis. **Journal of Thermal Analysis and Calorimetry**, v. 92, p. 801–806, 2008.
- RATHNAYAKE, W. G. I. U.; ISMAIL, H.; BAHARIN A.; DARSANASIRI, A. G. N. D.; Rajapakse, S. Synthesis and characterization of nano silver based natural rubber latex foam for imparting antibacterial and anti-fungal properties. **Polymer Testing**, v.31, p.586–592, 2012.
- RAYMUNDO-PEREIRA, P. A.; CAMPOS, A. M.; VICENTINI, F. C.; JANEGITZ, B. C.; MENDONÇA, C. D.; FURINI, L. N.; BOAS, N. V.; CALEGARO, M. L.; CONSTANTINO, C. J. L.; MACHADO, S. A. S.; OLIVEIRA JR., O. N. Sensitive detection of estriol hormone in creek water using a sensor platform based on carbon black and silver nanoparticles. **Talanta**, v.174, p.652–659, 2017
- RIPPEL, M. M.; LEE, L. T.; LEITE, C. A. P.; Galembeck, F. Skim and cream natural rubber particles: colloidal properties, coalescence and film formation. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 268, p. 330–340, 2003.

- RIPPEL, M. M. **Caracterização microestrutural de filmes e partículas de látex de borracha natural**. 2005. 319 f. Tese (Doutorado) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.
- RIPPEL, M. M.; BRAGANÇA, F. C. Borracha natural e nanocompósitos com argila. **Química Nova**, vol. 32, n. 3, p. 818-826, 2009.
- RODRIGUES, V. C.; SILVA, I. J. O.; VIEIRA, F. M. C.; NASCIMENTO, S. T. A correct enthalpy relationship as thermal comfort index for livestock. **Int J Biometeorol**, v. 55, p.455-459, 2011.
- RODRIGUES, B. V. M.; RAMIRES, E. C.; SANTOS, R. P. O.; FROLLINI, E. Ultrathin and nanofibers via room temperature electrospinning from trifluoroacetic acid solutions of untreated lignocellulosic sisal fiber or sisal pulp. **J. Appl. Polym. Sci.**, v. 132, n.16, p.1-8, 2015.
- ROWELL, R. M.; HAN, J. S.; ROWELL, J. S. Characterization and Factors Effecting Fiber Properties. In: FROLLINI, E.; LEAO, A. L.; MATTOSO, L. C., eds. **Natural Polymers and Agrofibers Composites**, São Carlos USP-IQSC / Embrapa Instrumentação Agropecuária / Botucatu: UNESP, p. 115-134, 2000.
- SABINO, L. A.; ABREU, P. G.; SOUSA Jr, V. R.; ABREU, V. M. N.; LOPES, L. S. Comparação de dois modelos de escamoteadores sobre o desempenho dos leitões. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v.34, n.1, p.21-25, 2012.
- SANTOS, A. B.; ALEXANDRA BOTTCHEER, A.; RENATO VICENTINI, R.; MAYER, J. L. S.; KIYOTA, E.; LANDELL, M. A. G.; CRESTE, S.; MAZZAFERA P. Lignin biosynthesis in sugarcane is affected by low temperature. **Environmental and Experimental Botany**, v.120, p.31-42, 2015.
- SANTOS, M. F. N.; BATTISTELLE, R. A. G.; VALARELLI, I. D. D.; AZAMBUJA, M. A. Avaliação ambiental da utilização do bagaço da cana-de-açúcar e folhas de bambu em chapas de partículas. In: LAHR, F. A. R.; CHRISSTOFORO, A. L. eds. **Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos**. São Carlos, SP: EESC/USP, p. 219-247, 2013.
- SAMPAIO, C. A. P. **Caracterização dos ambientes térmico, aéreo e acústico em sistemas de produção de suínos, nas fases de creche e terminação**. Dissertação (Doutorado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola. Campinas, SP. 2004.

- SAMPATHRAJAN, A.; VIJAYARAGHVAN, N. C.; SWAMINATHAN, K. R. Mechanical and thermal properties of particle boards made from farm residues. **Bioresource Techonology Essex**, v. 40, p. 249-251, 1991.
- SARTORI, L. S. **Painel portante estrutural com chapa de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resina de mamona para centro de manejo bovino**. 2012. 131 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, USP, Pirassununga, 2012.
- SARTORI, D. L.; CRAVO, J. C. M.; GARZÓN, N. B.; FIORELLI, J.; SAVASTANO JUNIOR, H. Painel em Madeira de Reflorestamento e Chapas de Partículas para Instalações Rurais. **Floresta e Ambiente**, v. 19, p. 171-178, 2012.
- SARUBBI, J.; ROSSI, L. A.; MOURA, D. J.; OLIVEIRA, R. A.; DAVID, E. Utilização de energia elétrica em diferentes sistemas de aquecimento para leitões desmamados. **Eng. Agríc.**, v. 30, n. 6, p. 1003-1011, Nov./dez. 2010.
- SILVA, I. J. O.; PANDORFI, H.; PIEDADE, S. M. S. Uso da zootecnia de precisão na avaliação do comportamento de leitões lactentes submetidos a diferentes sistemas de aquecimento. **R. Bras. Zootec.**, v.34, n.1, p.220-229, 2005.
- SILVA, D. A. L.; GARCIA, R. P.; FREIRE, F. M. C. S.; VARANDA, L. D. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de painéis de madeira: uma revisão bibliográfica com foco sobre a importância e as necessidades para o contexto brasileiro. In: LAHR, F. A. R.; CHRISSTOFORO, A. L. eds. **Painéis de partículas de madeira e de materiais lignocelulósicos**. São Carlos, SP: EESC/USP, p. 123-164, 2013.
- SILVA, V. L. M. M.; GOMES, W. C. O.; ALSINA, L. S. Utilização do bagaço de cana de açúcar como biomassa adsorvente na adsorção de poluentes orgânicos. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.2, p.27-33, 2007
- SILVÉRIO, O. F.; BARBOSA, L. C. A.; GOMIDE, J. L.; REIS, F. P.; PILÓ-VELOSO, D. Metodologia de extração e determinação do teor de extrativos em madeiras de eucalipto. **R. Árvore**, v.30, n.6, p.1009-1016, 2006.
- SIRCAR, A. K. Characterization of isomeric elastomers using thermal analysis. **Journal of Thermal Analysis**, v. 49, p. 293–301, 1997.
- SONDI, I.; SALOPEK-SONDI, B. Silver nanoparticles as antimicrobial agent: a case study on *E. coli* as a model for Gram-negative bacteria. **Journal of Colloid and Interface Science**, v. 275, p. 177–182, 2004.

- SONDI, I.; GOIA, D. V.; MATIJEVI, E. Preparation of highly concentrated stable dispersions of uniform silver nanoparticles. **Journal of Colloid and Interface Science**, v.260, p.75–81, 2003
- SONG, P.; CHENG, J.; WAN, L.; ZHAO, J.; WANG, Y.; CAI, Y. “Preparation and characterization of Mo-15 Cu superfine powders by a gelatification –reduction process” **Journal of Alloys and compounds**. 476: 226, 2009.
- SOUSA-NETO, M. D. **Estudo da influência de diferentes tipos de breus e resinas hidrogenadas sobre as propriedades físico-químicas do cimento obturador dos canais radiculares do tipo Grossman**. 1997. 108 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de odontologia de Ribeirão Preto - USP, Ribeirão Preto, 1997.
- SPANÓ, J. C. E.; BARBIN, E. L.; PÉCORA, J. D. Análise “in vitro” da capacidade impermeabilizante de diversos vernizes cavitários. **Rev. Odont. USP**, v. 7, n. 2, p. 121-124, 1993.
- STARK, N. M., MATUANA, L. M., CLEMONS, C. M. Effect of processing method on surface and weathering characteristics of wood-flour/HDPE composites. **Journal of Applied Polymer Science**, Hoboken, v.93, p.1021-1030, 2004.
- STEVENS, K. N. K. J.; CRESPO-BIEL, O.; BOSCH, E. E. M.; DIAS, A. A.; KNETSCH, M. L. W.; ALDENHOFF, Y. B. J.; VEEN, F. H.; MAESSEN, J. G.; STOBBERINGH, E. E.; KOOLE L. H. The relationship between the antimicrobial effect of catheter coatings containing silver nanoparticles and the coagulation of contacting blood. **Biomaterials**, v.30, p.3682-3690, 2009
- TABARSA, T.; ASHORI, A.; GHOLAMZADEH, M. Evaluation of surface roughness and mechanical properties of particleboard panels made from bagasse. **Composites Part B**, v.42, n. 5, p.1330–1335, 2011.
- TAKAGI, H.; KAKO, S.; KUSANO, K.; OUSAKA, A. Thermal conductivity of PLA-bamboo fiber composites. **Adv. Composite Mater.**, v.16, n.4, p.377–384, 2007.
- TAKAHASHI, L. S.; BILLER, J. D.; TAKAHASHI, K. M. **Bioclimatologia Zootécnica**. 1^o ed. Jaboticabal: Maria de Lourdes Brandel ME, 2009. v. 1. 91p.
- TAPPI. **T 203 cm-99**. Alpha-, beta- and gamma-cellulose in pulp. 2009, 7 p.
- TAPPI. **T 204 cm-97**. Solvent extractives of wood and pulp. 1997, 4 p.
- TAPPI. **T 211 om-02**. Ash in wood, pulp, paper and paperboard: combustion at 525°C. 2002b, 5 p.
- TAPPI. **T 222 om-02**. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. 2002c, 5 p.

- TECHINICAL BULLETIN (TB). **TB119.005**. Waterproofing of internal water resistant particleboards and plywood. Austrália: Ardex, 8p., 2011.
- TONOLI, G. H D. **Fibras curtas de eucalipto para novas tecnologias em fibrocimento**. 2009. 148 f. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2009.
- TRIANOSKI, R. **Avaliação do potencial de espécies florestais alternativas, de rápido crescimento, para produção de painéis de madeira aglomerada**. 2010. 262 f. Dissertação (Mestrado)- Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.
- UYSAL, B.; KURT, S.; YILDIRIM, M. N. Bonding strength of wood materials bonded with different adhesive after aging test. **Construction and Building Materials**, v.24, p.2628–2632, 2010
- VASDAL, G.; MØGEDAL, I.; BØE, K. E.; KIRKDEN, R.; ANDERSEN, I. L. Piglet preference for infrared temperature and flooring. **Applied Animal Behaviour Science**, v.122, p.92–97, 2010.
- WANG, S. H. **Construction Material Science**, China Construction Industry Publisher, Beijinhg, 1988.
- WANG, M.; WANGA, R.; YAO, H.; FARHAN, S.; ZHENG, S.; WANG, Z.; DU, C.; JIANG, H. Research on the mechanism of polymer latex modified cement. **Construction and Building Materials**, v.111, p.710–718, 2016
- WANG, S.; HUANG, X.; SHAN, X.; FOLEY, K. J.; TAO, N. electrochemical surface plasmon resonance: Basic formalism and experimental validation. **Anal. Chem.**, v.82, n.3, p.935–941, 2010.
- WEARY, D. M.; PAJOR, E. A.; THOMPSON, B. K.; FRASER, D. Risky behaviour by piglets: a tradeoff between feeding and risk of mortality by maternal crushing? **Anim. Behav.**, v.51, p.619–624, 1996.
- WEI-HONG, W.; KENT, S.; FREITAG, C.; LEICHTI, R. J.; MORRELL, J. J. Effect of moisture and fungal exposure on the mechanical properties of hem-fir plywood. **Journal of Forestry Research**, v.16, n.4, p.299-300, 2005.
- XU, W. **Horizontal density distribution of particleboard origin and implications**. 1993, 184 f.Tese (Doutorado) - The University of British Columbia, Vancouver, Canadá, 1994.
- XU, X.; YAO, F.; WU, Q.; ZHOU, D. The influence of wax-sizing on dimension stability and mechanical properties of bagasse particleboard. **Industrial Crops and Products**, v. 29, p. 80-85, 2009.

- XU, J.; SUGAWARA, R.; WIDYORINI, R.; HAN, G.; KAWAI, S. Manufacture and properties of low-density binderless particleboard from kenaf core. **Jounal Wood Science**, v. 50, p. 62-67, 2004.
- YANG, M.; NEUBAUER, C. M.; Jennings, H. M. Interparticle Potential and Sedimentation Behavior of Cement Suspensions. **Advn Cem Bas Mat**, v.5, p.1-7, 1997
- ZABEL, R. A.; MORRELL, J. J. **Wood microbiology: decay and its prevention**. San Diego: Academic, 1992. 476p.
- ZHANG, Q.; XIN, H. Responses of piglets to creep heat type and location in farrowing crate. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 17, n. 4, p. 515-519, 2001.
- ZHANG, C.; GARRISON, T. F.; MADBOULY, S. A.; KESSLER, M. R. Avanços recentes em polímeros à base de óleo vegetal e seus compósitos. **Progress in Polymer Science**, v.71, p.91-143, 2017

ANEXO A - TESTE LÁTEX/BREU

Foi feito o teste preliminar antes da definição dos tratamentos. Foi analisado a reação conjunta da mistura do látex e do breu em diferentes proporções, conforme apresentado na Tabela A1.

Tabela A1 - Proporções de látex e breu.

Teste	Látex (%)	Breu (%)	Teste	Látex (%)	Breu (%)
A	100	0	E	80	20
B	95	5	F	75	25
C	90	10	H	50	50
D	85	15	I	25	75

Fonte: Própria autoria.

Os resultados não foram satisfatórios, como pode ser observado na Figura A1. Ao misturar o breu com o látex, o álcool etílico polimerizou o látex ao entrarem em contato, formando grumos. O látex polimerizado não é interessante, quando se busca trabalhá-lo como um filme.

Figura A1 - Mistura do látex (L) e do breu (B) nas proporções: a) 100% L, b) 95% L e 5% B, c) 90 %L e 10 %B, d) 85%L e 15%B, e) 80%L e 20%B, f) 75%L e 25%B, g) 50%L e 50%B, h) 25%L e 75%B.

Fonte: Própria autoria.

ANEXO B - FORMA DE RECOBRIMENTO DO PAINEL

Foram avaliados a forma de recobrimento dos painéis. Foram testados a aplicação com pincel e imersão dos painéis recobertos com breu PMBB-B e os painéis recobertos com látex PMBB-L. A aplicação foi realizada tanto na superfície quanto na borda do material. Primeiramente, o material foi lixado para retirada de qualquer tipo de imperfeição que possa ter originado durante o processo de produção. A metodologia seguirá algumas especificações da norma NBR 9575 (2010), que estabelece as exigências e recomendações relativas à seleção e projeto de impermeabilização, e, da norma TB119.005 (2011), que trata de impermeabilização de painéis aglomerados. Foi adotada a aplicação de três camadas, com intervalo entre cada camada de pelo menos 15 min.

Segundo Garzón (2015), a aplicação de pincel apresentou visualmente, melhor recobrimento, comparando a outros métodos de aplicação. O processo de imersão representa 60% no processo de fabricação de artefatos à base de látex. O processo de imersão é um processo muito simples, o material foi submergido e posto em estufa com circulação interna de ar para secagem (ARAUJO, 1993). Foram totalizados ao final, 10 tratamentos, conforme apresentado na Tabela B1.

Tabela B1 - Tratamento superficial.

Tratamentos	Filme	Aplicação
1	Sem recobrimento	-
2	Látex	Imersão
3	Látex	Pincel
4	Breu	Imersão
5	Breu	Pincel

Fonte :Própria autoria.

RESULTADO DA FORMA DE RECOBRIMENTO

Na Tabela B2 estão apresentados os resultados de inchamento em espessura, avaliados com 24 h imerso em água. Pode-se observar que a aplicação do tratamento superficial, composto de breu e de látex houve um menor inchamento em espessura ao comparar com o controle, sem tratamento superficial ($p < 0,05$). Segundo a norma NBR14810-3 (2013), os valores de inchamento em espessura em 24h, ficaram abaixo do estipulado para painéis não

estruturais para uso em condições úmidas (14%), demonstrando que o material inchou menos, ou seja, o material apresentou maior estabilidade dimensional, comprovando o potencial dos filmes como impermeabilizantes.

Tabela B2. Médias de inchamento em espessura (IE), após 24 h imerso em água.

Tratamento	Revestimento	Aplicação	IE 24h (%)
Controle	-	-	12,90 ^c
TLP	Látex	Pincel	1,11 ^a
TLI	Látex	Imersão	0,61 ^a
TBP	Breu	Pincel	4,34 ^b
TBI	Breu	Imersão	1,80 ^{ab}

Médias seguidas pela mesma letra na coluna, não diferem significativamente a 5% pelo teste Tukey.

Fonte: Própria autoria.

Após 24h, os painéis com tratamento superficial tiveram menor inchamento em espessura que o painel sem tratamento (controle), equivalente a 91,39%, 95,27%, 66,36% e 86,05% para os tratamentos TLP, TLI, TBP e TBI, respectivamente. Estes resultados indicam o quanto estes tratamentos podem melhorar a estabilidade dimensional, pois em ambos os tratamentos, o recobrimento dificulta a entrada de água no painel, que causa o inchamento em espessura, por formar um filme na superfície toda deste.

Nota-se também que no tratamento com látex, a forma de aplicação não apresentou diferença significativa no inchamento em espessura ($p < 0,05$), contudo, no breu, a forma de aplicação apresentou diferença significativa ($p < 0,05$), demonstrando que a aplicação por imersão surtiu maior efeito na impermeabilização do que ao utilizar o pincel. Devido a maior uniformização no processo por imersão, visto que o breu ele é menos viscoso que o látex dificultando sua aplicação com o pincel.