

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL

ANTONIA MIGUELINA VIEIRA DA SILVA

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE COMPÓSITOS
POLIMÉRICOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE AÇAÍ EM EDIFICAÇÕES NA
AMAZÔNIA

MANAUS

2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
FACULDADE DE TECNOLOGIA PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL

ANTONIA MIGUELINA VIEIRA DA SILVA

AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE COMPÓSITOS
POLIMÉRICOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE AÇAÍ EM EDIFICAÇÕES NA
AMAZÔNIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para a obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil, área de concentração Materiais e Componentes de Construção.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Virginia Mansanares Giacon

MANAUS

2019

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S586a Silva, Antonia Miguelina Vieira da
Avaliação do comportamento térmico de compósitos poliméricos produzidos com resíduos de açaí em edificações na Amazônia / Antonia Miguelina Vieira da Silva. 2019
99 f.: il. color; 31 cm.

Orientadora: Virginia Mansanares Giacon
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Resíduos agroindustriais. 2. Painéis particulados. 3. Resíduos de açaí. 4. Resina poliuretana. I. Giacon, Virginia Mansanares II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº. 004/2019

ATA DA DEFESA DA DISSERTAÇÃO AO TÍTULO DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL

DATA DO EXAME: 17/05/2019

DISCENTE: Antônia Miguelina Vieira da Silva

ORIENTADOR: Profa. Dra. Virginia Mansanares Giacon

BANCA EXAMINADORA: (Nome Completo)

Profa. Dra. Virginia Mansanares Giacon (Presidente)

Profa. Dra. Ângela Mari dos Santos Costella (Membro Interno)

Prof. Dr. Rannier Marques Mendonça (Membro Externo)

Prof. Dr. Nazareno Pina Braga (Membro Externo)

TÍTULO DA PROPOSTA DE DISSERTAÇÃO: AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO TÉRMICO DE COMPÓSITOS POLIMÉRICOS PRODUZIDOS COM RESÍDUOS DE AÇAÍ EM EDIFICAÇÕES NA AMAZÔNIA

LOCAL: Multiuso II da Faculdade de Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas.
HORA DE INÍCIO: 09h00

De acordo com o Regimento Interno do Programa Pós - Graduação em Engenharia Civil, aprovados pelo Conselho de Ensino e Pesquisa/CONSEP/UFAM e CAPES, o (a) aluno (a) submeteu sua dissertação em forma escrita e oral, sendo após exposição de cerca de 32 minutos arguido oralmente pelos membros da banca, tendo tido como resultado:

Aprovação por unanimidade de sua dissertação. O (A) aluno (a) foi considerado aprovado, podendo pleitear o título de Mestre.

Reprovação de sua Dissertação. O (A) aluno (a) não foi considerado aprovado (a) na sua Defesa de Dissertação. Não podendo pleitear o título de Mestre.

Na forma regulamentar foi lavrada a presente ata que será assinada pelos membros da banca e pelo (a) aluno (a).

Observações _____

Manaus, 17 de maio de 2019.

Profa. Dra. Virginia Mansanares Giacon (Presidente)

Profa. Dra. Ângela Mari dos Santos Costella (Membro Interno)

Prof. Dr. Rannier Marques Mendonça (Membro Externo)

Prof. Dr. Nazareno Pina Braga (Membro Externo)

Antônia Miguelina Vieira da Silva (Discente)

DEDICATÓRIA

*À minha mãe, Maria Aparecida Vieira da
Silva, por ser meu maior exemplo e me
incentivar a continuar e jamais desistir dos
meus sonhos.*

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, por renovar minhas forças todos os dias e iluminar minha caminhada.

À minha mãe Maria Aparecida e aos meus pais de coração Rozimeire Andrade e Osmar Serafim, sempre presentes em minha vida. Sem dúvidas, é devido à educação e orientação que eles me deram ao longo da vida que escolhi seguir em busca de meus próprios sonhos e desejos, os quais estão se materializando também com o encerramento dessa etapa.

Aos que, infelizmente, não estão mais entre nós, em especial aos meus avós Maria Monteiro, Raimundo Vieira e Maria da Conceição, essenciais na minha criação e educação. A vocês, minha eterna saudade.

À minha família pelo carinho e compreensão, em especial a minha irmã Maria Clemilda, e meus sobrinhos Francisco Herinque e Maria Isabel.

Às minhas companheiras e irmãs de coração, Thamirys Andrade e Vitória Andrade, Clarice Souza, Andreлина Souza, sem o apoio e amor de vocês eu não conseguiria.

Ao Programa de Pós-graduação em Engenharia civil da Faculdade de tecnologia da UFAM, pelo apoio ao ensino e aprendizagem nesta trajetória.

De forma especial, agradeço à minha orientadora, Prof.^a Dr.^a Virginia Mansanares Giacon, pelo acolhimento desde o início deste caminho, bem como pela paciência e pelo compartilhamento de conhecimentos, os quais foram fundamentais para a conclusão deste trabalho. Professora, minha eterna gratidão.

Aos técnicos dos laboratórios, especialmente Diogo, por todo o apoio e ajuda nos momentos de dúvidas e incertezas processuais.

Aos meus amigos e parceiros adquiridos durante essa caminhada, pela paciência e disposição em ajudar, em especial, Isabelle Lima e Eugênio.

À CAPES, pela concessão da bolsa de mestrado que permitiu o aporte financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa.

De forma geral, agradeço a todos que de alguma maneira contribuíram para a conclusão deste mestrado. A vocês, meu muito obrigada!

“A persistência é o menor caminho do êxito.”

(Charles Chaplin)

RESUMO

A engenharia e arquitetura têm buscado materiais alternativos para melhorar o conforto térmico em habitações. Além disso, há uma preocupação sobre o uso de fontes naturais, com como a busca por materiais mais sustentáveis. Neste contexto, podemos mencionar os compósitos lignocelulósicos. Assim, o presente estudo objetiva avaliar o potencial térmico de painéis produzidos com resíduos de açai juntamente com resina poliuretana derivada do óleo de mamona. A qualidade dos painéis foi avaliada de acordo com as normas Brasileira NBR 14810 (2013) e NBR 15220 (2005). Adicionalmente, propriedades térmicas como condutividade e temperatura de superfície por termografia no infravermelho foram avaliadas. Os resultados mostraram que, os painéis apresentaram baixo inchamento, porém as propriedades mecânicas (MOR e MOE) apresentaram-se abaixo do recomendado em norma. A condutividade dos painéis apresentou valores superiores quando comparados ao MDF comercial, mas sua temperatura superficial apresentou similaridade.

Palavras-chave: Resíduos agroindustriais. Painéis particulados. Resíduos de açai. Resina poliuretana.

ABSTRACT

The Engineering and architecture have been seeking for alternative materials to improve the thermal comfort in the dwellings. Besides, there is a concern about the use of natural resources, as well as the search for sustainable materials. In this context, can be mentioned the polymer composites using lignocellulosics materials. Then, the present study aimed to evaluate the thermal potential use of açai fruits residues in the manufacture of particleboards using castor oil polyurethane adhesive. The quality of the panels was evaluated based according to the Brazilian ABNT NBR 14810 (2013) and NBR 15220 (2005) standards. Additionally, thermal properties like as conductivity and surface temperature were evaluated by infrared thermograph. The results shown that the panels presented low thickness swelling, but mechanical properties (MOR and MOE) weren't according to recommendation. The panel conductivity value was superior to commercial MDF, but the superficial temperature was similar.

Palavras-chave: Agroindustrial waste. Particleboard. Açai waste. Polyurethane resin.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classificação dos compósitos.....	20
Figura 2. Reação de obtenção do pré-polímero de uretano.	24
Figura 3. Principais tipos de painéis de madeira reconstituída.....	27
Figura 4. Localização das principais empresas produtoras de painéis de madeira reconstituída.....	29
Figura 5. Palmeira de açai.	32
Figura 6. Municípios de maior produção de açai do Brasil.	34
Figura 7. Materiais que foram utilizados na produção dos painéis: a) Caroços de açai; b) Resina poliuretana de mamona.....	37
Figura 8. Organograma das atividades para o desenvolvimento da pesquisa.	38
Figura 9. Processos de: a) Secagem dos caroços de açai ao ar livre e b) Peneiramento dos caroços.	38
Figura 10. Visão geral do moinho de facas, tipo Willey, marca Marconi.....	39
Figura 11. Moagem dos caroços: a) Pesagem da quantidade de caroços para cada ciclo de moagem; b) Despejo dos caroços após o moinho ligado; c) Trituração dos caroços por um período de 5 s.	39
Figura 12. Processo de coleta dos caroços triturados: a) Caroços triturados; b) Coleta do material particulado; c) Finalização de um ciclo para o início de outro.....	40
Figura 13. Separação granulométrica: a) Granulometrias 4, 8, 14, 48, 100 e 200 <i>Tyler</i> ; b) Granulometrias para a produção da placa 8 e 14 <i>Tyler</i>	40
Figura 14. Jogo de peneiras.	40
Figura 15. Amostra de açai no Analisador Halogêneo para determinação do teor de umidade.	41
Figura 16. Equipamento modelo SDT Q600 da Ta Instrument.....	42
Figura 17. Espectrômetro PANalytical, modelo EPSILON 3 XL.	42
Figura 18. Materiais após a pesagem: a) Resina: polioliol e pré-polímero; b) Resíduos caroços de açai, granulometrias 8 e 14 <i>Tyler</i>	45
Figura 19. Mistura (resina + resíduos de caroços de açai).	45
Figura 20. Moldagem e compactação manual das partículas.	46
Figura 21. Prensagem a quente do painel na prensa hidráulica PHH 100T, da Hidralmac.....	46
Figura 22. Placa armazenada em temperatura ambiente.	46

Figura 23. Esquadreamento, marcação e corte dos corpos de prova.	47
Figura 24. Ensaio teor de umidade: a) Corpos de prova em estufa; b) Corpos de prova sendo esfriados em dessecador; c) Pesagem dos corpos de prova.	48
Figura 25. Ensaio de densidade: a) Corpos de prova; b) Medição da espessura dos corpos-de-prova; c) Medição do comprimento e da largura dos corpos de prova.	49
Figura 26. Ensaio de inchamento: a) Imersão dos corpos de prova; b) Medição dos corpos de prova após a imersão.	50
Figura 27. Pesagem dos corpos de prova após 24 h de ensaio.	51
Figura 28. Ensaio de Flexão: a) Corpos de prova para o ensaio; b) Ruptura do corpo de prova na máquina universal de ensaios.	51
Figura 29. Pontos de medição dos corpos de prova.	52
Figura 30. Esquema ensaio de condutividade térmica.	53
Figura 31. Ensaio de condutividade térmica na superfície do compósito.	55
Figura 32. Ensaio de Termografia de Infravermelho da placa e MDF.	55
Figura 33. Faixa de estudo termográfico.	56
Figura 34. Medidas pontuais de temperatura aferidas nas faces superior e inferior da placa e do MDF.	57
Figura 35. Curvas de TG e DTG do resíduo e do compósito de açaí.	61
Figura 36. Valores médios de condutividade térmica para as amostras de MDF sem e com resina acrílica.	70
Figura 37. Valores médios de condutividade térmica para as amostras de MDF e Placa com resina.	71
Figura 38. Temperatura superficial do compósito e MDF, e temperatura do ar.	74
Figura 39. Variação de temperatura superficial máxima e mínima do compósito e do MDF para cada dia de ensaio.	75
Figura 40. Valores médios de temperatura superficial das faixas do compósito, e temperatura do ar.	76
Figura 41. Amplitude térmica da placa e do MDF em relação à suas temperaturas superficiais.	77

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produção mundial de painéis de madeira reconstituída.....	28
Tabela 2. Produção nacional de açaí extrativo.	33
Tabela 3. Percentual retido por granulometria para 1000 g de caroço de açaí.....	44
Tabela 4. Quantitativo final para a produção das placas.	44
Tabela 5. Resultados obtidos a partir do ensaio de teor de umidade dos resíduos de açaí.	58
Tabela 6. Concentrações de elementos e óxidos do resíduo de açaí.	59
Tabela 7. Valores médios de teor de umidade.....	62
Tabela 8. Valores obtidos no ensaio de densidade dos painéis.	63
Tabela 9. Valores obtidos no ensaio de inchamento.	64
Tabela 10. Valores obtidos no ensaio de absorção.....	66
Tabela 11. Resultados do ensaio de flexão estática e módulo.....	68
Tabela 12. Comparação da composição química dos resíduos de açaí e outras fibras naturais.....	69
Tabela 13. Resultados do ensaio de condutividade térmica.	71
Tabela 14. Resultados da análise ANOVA para os valores de temperatura superficial.	74
Tabela 15. Resultados da análise ANOVA para as amplitudes térmicas referentes às temperaturas superficiais.	75
Tabela 16. Resultados da análise ANOVA para os valores das faixas de temperatura superficial.	76
Tabela 17. Resultados da análise ANOVA para os valores de amplitude térmica.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- ABNT** – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- ANSI** - American National Standards Institute
- ASTM** -American Society for Testing and Materials
- CS** - Commercial Standard
- DTG** - Termogravimetria Derivada
- EDX** - Espectroscopia de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva
- HDF** – High Density Fiberboard
- IBÁ** - Indústria Brasileira de Árvores (brasilian tree Industry)
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IFAM** - Instituto Federal do Amazonas
- IMAZON** -Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia
- INPA** - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
- LabMat** - Laboratório de Materiais
- LaMAC** -Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos
- LAPAAM** -Laboratório de Princípios Ativos da Amazônia
- LEM** - Laboratório de Ensaio de Materiais
- MDF** - Medium Density Fiberboard
- MOE** - Módulo de Elasticidade
- MOR** - Módulo de Ruptura
- NBR** - Norma Brasileira de Regulamentação
- OSB** - Oriented Strand Board
- PU** – Poliuretano
- PVC** - Policloreto de Polivinila
- SBS** - Sociedade Brasileira de Silvicultura
- SEBRAE** -Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas
- TG** – Termogravimetria
- UF** – Uréia-Formaldeído
- UFAM** - Universidade Federal do Amazonas

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 JUSTIFICATIVA	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo Geral	17
1.2.2 Objetivos Específicos	17
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
2.1 COMPÓSITOS	19
2.1.1 Compósitos Poliméricos	21
2.1.2 Resinas Utilizadas em Compósitos	22
2.2 PAINÉIS DE PARTÍCULAS	26
2.2.1 Definição e Histórico	26
2.2.2 Painéis de Partículas de Resíduos Lignocelulósicos	30
2.3 RESÍDUOS DE AÇAÍ.....	32
2.4 DESEMPENHO TÉRMICO DE PAINÉIS PARTICULADOS.....	35
3 MATERIAIS E MÉTODOS	37
3.1 MATERIAIS.....	37
3.2 MÉTODOS	37
3.2.1 Processamento	38
3.2.2 Caracterização dos Resíduos de Açaí	41
3.2.3 Procedimentos para a Produção dos Painéis	42
3.2.4 Produção dos Painéis	45
3.2.5 Caracterização Física dos Compósitos	47
3.2.6 Caracterização Mecânica dos Compósitos	51
3.2.7 Caracterização Térmica do Compósito e MDF	53
3.2.8 Análise Estatística	57

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	58
4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE AÇAÍ	58
4.1.1 Teor de Umidade	58
4.1.2 Fluorescência de Raios X (FRX)	59
4.1.3 Termogravimetria (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG)	60
4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS COMPÓSITOS	62
4.2.1 Teor de Umidade	62
4.2.2 Densidade Aparente	62
4.2.3 Inchamento	64
4.2.4 Absorção.....	66
4.3 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS COMPÓSITOS	67
4.3.1 Flexão Estática e Módulo.....	67
4.4 CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DOS COMPÓSITOS.....	70
4.4.1 Condutividade.....	70
4.4.2 Termografia de Infravermelho (Infrared – IR)	73
4.4.3 Mapeamento das Superfícies Superior e Inferior com Termômetro a Laser	77
5 CONCLUSÕES	79
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81

1 INTRODUÇÃO

A construção civil é uma das principais responsáveis pelo consumo de recursos naturais, variando entre 20% a 50%, o que resulta em impactos no consumo de energia e de água e, principalmente, na geração de entulhos. Por outro lado, já é possível encontrar uma grande variedade de estudos referente às possibilidades de soluções em reaproveitamento desses resíduos, inclusive, subsidiados por políticas públicas, destacando-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos conforme a Lei nº 12.305/10 (BRASILEIRO; MATOS, 2015).

Tal fato somado à crescente busca por materiais que minimizam os impactos ambientais, em consonância com a tendência mundial por um planeta sustentável, tem tornado o público consciente dos potenciais benefícios ambientais da aplicação de materiais ecologicamente corretos à indústria da construção civil (IPCC, 2012).

Segundo Freire e Beraldo (2003), os resíduos provenientes dos setores industrial, agropecuário, metalúrgico, mineração, os resíduos municipais, e os resíduos agroindustriais, que serão objeto de estudo desta pesquisa, apresentam-se como grande fonte de matéria-prima para a produção desses novos materiais.

Em geral, os resíduos agroindustriais são depositados nas áreas de descarte do lixo urbano e, embora não se constituam em graves ameaças de danos ambientais, levando em consideração sua facilidade de decomposição, deveriam ser estudados e analisados quanto ao seu potencial emprego em aplicações que agregassem valor ao insumo e viessem a trazer benefícios à coletividade (CHAHUD *et al.*, 2012). Isso terá impacto na redução da dependência de materiais provenientes de fontes não renováveis (fósseis), assim como do ponto de vista social, ambiental e econômico (JOSHI *et al.*, 2004).

Belini *et al.* (2014) destaca ainda o crescente aumento do consumo da madeira, bem como o significativo crescimento na demanda de painéis de madeira e a necessidade de desenvolver produtos e tecnologias sustentáveis, que venham a substituir a madeira maciça em diversas aplicações, como os painéis particulados utilizados na indústria da construção civil.

Desta forma, Mello (2009) ressalta que a demanda cada vez maior pelo uso da madeira como material não é seguida no mesmo ritmo por sua oferta, contribuindo para um possível descompasso entre a oferta e a demanda de madeira no mercado mundial nos próximos anos.

Isso tem intensificado a discussão em torno do grande potencial agrícola que o Brasil apresenta e a necessidade de incentivo quanto ao uso de resíduos agroindustriais na produção de novos materiais, tais como, compensados, chapas duras de fibras, chapas de média densidade e de aglomerado, e a tendência é que essa demanda continue aumentando devido à escassez da oferta de madeira (TEIXEIRA *et al.*, 1997).

A produção destes painéis alternativos utilizando resíduos de diferentes origens, inclusive resíduos agroindustriais, poderá resultar em uma possível destinação final adequada para esses resíduos, e, conseqüentemente, gerando materiais mais sustentáveis, que contribuem para o atendimento da demanda de painéis de madeira.

Neste contexto, o açaí apresenta-se como uma alternativa para a produção de compósitos poliméricos, cujo fruto (polpa) é utilizado pelos setores de alimentos, cosméticos e fármacos (SEBRAE, 2015), enquanto a semente do fruto de açaí (popularmente conhecida como caroço) é um resíduo destinado à queima em fogueiras, adubo orgânico, aterro, fabricação de biojóias, e na sua grande maioria, é descartado na forma de lixo sem destino certo (CARNEIRO *et al.*, 2013; ALMEIDA, *et al.*, 2016).

No Brasil, a produção do fruto de açaí em 2017 alcançou um total de 219.885 toneladas, ocupando uma posição de destaque entre os produtos de maior produção no Norte do Brasil, no qual os Estados do Pará e do Amazonas detém 87,5% da produção nacional, principalmente por se tratar de uma espécie da região Amazônica (IBGE, 2017). No entanto, toda esta produção em larga escala é responsável por gerar uma grande quantidade de resíduos, podendo resultar em graves problemas ambientais.

De acordo com Carneiro *et al.* (2013) e Almeida *et al.* (2016), uma preocupação das indústrias de beneficiamento do açaí é justamente essa destinação para os resíduos (caroços) gerados, que é de aproximadamente 140 m³. Pereira e Rodrigues Júnior (2013) destacam que os caroços correspondem a 80% do fruto do açaí, assim, considerando somente a produção de 2017, de 219.885 toneladas, estima-se que 175.908 toneladas correspondem ao caroço.

Considerando essa grande quantidade de resíduos de açaí gerada pela agroindústria e o seu potencial de utilização na construção civil, destacam-se as aplicações voltadas para a melhoria do conforto térmico (FAN *et al.*, 2012). Com isso, buscou-se desenvolver painéis utilizando resíduos agroindustriais, o caroço de açaí, e matriz polimérica à base de óleo de mamona com potencial utilização na construção civil, em aplicações de revestimento interno, com o objetivo de se obter melhor desempenho térmico de edificações.

1.1 JUSTIFICATIVA

A proposta do presente estudo é verificar a viabilidade de uso de resíduos de caroços de açaí descartados pelas agroindústrias, como também por micro ou pequenos “batedores” de açaí, no Amazonas, buscando atender aos pressupostos da sustentabilidade.

Trata-se de um compósito parcialmente biodegradável e sustentável, pois se utiliza a resina poliuretana à base de óleo de mamona, que é uma resina parcialmente renovável, já que metade de sua constituição é formada por uma matéria-prima de origem natural, polioli extraído do óleo da semente da planta *Ricinus communis* (mamona). Bem como, tende a proporcionar agregação de valor aos resíduos de caroços de açaí, contribuindo para a diminuição da quantidade de resíduos gerados e descartados sem destino certo.

Além de estimular a produção rural, gerando um importante subsídio a uma economia sustentável, com uma possível diminuição de gastos energéticos e desigualdades sociais (LOPES, 2009).

Outro fator determinante é a crescente preocupação relacionada ao bem estar humano no interior das edificações, tanto no seu local de trabalho como em sua moradia, seja pela indústria da construção civil, principalmente nas áreas urbanas, ou pelas edificações industriais, comerciais ou residenciais, no qual se destaca o desempenho térmico (RIBAS, 2013).

Procura-se, então, desenvolver um compósito polimérico que apresente melhores propriedades térmicas, levando em consideração o potencial dos seus materiais constituintes sobre esse enfoque.

A pesquisa servirá de base, também, para futuros trabalhos relacionados ao desempenho térmico, os quais poderão ser estudados sob a mesma metodologia.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar a viabilidade técnica do uso de painéis particulados constituídos de resíduo de açaí e resina poliuretana à base de óleo de mamona para o aumento do conforto térmico em edificações.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar tecnicamente compósitos poliméricos produzidos com resíduos de açaí de acordo com os requisitos normativos de propriedades físicas e mecânicas para aplicação como vedação vertical interna;
- Caracterizar o comportamento térmico dos painéis particulados de resíduos de açaí;
- Comparar as propriedades térmicas dos compósitos de resíduos de açaí com material comercial, conhecido como MDF - Medium Density Fiberboard (Painel de Fibras de Média Densidade).

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

A presente dissertação está organizada em 6 (seis) capítulos e referências bibliográficas.

O capítulo 1 apresenta uma introdução, justificativa e objetivos do trabalho, discutindo e contextualizando a importância e o potencial uso de resíduos agroindustriais, particularmente os resíduos de açaí para a fabricação de painéis particulados dentro da indústria da construção civil.

O capítulo 2 aborda uma revisão bibliográfica sobre os resíduos lignocelulósicos, resinas utilizadas em compósitos e painéis particulados. Destacando os conceitos, históricos e quantitativos relacionados a materiais compósitos, adesivos, painéis de partículas e resíduos de açaí. Além disso, fez-se uma breve abordagem no que se refere ao desempenho térmico de painéis particulados.

O capítulo 3 apresenta o método utilizado para a obtenção e caracterização dos resíduos de açaí, bem como, a metodologia empregada na produção e caracterização dos compósitos de partículas de açaí.

No capítulo 4 são discutidos os resultados obtidos das análises realizadas para caracterizar os resíduos e os compósitos produzidos.

No capítulo 5 são apresentadas as conclusões. As sugestões para pesquisas futuras e referências bibliográficas encerram o trabalho.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COMPÓSITOS

A incorporação de fibras para melhorar as propriedades dos materiais tradicionais começou nos primórdios da história da humanidade (MOURA *et al.*, 2005).

Hull e Clyne (1996) destacam que, a origem dessa classe de materiais remete a incontáveis e milhares de anos, uma vez que as madeiras, os ossos e os tecidos musculares são exemplos notáveis de compósitos naturais.

Entretanto, muitos avanços tecnológicos recentes, relacionados a aplicações em áreas da aeronáutica, aeroespacial, petroquímica, naval, bioengenharia, automobilística, construção civil, artigos esportivos, entre outras, somente foram possíveis após o advento dos compósitos (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

Tal fato pode estar relacionado ao grau de complexidade inerente superior que os compósitos apresentam quando comparado aos materiais tradicionais. Estes apresentam propriedades bem definidas, repetitivas e previsíveis a partir de processos clássicos de fabricação, enquanto que para os materiais compósitos existe a liberdade e possibilidade de ajustar a forma de produção com as propriedades adequadas à necessidade de aplicação. Além disso, os materiais compósitos são versáteis quanto às propriedades físicas, químicas e mecânicas, resultado das combinações dos diferentes tipos de matriz e reforço (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

No que se refere à construção civil, os compósitos ofertam inúmeras possibilidades de aplicação, pois possuem propriedades suficientes para atender às exigências e especificações bem como, uma excelente solução para os desafios representados pela resistência em ambientes agressivos, gerados pelo calor, umidade, produtos químicos, entre outros (AQUINO, 2003).

Desta forma, a norma ASTM D3878-01 (2007) define materiais compósitos como sendo uma substância constituída de dois ou mais materiais, insolúveis entre si, que são combinados para formar um material de engenharia útil, com melhores ou propriedades mais adequadas do que se usados isoladamente.

Marinucci (2011) reforça ao conceituar compósitos como um material composto de dois ou mais constituintes quimicamente diferentes, o qual apresenta uma interface bem definida separando esses elementos, resultando, na maioria das vezes, em um

material com propriedades superiores às apresentadas por seus constituintes separadamente.

Levy Neto e Pardini (2006) destacam como característica básica desses materiais a capacidade de combinar, no mínimo, duas fases distintas, uma denominada reforço e outra matriz, esta por sua vez, permite que os reforços transfiram esforços mecânicos entre si e trabalhem de forma integrada.

Os compósitos podem ser classificados quanto aos diferentes tipos de matriz, reforço e seus arranjos. Quanto ao tipo de matriz, podem apresentar combinações com matriz cerâmica, metálica e polimérica. Considerando o tipo de reforço, os compósitos podem ser classificados conforme Figura 1 (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

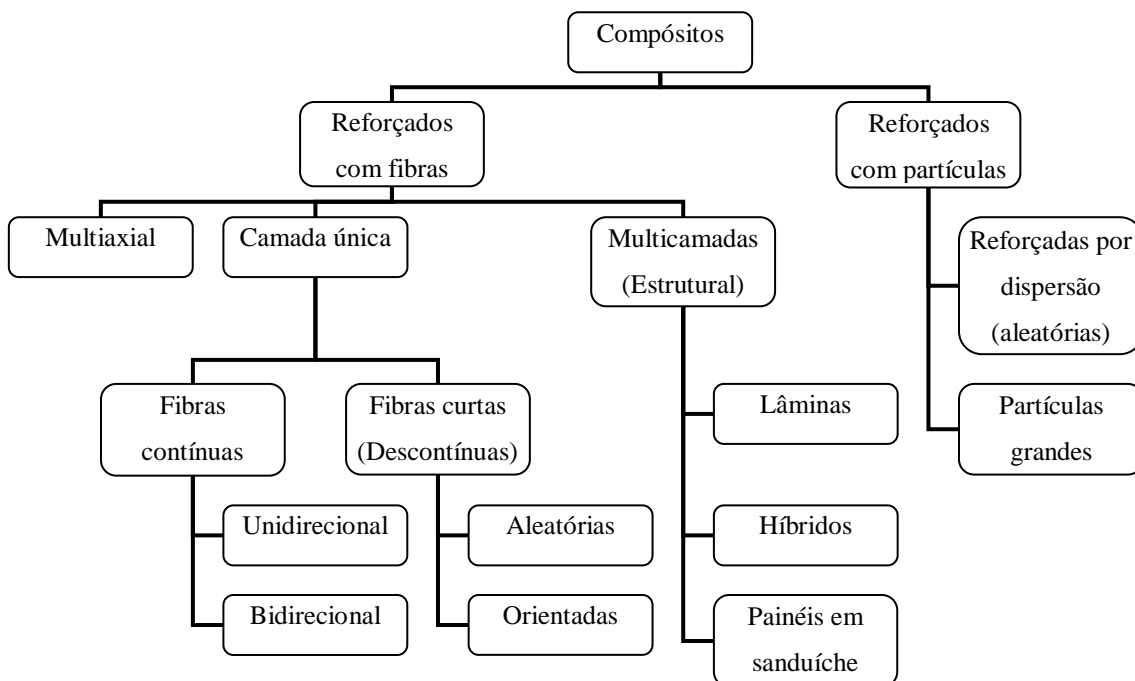


Figura 1. Classificação dos compósitos.

Fonte: Adaptado de Levy Neto e Pardini (2006); Callister e Rethwisch (2012).

Os compósitos reforçados com partículas são constituídos por partículas de um ou mais materiais dispersos numa matriz de outro material, nas suas diversas possibilidades de combinações, o que pode resultar no aumento de rigidez, embora isso não contribua para o aumento da resistência. Tem-se também a busca por melhores propriedades térmicas e elétricas, aumento da resistência à abrasão e muitas vezes garantir o desempenho do material à temperaturas elevadas (MARINUCCI, 2011).

Neste tipo de compósito, a matriz tende a transferir parte da tensão aplicada às partículas. Para Levy Neto e Pardini (2006), o estudo de suas interfaces/interfases é

essencial para o conhecimento apropriado do comportamento mecânico do compósito, o qual depende da interação partícula-matriz. Barbosa (2016) acrescenta que, compósitos constituídos por partículas menores com distribuição homogênea, tendem a apresentar melhores propriedades mecânicas.

Quanto à interação reforço-matriz, Levy Neto e Pardini (2006) conceituam adesão como sendo uma manifestação de forças atrativas entre os átomos e/ou superfícies, de forma que, cada compósito possua uma característica interfacial específica, a qual corresponde à manifestação direta de forças intermoleculares.

É importante destacar, ainda, a conformação molecular e a constituição química da matriz como alguns dos fatores que influenciam a adesão. Principalmente, no que se refere à ligação química, a resistência adesiva dependerá do número e tipo de ligações, cuja formação é por meio de reações químicas termicamente ativas (LEVY NETO; PARDINI, 2006).

2.1.1 Compósitos Poliméricos

Os materiais poliméricos são materiais orgânicos compostos por cadeias de carbonos, ligados a átomos que podem ser de hidrogênio, nitrogênio, oxigênio, cloro, flúor ou enxofre, de forma que, o encadeamento de um grande número dessas moléculas elementares forma uma macromolécula, denominada polímero (MARINUCCI, 2011).

Assim, Canevarolo Jr. (2006) define polímero como uma macromolécula constituída por monômeros (estrutura química), que são unidades de repetição (meros) ao longo de toda a cadeia, ligados por ligação covalente. Desse modo, é possível classificar os polímeros como plásticos, borrachas e fibras, levando em consideração o tipo de monômero, número de meros por cadeia e tipo de ligação covalente.

Para Mano (2003) os plásticos podem ser classificados quanto ao seu comportamento ao calor em termoplásticos e termofixos (ou termorrígido ou termoendurecido). No caso dos polímeros termoplásticos, quando submetidos a temperaturas elevadas, amolecem, e endurecem quando resfriados, podendo ser moldados repetidas vezes. Por outro lado, os polímeros termofixos, utilizados no presente trabalho, uma vez endurecidos, não poderão ser moldados novamente.

Os polímeros termofixos possuem melhores propriedades mecânicas e elásticas quando comparados aos termoplásticos, bem como apresentam excelentes estabilidade dimensional e resistência ao ataque de produtos químicos (MARINUCCI, 2011).

A aplicação dos materiais poliméricos está diretamente relacionada com o conhecimento de sua estrutura química, propriedades e condições de processamento, as quais exercem forte influência sobre suas características finais (CANEVAROLO JR., 2006). Isso reforça que o desempenho do polímero depende, essencialmente, de suas diferenças estruturais e variáveis de processo, diferenciando-o assim dos demais materiais de engenharia (AKCELRUD, 2007).

2.1.2 Resinas Utilizadas em Compósitos

A NBR 14810-1 (ABNT, 2013) define resina ou adesivo como “substância utilizada com o objetivo de aderir partículas de madeira em uma chapa de madeira aglomerada, podendo ser orgânico ou inorgânico”.

A origem da resina é tão antiga quanto à humanidade. Conforme Pizzi e Mittal (2003), na antiguidade os egípcios usavam colas de animais e caseína para laminar madeira para arcos e móveis, incluindo folheados de madeira.

Entretanto, somente em 1930 foram produzidos comercialmente os primeiros adesivos de madeira à base de polímeros sintéticos (FOREST PRODUCTS LABORATORY, 2010). Em seguida tem-se a uréia-formaldeído, em 1931, a melamina-formaldeído por volta dos anos 40 e a resorcina-formaldeído, em 1943 (TSOUMIS, 1991).

Mano e Mendes (2004) apresentam algumas vantagens quanto ao uso de adesivos, tais como: permitem unir materiais diferentes, distribuem bem as tensões na região de junção, oferecem boa resistência às agressões ambientais, permitem a manutenção do peso do sistema não ligado, apresentam facilidade de aplicação, e por fim, acarretam redução de custos.

Iwakiri (2005) classifica os tipos de resinas ou adesivos em relação a colagem da seguinte maneira:

- Adesivos naturais como aqueles derivados protéicos de origem animal, derivados protéicos de origem vegetal, derivados do amido, éter celulósico e borracha natural;
- Adesivos sintéticos termoplásticos, tais como: polivinil/acetato, polivinil/acrilato, polietileno, poliestireno e borracha sintética;

- Adesivos sintéticos termoendurecedores/termofixos/termorrígidos, tais como: ureia-formaldeído, fenol-formaldeído, melamina-formaldeído, resorcina-formaldeído, tanino-formaldeído e poliuretano.

Dentre os adesivos de origem sintética, destaca-se a uréia-formaldeído (UF), por ser o mais empregado na fabricação de painéis de madeira em razão de seu baixo custo em relação às demais resinas sintéticas (TOSTES *et al.*, 2004). Outras vantagens de se utilizar este tipo de resina foram destacadas por Pizzi (1994), tais como, solubilidade em água (o que os torna adequados para produção em grande escala e relativamente barata), dureza, não inflamabilidade, boas propriedades térmicas, ausência de cor e fácil adaptação às condições de cura.

Silva (2015) reforça que, por se tratar de um polímero termorrígido ou termofixo, a resina UF possui trabalhabilidade quando submetida ao aquecimento, gerando, após o resfriamento, uma estrutura irreversível. Para Barbosa (2016), tal fato pode justificar o seu grande uso como adesivo na indústria de painéis particulados, exercendo a função de manter interligadas as superfícies dos materiais que constituem esses painéis.

Entretanto, como desvantagens apresentam baixa resistência à umidade e liberam formaldeído, uma substância prejudicial ao ser humano (ROFFAEL, 1982; VARANDA, 2012).

Considerando suas vantagens e desvantagens, este adesivo pode ser classificado como de uso interno ou como miolo de painéis compensados (painéis sanduíches), associado a outros materiais (IWAKIRI *et al.*, 2012a).

Os resultados obtidos por Iwakiri *et al.* (2012a) na produção de painéis compensados com lâminas de madeira e adesivo UF, indicaram a possibilidade de aplicação de lâminas de sequoia para o miolo de painéis compensados para uso interno. De forma similar, Iwakiri *et al.* (2012b) mostraram a viabilidade técnica de painéis aglomerados de resíduos de serrarias de espécies de madeiras tropicais da Amazônia associados à resina UF.

2.1.2.1 Resina Poliuretana à Base de Óleo da Mamona

O poliuretano, conhecido também como PU, é caracterizado pela ligação uretano (-NH-CO-O) na cadeia polimérica (CANEVAROLO JR., 2006).

Apresenta-se como um adesivo sintético termorrígido (ou termofixo ou termoendurecido) de grande desempenho no mercado mundial, resultado da reação de pré-polimerização do isocianato com um polioliol, obtendo um pré-polímero de massa molecular baixa, com excesso de isocianato, conforme mostra Figura 2 (VILAR, 2002; AZEVEDO, 2009). Para equilibrar quimicamente a reação com o excedente de isocianato, adiciona-se polioliol, aumentando a massa molecular e formando o poliuretano a partir da combinação de pré-polímero com polioliol (PAULA, 2017).

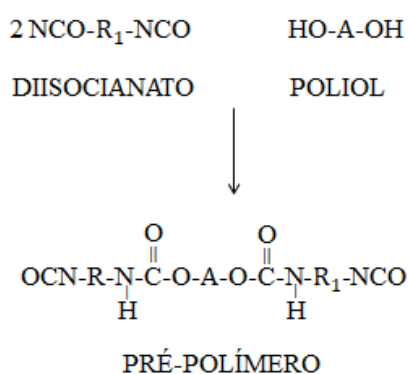


Figura 2. Reação de obtenção do pré-polímero de uretano.
Fonte: Azevedo (2009).

Nos últimos anos observa-se uma crescente tendência quanto ao uso de produtos biodegradáveis, não poluentes e renováveis, fazendo com que PU sejam produzidas parcialmente com produtos de fontes renováveis, como por exemplo, a PU a base de óleo da mamona (ARAÚJO, 1992).

Desenvolvido no século XX, pelo professor Gilberto Orivaldo Chierice, do Instituto de Química de São Carlos, na Universidade de São Paulo – USP, o PU à base do óleo de mamona surge com o objetivo de se obter um material com baixo risco à saúde e ao meio ambiente (CHIERICE, 1984).

Trata-se de uma resina bicomponente, ou seja, formada por um pré-polímero e um polioliol extraído do óleo da semente da planta *Ricinus communis*, planta arbustiva muito disseminada pelo Brasil, tornando-a parcialmente renovável e uma das mais estudadas para a produção de painéis com material lignocelulósico (FIORELLI, 2012; CRAVO, 2013).

Sua maior vantagem sobre os demais tipos de resinas existentes reside na matéria-prima renovável e de origem natural, portanto, um material parcialmente biodegradável e não poluente (ERENO, 2003).

Jesus (2000) destaca que, a sua grande versatilidade de aplicação com propriedades superiores aos polímeros derivados de petróleo, além das propriedades mecânicas, deve-se principalmente por se tratar de um polímero oriundo de matéria-prima natural e renovável e aos preços razoáveis dos di-isocianatos disponíveis no país.

Além de ser um adesivo que possui boa resistência à água e aos raios ultravioleta, boa resistência mecânica, não é agressivo ao meio ambiente e ao ser humano, o seu preço tende a ser razoável devido à sua grande disponibilidade no mercado, bem como do seu manuseio e cura à temperatura ambiente (DIAS; LAHR, 2004).

Outra característica interessante nesta resina faz alusão ao seu alto desempenho como isolante térmico e acústico, podendo ser empregada na redução de gasto energético ou associada a componentes e elementos utilizados em fechamentos de edifícios, como por exemplo, para cobertura, painéis de divisórias, preenchimento de blocos convencionais de alvenaria, entre outros (LOPES, 2009).

Dias (2005) obteve resultados satisfatórios ao analisar a aplicação da resina de mamona para a fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada, atendendo as especificações exigidas por documentos normativos e valores encontrados na literatura. Isso mostra que este adesivo apresenta-se como uma alternativa promissora na produção de chapas de compensado e aglomerado.

Marinho *et al.* (2012), em estudo a respeito da caracterização física e térmica de compósito de PU derivado de óleo de mamona associado com partículas de bambu, concluíram que a adição da resina apresentou tendência de melhorias nas propriedades físicas, aumento da dureza e estabilidade dos compósitos em temperaturas relativamente elevadas, confirmando a eficácia do adesivo.

Fiorelli *et al.* (2012) avaliaram painéis produzidos com partículas de fibra da casca do coco-verde utilizando a resina à base de óleo de mamona e UF, concluindo que a resina de mamona apresentou melhores resultados quando comparada com a UF para a produção do painel em análise.

Pode-se mencionar ainda o trabalho de Negrão *et al.* (2014) que teve como objetivo investigar o uso da resina de mamona e UF nas propriedades físicas e mecânicas de painéis particulados constituídos da mistura de resíduos de madeiras tropicais. Constatou-se que, no que se referem às propriedades físicas, os materiais produzidos com o adesivo à base de mamona alcançaram os melhores resultados. Além disso, os compósitos produzidos a partir da resina à base do óleo de mamona

apresentaram melhoria no seu desempenho físico e mecânico, acima dos limites mínimos estabelecidos pelas principais normas nacionais e internacionais.

Nascimento *et al.* (2015) fabricaram painéis OSB (Oriented Strand Board) utilizando espécies de madeira da caatinga do nordeste do Brasil e resina à base de óleo de mamona. Os resultados obtidos mostraram a viabilidade desses compósitos, pois apresentaram propriedades mecânicas equivalentes ou superiores às das chapas OSB comerciais e produtos semelhantes encontrados na literatura.

2.2 PAINÉIS DE PARTÍCULAS

2.2.1 Definição e Histórico

Dentre os materiais lignocelulósicos que podem ser utilizados como matéria-prima para a produção de painéis de partículas aglomeradas, o mais comumente encontrado na literatura é a madeira (SANCHES, 2012).

De tal modo, a ASTM D1037 (1982) define os painéis aglomerados ou painéis de partículas de madeira como um material constituído de pedaços de madeira ou outros materiais lignocelulósicos unidos por adesivos de resina sintética sob ação de calor e pressão.

A NBR 14810-1 (ABNT, 2013) reitera ao conceituar este tipo de material compósito como material constituído por partículas de madeira aglomeradas e resinas naturais ou sintéticas, termofixas sob a ação de pressão e calor, de forma que, a geometria e homogeneidade das partículas, os tipos de adesivos, a densidade e o processamento do painel podem ser modificados para se obter um produto adequado de acordo com sua aplicação final.

Para Iwakiri (2005) tratam-se de produtos constituídos de elementos obtidos através da redução da madeira sólida, tais como, lascas, flocos, partículas, cavacos, fibras, entre outros.

Resumidamente, os painéis de madeira são produzidos a partir do processamento da madeira para obter elementos de formas e dimensões variadas. Estes são associados a adesivos adequados, resultando em novos produtos de madeira reconstituída, como é ilustrado na Figura 3.

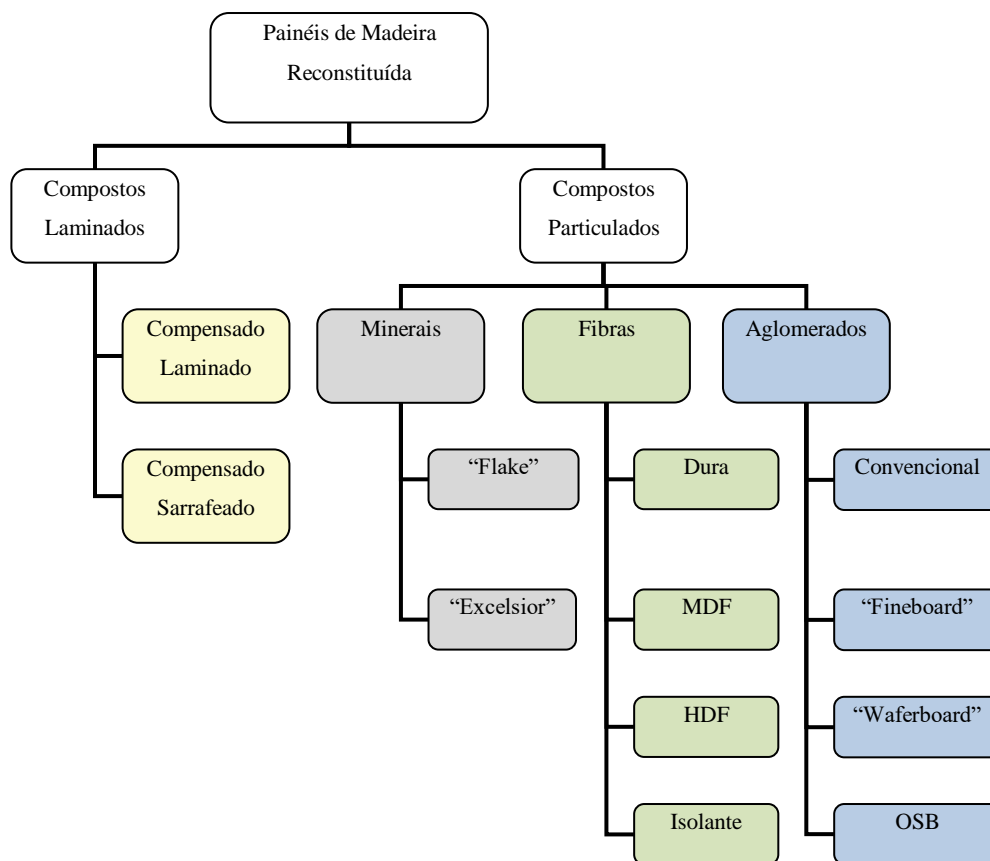


Figura 3. Principais tipos de painéis de madeira reconstituída.
Fonte: Adaptado de Iwakiri (2005).

Ainda, conforme Iwakiri (2005), os painéis podem ser classificados de acordo com a sua densidade, tipos de partículas e distribuição dessas partículas na placa. Dessa forma, painéis de baixa densidade apresentam $0,59 \text{ g/cm}^3$, enquanto os painéis com densidade variando entre $0,59 \text{ g/cm}^3$ e $0,80 \text{ g/cm}^3$ são estimados de média densidade, e aqueles com valores acima de $0,80 \text{ g/cm}^3$ são considerados painéis de alta densidade.

A qualidade do painel e suas propriedades dependem da interação de vários fatores que estão relacionados entre si, os quais devem ser considerados conforme as especificações e padrões recomendados industrialmente, como a espécie, a massa específica, geometria de partículas, teor de umidade, tipo e quantidade de resina, ciclo de prensagem, entre outros (KELLY, 1977).

De acordo com Iwakiri (2005), os primeiros painéis aglomerados ou de partículas surgiram na Alemanha, na década de 1940, como uma maneira de viabilizar a utilização de resíduos de madeira frente à dificuldade de se obter madeira de boa qualidade para a produção de compensados, em virtude do isolamento deste país ao longo da 2ª Guerra Mundial.

Após o término da guerra, em 1946, a produção de painéis aglomerados foi retomada nos Estados Unidos, com grande expansão das instalações industriais e avanços tecnológicos a partir da década de 1960.

No Brasil, os painéis aglomerados começaram a ser produzidos no começo da década de 60, passando por vários questionamentos quanto à sua qualidade, uma vez que se tratava de um produto novo no mercado nacional e que apresentava algumas limitações, tais como a alta absorção de água e inchamento em espessura (MELO, 2009).

Tendo em vista que a incorporação de novas tecnologias estimulou seu consumo no mercado nacional (MATTOS *et al.*, 2008), em 1966 entrou em operação a primeira linha de produção da empresa Placas do Paraná S.A., localizada em Curitiba/PR (SBS, 2006).

Dentre os países produtores e consumidores de painéis aglomerados, destacam-se a China (ZHONG *et al.*, 2017), seguido pelos Estados Unidos, Alemanha, Canadá e Turquia, enquanto que, o Brasil ocupa o oitavo lugar da produção mundial, com uma produção em 2015 de cerca de 7,5 milhões de metros cúbicos de painéis de madeira reconstituída (IBÁ, 2016), conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1. Produção mundial de painéis de madeira reconstituída.

Posição	País	Produção Milhões (m³)
1°	China	83,6
2°	Estados Unidos	19,3
3°	Alemanha	10,6
4°	Canadá	9,5
5°	Turquia	9,4
6°	Rússia	8,9
7°	Polônia	8,1
8°	Brasil	7,5
9°	França	4,9
10°	Tailândia	4,9

Fonte: Adaptado de Ibá (2016).

No Brasil, há 18 unidades produtoras de painéis de madeira reconstituída e/ou pisos laminados, sendo que a maior parte está localizada nas regiões Sul e Sudeste, conforme ilustrado na Figura 4 (IBÁ, 2016).



Figura 4. Localização das principais empresas produtoras de painéis de madeira reconstituída.
Fonte: Ibá (2016).

Assim, Ribaski *et al.* (2017) destacam o grande potencial que o Brasil apresenta para tornar-se um importante produtor mundial de painéis de partículas aglomeradas, seja pela disponibilidade de materiais com possibilidade de utilização pela indústria, ou por possuir tecnologia de ponta para produzir novos materiais a partir do uso de resíduos gerados pelo processamento da madeira.

Por outro lado, Silva (2015) ressalta que a madeira sólida apresenta algumas características que restringem a sua utilização para determinadas finalidades, tais como a anisotropia e a heterogeneidade. Transformá-la em painel de madeira reconstituída ou aglomerado é uma maneira de obter uma variedade de tipos e qualidades de produtos com inúmeras possibilidades de aplicação.

Iwakiri *et al.* (2012b) avaliou as propriedades de painéis aglomerados de densidade de $0,75 \text{ g.cm}^3$ produzidos com resíduos de processamento em serrarias de nove espécies de madeira tropicais da Amazônia, utilizando a resina UF na proporção de 8% de sólidos. Os resultados referentes às propriedades físico-mecânicas dos painéis foram satisfatórios, comprovando a viabilidade de utilização dessas espécies de madeira na produção de painéis aglomerados.

Zau *et al.* (2014) produziram placas utilizando resíduo de madeira de Cumaru (*Dipteryx odorata*), nas quantidades 1000 g, 1300 g e 1500 g, e como aglomerante, a resina poliuretana à base de óleo de mamona, variando entre 10%, 12,5% e 15%. Os melhores resultados mecânicos foram obtidos com painéis produzidos na condição de 1500 g de resíduos com 10% e 15% de resina, evidenciando o potencial uso destes subprodutos de madeira pela indústria.

Ferro *et al.* (2015) utilizou partículas de madeira de Paricá (*Schizolobium amazonicum*) associada a resina poliuretana de mamona (8% de resina) para fabricar painéis de OBS, alcançando ótimos resultados que indicaram excelente comportamento físico-mecânico, atendendo assim, aos valores mínimos recomendados pelas normas vigentes.

2.2.2 Painéis de Partículas de Resíduos Lignocelulósicos

Tendo em vista o volume de resíduos descartados pela indústria agrícola brasileira e a intensificação da demanda por materiais com potencialidades de aproveitamento, o uso de resíduos lignocelulósicos é uma importante alternativa para atender à necessidade de matéria-prima na produção de painéis de partículas aglomeradas (CARASCHI *et al.*, 2009; ROWELL *et al.*, 2000).

Protásio *et al.* (2015) destacam outra grande vantagem de compósitos particulados ao considerá-los como uma possibilidade para minimizar a variabilidade da madeira ou biomassa residual que é proveniente de fatores químicos, físicos, mecânicos e anatômicos intrínsecos.

Nesse sentido, como exemplo de tais resíduos, que apresentam possibilidade de utilização na produção de painéis aglomerados lignocelulósicos, tem-se o ouriço da Castanha-do-Brasil (NOGUEIRA *et al.*, 2018), casca de arroz (CÉSAR *et al.*, 2017; PAULESKI *et al.*, 2007), grão de café (SCATOLINO *et al.*, 2017), bagaço de cana-de-açúcar (SOARES *et al.*, 2017, SARTORI, 2012; MENDES *et al.*, 2012; FIORELLI *et al.*, 2011; MENDES *et al.*, 2010; MENDES *et al.*, 2009), casca da mamona (SILVA *et al.*, 2016), bagaço de sorgo (GUIMARÃES JR. *et al.*, 2016), podas de erva-mate (CARVALHO *et al.*, 2015), sabugo de milho (SCATOLINO *et al.*, 2015, 2013), madeira do cafeeiro (CÉSAR *et al.*, 2014), casca de amendoim (BARBIRATO *et al.*, 2014), pseudocaule da bananeira (GUIMARÃES *et al.*, 2014), casca de aveia (VARANDA, 2012), partículas de bambu (MOIZÉS, 2007), entre outros.

De acordo com Okino *et al.* (1997) qualquer material lignocelulósico pode ser empregado na fabricação de chapas aglomeradas, desde que lhes confirmem alta resistência mecânica e peso específico pré-estabelecido. Todavia, Guimarães (2017) ressalta que, o uso desse tipo de material em associação com partículas de madeira pode resultar na redução das propriedades mecânicas e o aumento da absorção de água dos painéis aglomerados. Estes prejuízos podem ser evitados ao se determinar a quantidade adequada do resíduo para ser adicionada ao painel.

Na literatura, é possível encontrar trabalhos que foram desenvolvidos visando avaliar a viabilidade do uso de resíduos lignocelulósicos na produção de painéis de partículas, bem como o açaí, objeto de estudo desta pesquisa. Mesquita (2013) estudou o processo de extração de fibras do fruto do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) e tratamento por meio da maceração biológica, mostrando a sua potencialidade como matéria-prima na produção de painéis homogêneos particulados de média densidade para uso comercial.

Quirino (2010), de maneira semelhante, desenvolveu e caracterizou painéis produzidos a partir da fibra da semente do açaí associada à resina poliuretana à base de óleo de mamona, obtendo resultados satisfatórios com valores acima dos estabelecidos por documentos normativos, atendendo aos requisitos de aplicação na construção civil e indústria moveleira.

Entretanto, nos estudos apresentados anteriormente relacionados a painéis particulados produzidos a partir do fruto do açaí, em ambos foram utilizadas somente as fibras, descartando o caroço que representa cerca de 80% do fruto. Diante de tal fato, Barbosa (2016) trabalhou no desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos a base de resíduo de açaí e resina de mamona, considerando dois fatores de estudo, Granulometria e Quantidade de Resina (10%, 12,5% e 15%). Foram analisados 5 tipos de placas diferentes, Grossa de 15%, Grossa de 10%, Misturadas (1, 2 e 3) de 12,5%, Média de 15% e Média de 10%. Os melhores resultados de inchamento e absorção de água foram apresentados pelas placas do tipo Grossa com 15% de resina, além disso, os resultados termográficos preliminares também indicaram que este tipo de placa tem grande potencial de conforto térmico, podendo ser aplicadas em forros e divisórias.

2.3 RESÍDUOS DE AÇAÍ

Segundo Quirino (2010), a palmeira de açaí (Figura 5) é típica da Amazônia de clima tropical e apresenta duas principais espécies denominadas *Euterpe oleracea* Mart. e *Euterpe precatória* Mart., abundantes nos estados do Pará, Mato Grosso, Tocantins, Amazonas, Maranhão e Amapá e em países da América do Sul (Venezuela, Colômbia, Equador, Suriname e Guiana) e da América Central (Panamá).

O açaí da espécie *Euterpe oleracea* Mart. (açaí touceira) é encontrado principalmente no Pará, ao passo que açaí *Euterpe precatória* Mart. (açaí solteiro ou solitário) é predominante no Amazonas. Como principal diferença entre essas duas espécies tem-se o número de estipes, mais conhecido como o caule da palmeira de açaí, sendo que, o açaí solteiro tem apenas um único estipe, enquanto o açaí de touceira apresenta mais de dois em uma única árvore (IMAZON; SEBRAE, 2010).



Figura 5. Palmeira de açaí.
Fonte: Quirino (2010).

Utilizada como forma de se obter o “vinho de açaí”, a polpa do açaí conquistou o mercado ao se tornar um dos alimentos básicos da população, alcançando, inclusive, outras regiões do país com grande e crescente aceitação.

No Brasil, a produção de açaí extrativo apresentou um crescimento de 2,0% quando comparada a quantidade produzida em 2016, esse valor corresponde a um total de 219.885 toneladas, equivalente a aproximadamente R\$ 596,8 milhões. Por se tratar de uma espécie nativa da Região Amazônica, tem sua produção extrativa concentrada nos estados da Região Norte, no qual os Estados do Pará e do Amazonas foram responsáveis por 87,5% dessa produção (IBGE, 2017).

De toda essa produção, o Estado do Amazonas destaca-se na qualidade de segundo maior produtor com 23%, ficando atrás somente do Pará com 64,5%, e foi responsável pela produção de 50.503 toneladas do fruto (IBGE, 2017).

Além dos estados citados, é válido destacar outros estados produtores de açaí extrativo, tais como: Maranhão, Acre, Rondônia, Amapá, Roraima, Santa Catarina e Tocantins (IBGE, 2017), conforme Tabela 2.

Tabela 2. Produção nacional de açaí extrativo.

Posição	Estado	Região	Produção (Toneladas)	Valor da Produção (Mil Reais)
1°	Pará	Norte	141.913	462.348
2°	Amazonas	Norte	50.503	91.716
3°	Maranhão	Nordeste	18.330	29.195
4°	Acre	Norte	4.665	5.333
5°	Rondônia	Norte	1.503	3.173
6°	Amapá	Norte	2.770	4.505
7°	Roraima	Norte	197	485
8°	Santa Catarina	Sul	2	8
9°	Tocantins	Norte	1	4
	Brasil		219.885	596.768

Fonte: Adaptado de IBGE (2017).

Seis municípios do Amazonas estão entre os 20 maiores produtores do Brasil, destacando-se Codajás, segundo maior produtor brasileiro com 12.000 toneladas, ficando atrás somente de Limoeiro do Ajuru (Pará), que lidera a produção nacional com 40.000 toneladas, e de Oeiras do Pará (Pará) com 25.000 toneladas, conforme Figura 6.

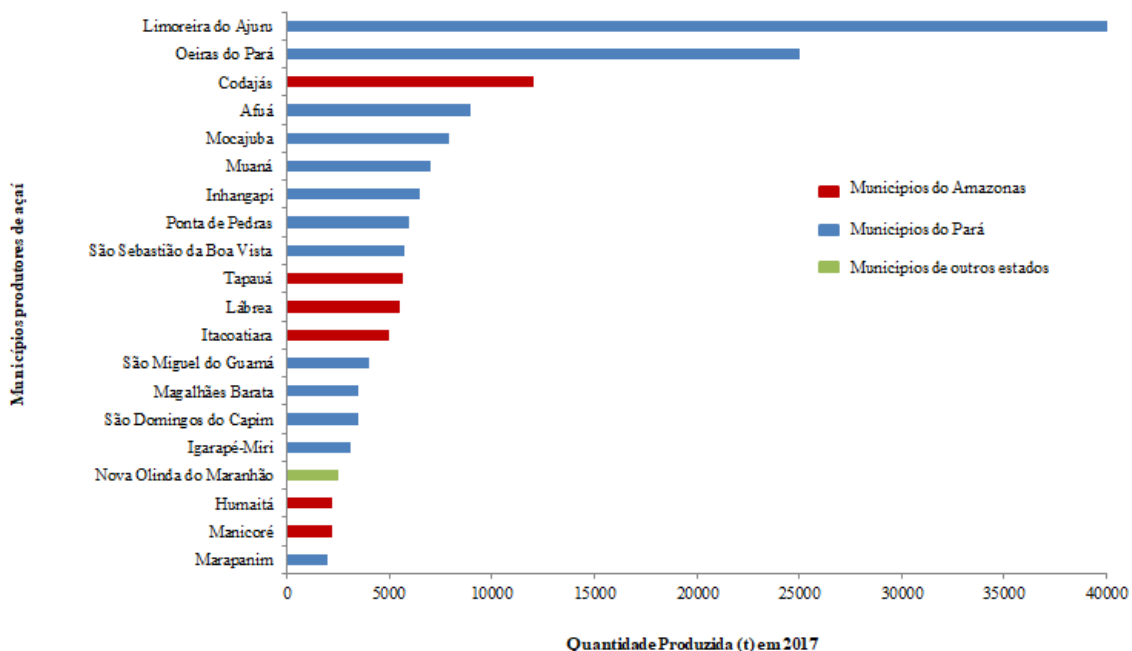


Figura 6. Municípios de maior produção de açaí do Brasil.
Fonte: IBGE (2017).

Importante evidenciar que, quanto à formação morfológica, a semente do açaí é constituída por um mesocarpo polposo que envolve o epicarpo volumoso e duro, este contém uma semente no seu interior de elevado tecido endospermático (NASCIMENTO, 2008).

Aguiar e Mendonça (2003) acrescenta que, a semente possui um diâmetro médio de 11,5 mm e apresenta uma depressão, chamada de rafe, na qual se localizam o poro germinativo e, na outra, o hilo. Assim, feixes de fibras partem da região do hilo, formando um tufo de tecido fibroso sobre o poro germinativo.

No que se refere ao caroço, este constitui aproximadamente 80% do volume total do fruto, coberto por camadas fibrosas e um revestimento oleoso sob um mesocarpo comestível (MUÑIZ-MIRET *et al.*, 1996).

Além de possuir um endosperma sólido ligado a um tegumento que é rico em celulose, hemicelulose e cristais de inulina, antes é rico em lipídios. O pericarpo é fibroso e o endocarpo é pouco lenhoso (ROGEZ, 2000). Após o beneficiamento da polpa torna-se lixo orgânico geralmente utilizado para queima em fornerias, com baixo valor agregado (PEREIRA; RODRIGUES JÚNIOR, 2013).

Tendo em vista que a produção de açaí extrativo no Amazonas em 2017 tenha sido de 50.503 toneladas do fruto, estima-se que 40.402 toneladas correspondem ao caroço, os quais foram descartados na forma de lixo, mesmo apresentando potencial para ser utilizado na produção de compósitos.

2.4 CONFORTO TÉRMICO

O homem, durante toda a sua história, molda o ambiente natural em busca de conforto, considerando seu bem estar físico e psicológico. Desde os primórdios das civilizações, o ser humano impulsionado pela necessidade de se proteger do meio selvagem, passou a construir edificações utilizando o emprego de materiais disponíveis na natureza, tais como pedra, palha, galhos, troncos de árvores e a terra.

Com a revolução industrial, no século XVIII, houve a diversificação das técnicas construtivas e o surgimento de novas tecnologias, tendo em vista a utilização de materiais inovadores (COSTA, 2016). Além disso, tem-se a crescente preocupação por materiais que proporcione o bem estar humano no interior das edificações, principalmente, no que diz respeito ao conforto térmico.

Lamberts *et al.* (2005) define conforto térmico como sendo “o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda”, ou seja, está relacionado com o estado de equilíbrio entre as temperaturas do ser humano e o ambiente.

Frota (2001) destaca como principais variáveis climáticas de conforto térmico a temperatura, a umidade e velocidade do ar, e radiação solar incidente, bem como as características locais, tais como, o regime das chuvas, vegetação, permeabilidade do solo, águas superficiais e subterrâneas, topografia, condições climáticas, entre outras.

Quanto às condições climáticas do município de Manaus, tem-se sua localização na zona bioclimática 8, posicionado na chamada linha equatorial (no intervalo de 5° Norte e 5° Sul de latitude) com latitude de 03° 06' 07" e longitude de -60° 01' 30", além disso, apresenta clima quente e úmido, que é responsável pela intensa incidência solar (NBR 15220-3, ABNT, 2005), intensificado pelas alterações de padrões de temperatura em virtude das mudanças climáticas e influência de fenômenos, como El Niño (MARTORANO *et al.*, 1992).

Adriazola (2008) analisou o desempenho térmico de cinco tipos de painéis de madeira: painel “Wall” (da Eternit), compensado, aglomerado, painel OSB e painel de cimento-madeira, por meio do monitoramento em protótipos durante os períodos de inverno e verão, bem como da caracterização das propriedades termofísicas dos painéis, de simulações dos protótipos e de uma habitação de cunho social. Os resultados apontaram melhor comportamento térmico, dentre os painéis de madeira estudados, para os painéis Wall e OSB.

Ricciardi *et al.* (2014) produziram painéis constituídos por papelão e fibras têxteis, unidos por cola, observando que ambos os painéis apresentaram um bom comportamento térmico, além de valores de condutibilidade térmica semelhantes aos sistemas isolantes tradicionais.

Os resultados obtidos por Ribeiro (2016) ao avaliar o desempenho térmico e mecânico de compósitos cimentícios produzidos com a adição de resíduos de madeira, demonstraram melhoria em massa específica reduzida em 19% em relação ao material convencional, redução da temperatura entre as faces de 31,01% para 29,81%, além da redução da condutividade térmica entre as faces com o aumento do teor de resíduos até 7,5%, comprovando a sua aplicabilidade na construção civil.

Barbosa (2016) também mostrou a possível aplicação de painéis produzidos com resíduos de açaí e resina bicomponente à base de mamona para mitigação dos efeitos térmicos no interior de habitações, devido à sua característica reflexiva e seu potencial para conforto térmico.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Os caroços (sementes) de açaí utilizados como reforço para a produção de painéis de partículas foram coletados em feiras livres, na cidade de Manaus/Am. A resina bicomponente à base de óleo de mamona, composta de polioli e de pré-polímero, foi obtida através de doação da empresa Plural Química de São Carlos/SP, Lecopol F 0911 (componente derivado vegetal da mamona) e Lecopol E0921 (componente isocianato aromático) para obtenção de resina de poliuretano.

Os principais materiais necessários para a produção da placa foram ilustrados na Figura 7.

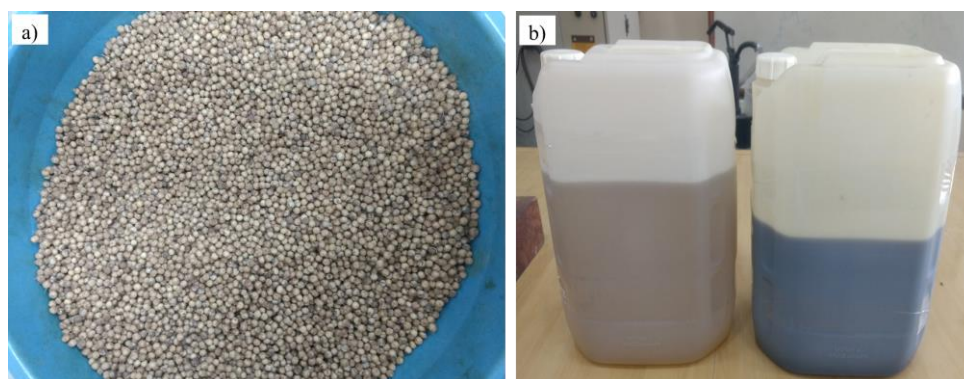


Figura 7. Materiais que foram utilizados na produção dos painéis: a) Caroços de açaí; b) Resina poliuretana de mamona.

3.2 MÉTODOS

Neste trabalho seguiu-se a metodologia adotada por Barbosa (2016), para a produção de painel de partículas de resíduos de caroços de açaí associados à resina poliuretana à base de óleo de mamona, obtendo os melhores resultados com a produção da placa de granulometrias 8 e 14 *Tyler* e 15% de resina. Durante o desenvolvimento desta pesquisa foi feita a caracterização física e química dos resíduos, bem como caracterização física, mecânica e térmica do compósito, verificando a possibilidade de sua aplicação como vedação vertical interna em edificações.

Abaixo é apresentado um organograma (Figura 8) referente ao planejamento das atividades desenvolvidas durante a execução deste trabalho.

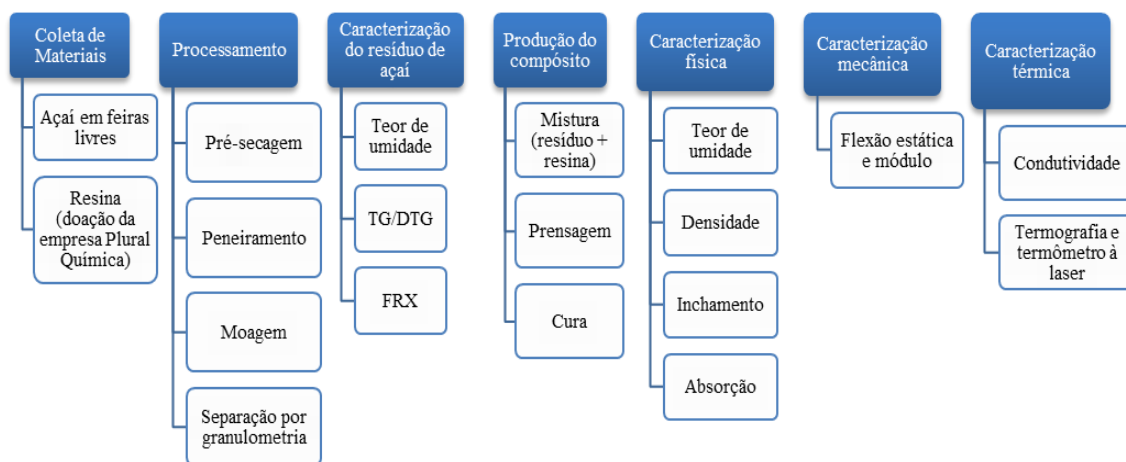


Figura 8. Organograma das atividades para o desenvolvimento da pesquisa.

3.2.1 Processamento

Após a coleta, os caroços de açaí foram expostos ao ar livre por um período de 23 h, para a retirada natural da água em excesso, reduzindo o teor de umidade dos caroços. Em seguida, realizou-se o peneiramento objetivando a retirada de sedimentos e impurezas, tais como talos, folhas, terra e outras impurezas do material. A Figura 9 mostra esses processos, a secagem e o peneiramento dos caroços, respectivamente.



Figura 9. Processos de: a) Secagem dos caroços de açaí ao ar livre e b) Peneiramento dos caroços.

Na etapa seguinte os caroços foram triturados usando um moinho de facas, tipo Willey, marca Marconi, do Laboratório de Princípios Ativos da Amazônia (LAPAAM) do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), Figura 10.



Figura 10. Visão geral do moinho de facas, tipo Willey, marca Marconi.

Foram moídos aproximadamente 130 g de caroços (sementes), por um período de 5 s, para evitar o travamento das facas e se obter uma maior quantidade de partículas nas granulometrias 8 e 14 *Tyler*. A Figura 11 ilustra esse processo de moagem dos caroços, incluindo a pesagem do material.

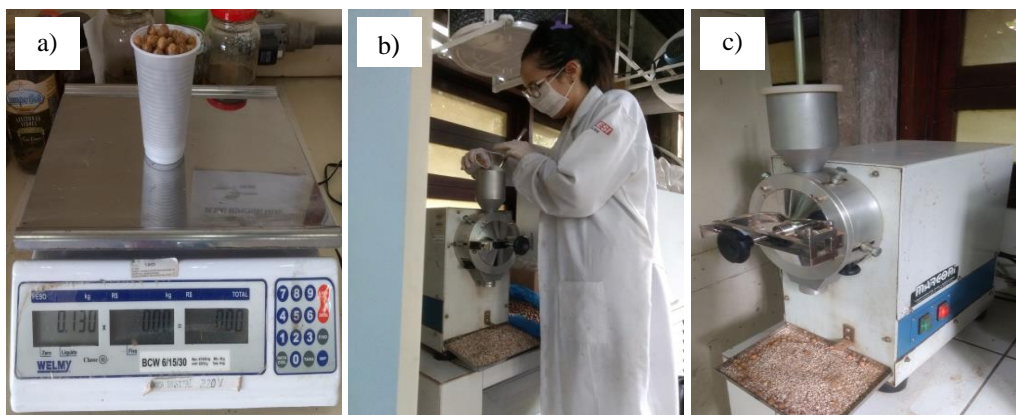


Figura 11. Moagem dos caroços: a) Pesagem da quantidade de caroços para cada ciclo de moagem; b) Despejo dos caroços após o moinho ligado; c) Trituração dos caroços por um período de 5 s.

Após esse tempo de moagem, o material particulado foi coletado do moinho e reservado, Figura 12. A partir disso, repetiu-se o ciclo até a moagem de todos os caroços.

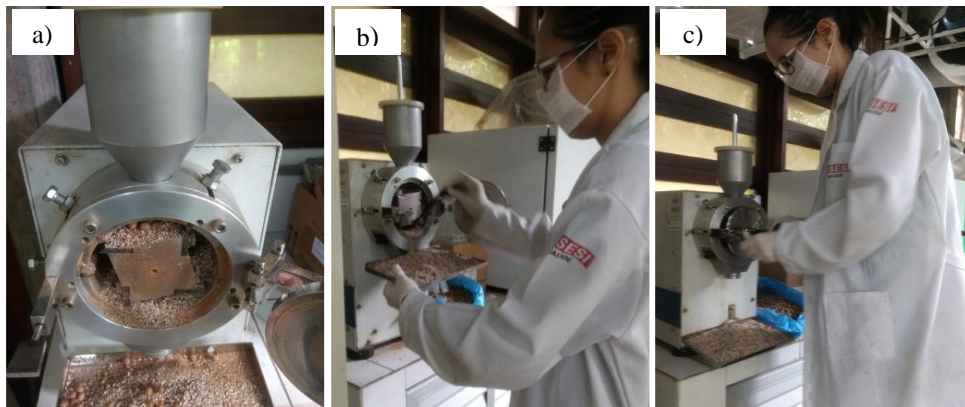


Figura 12. Processo de coleta dos caroços triturados: a) Caroços triturados; b) Coleta do material particulado; c) Finalização de um ciclo para o início de outro.

Ao finalizar cada ciclo, o material foi armazenado, e posteriormente, foi feita a separação granulométrica (Figura 13) utilizando um jogo de peneiras (Figura 14), no Laboratório de Ensaio de Materiais (LEM), do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

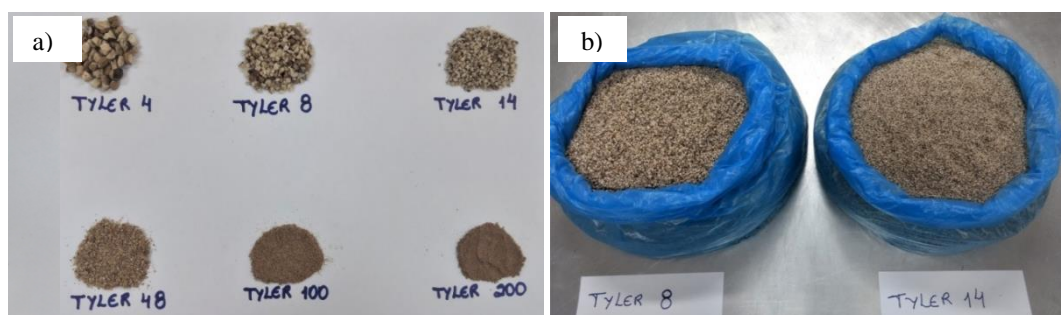


Figura 13. Separação granulométrica: a) Granulometrias 4, 8, 14, 48, 100 e 200 Tyler; b) Granulometrias para a produção da placa 8 e 14 Tyler.



Figura 14. Jogo de peneiras.

3.2.2 Caracterização dos Resíduos de Açai

3.2.2.1 Teor de Umidade

A determinação do teor de umidade em base seca foi realizada utilizando cerca de 0,500 g de resíduo, amostras do material moído retido nas peneiras de 8 e 14 *Tyler*, a 105 °C por aproximadamente 5 min, no equipamento Halogêneo de Umidade da marca OHAUS, do Laboratório de Materiais da Amazônia e Compósitos (LaMAC) da UFAM, conforme Figura 15.



Figura 15. Amostra de açai no Analisador Halogêneo para determinação do teor de umidade.

3.2.2.2 Termogravimetria (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG)

O ensaio de Termogravimetria para a verificação da temperatura de degradação do resíduo de açai e do compósito (resíduo + resina) foi realizada no equipamento modelo SDT Q600 da Ta Instrument (Figura 16), no LaMAC/UFAM.

Para o ensaio utilizou-se uma quantidade de aproximadamente 10 mg para cada amostra e taxa de aquecimento foi de 10 °C/min até a temperatura final de 700 °C, com fluxo de gás Nitrogênio 5.0 de 30 mL/min. O cadinho utilizado nos testes foi o de alumina de 90 µL sem tampa.



Figura 16. Equipamento modelo SDT Q600 da Ta Instrument.

3.2.2.3 Fluorescência de Raios X (FRX)

Para análise qualitativa dos componentes químicos, expressos em óxidos, que constituem a amostra foi realizado o ensaio de Fluorescência de Raios X (FRX), utilizando o equipamento PANalytical, modelo EPSILON 3 XL (Figura 17), com tensão máxima de 50 kV, corrente máxima de 3 mA, gás hélio pressão 10 atm/10 kgf/cm², localizado no LaMAC/UFAM.



Figura 17. Espectrômetro PANalytical, modelo EPSILON 3 XL.

3.2.3 Procedimentos para a Produção dos Painéis

A metodologia utilizada para a produção dos compósitos segue as especificações da NBR 14810-1 (ABNT, 2013) para painéis de partículas de média densidade. Inicialmente, foi determinada a quantidade de massa necessária para uma placa de densidade média, ou seja, com valores variando entre 0,59 g/cm³ e 0,80 g/cm³, pela Equação (1).

$$d = \frac{m}{v} \quad (1)$$

Sendo que,

d = densidade (g/cm³)

m = massa (g); e

v = volume (cm³).

Considerando como parâmetro de densidade o valor de 0,80 g/cm³ e que o molde de madeira utilizado para a produção dos painéis possuía dimensões de 40x40 cm e altura da placa de 1 cm, tem-se a seguinte Equação (2):

$$d = \frac{m}{v} \rightarrow 0,8 = \frac{m}{(40 \times 40 \times 1)} \rightarrow m = \mathbf{1280 \text{ g}} \quad (2)$$

Assim, cada painel foi constituído por 1280 g de resíduo de caroço de açaí. Nesse cálculo não foi considerada a massa da resina. Quanto à quantidade de resina à base de óleo de mamona, composta por poliol e pré-polímero, encontra-se na literatura uma grande variedade de trabalhos que adotam um percentual entre 10% e 15% de resina (FIORELLI *et al.*, 2011; SILVA *et al.*, 2013; LIMA *et al.*, 2012; FERRO *et al.*, 2015).

Neste trabalho utilizou-se o percentual de 15% de resina em relação à quantidade de resíduo, conforme os melhores resultados encontrados por Barbosa (2016). Portanto, considerando essa porcentagem para 1280 g de resíduo, foram utilizados 192 g de resina, que divididas na proporção 1:1 de poliol e pré-polímero, correspondendo a 96 g de cada.

Outro fator analisado antes da produção da placa foi o percentual de rendimento de partículas para 1000 g. Ou seja, após a moagem e peneiramento de 1000 g de caroço, foi observado o percentual retido para as granulometrias 4, 8, 14, 48, 100 e 200 *Tyler*, com o objetivo de se obter um maior percentual para as granulometrias 8 e 14 *Tyler*, Tabela 3.

Tabela 3. Percentual retido por granulometria para 1000 g de caroço de açaí.

Granulometria (Tyler)	Percentual retido em massa (%)
4	2
8	46
14	37
48	12
100	2
200	1

Considerando que, a placa é constituída pelas granulometrias 8 e 14 *Tyler*, que representam 46% e 37% do percentual retido, respectivamente, correspondendo a um somatório total de 83%.

Logo, para calcular a massa de cada granulometria (8 e 14 *Tyler*) que compõem a placa, foi adotada uma regra de três simples. Sendo que, o valor de 100% equivale ao somatório de 83%, como é observado na Equação (3).

$$\begin{array}{rcl}
 \text{Para Tyler 8:} & \text{Para Tyler 14:} & \\
 83\% \text{ ----- } 100\% & 83\% \text{ ----- } 100\% & (3) \\
 46\% \text{ ----- } X & 37\% \text{ ----- } Y & \\
 \mathbf{X = 55,42\%} & \mathbf{Y = 44,58\%} & \\
 0,5542 \times 1280 \text{ g} = \mathbf{709,38 \text{ g}} & 0,4458 \times 1280 \text{ g} = \mathbf{570,62 \text{ g}} &
 \end{array}$$

$$\Sigma = 709,38 \text{ g} + 570,62 \text{ g} = \mathbf{1280 \text{ g}}$$

A partir disso, a Tabela 4 apresenta o quantitativo de resíduos de caroços de açaí e de resina necessários para a produção de painéis com 1280 g.

Tabela 4. Quantitativo final para a produção das placas.

Placa	Granulometria (Tyler)	Massa (g)	Resina (%)	Resina (g)	
				Poliol	Pré- polímero
	8	709,38	15	96	96
	14	570,62			

3.2.4 Produção dos Painéis

Os painéis foram produzidos no LaMAC/UFAM. Adotou-se como base, além de Barbosa (2016), outras metodologias encontradas na literatura, tais como, Quirino (2010), Lima (2012) e Silva *et al.* (2013).

Inicialmente, foi realizada a pesagem da resina de mamona e das amostras de granulometria de 8 e 14 *Tyler*, na balança K600, marca Gehaka, precisão de 0,001 g, conforme Figura 18.

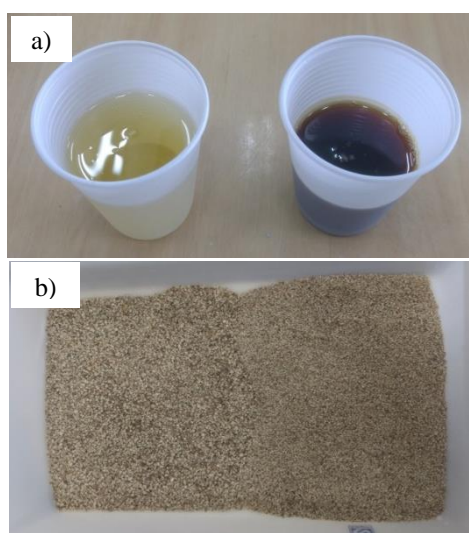


Figura 18. Materiais após a pesagem: a) Resina: polioli e pré-polímero; b) Resíduos caroços de açai, granulometrias 8 e 14 *Tyler*.

Posteriormente, tem-se a mistura da resina com a amostra de resíduo de açai, conforme Figura 19, por um período de 40 min, alternando a mistura do polioli com as partículas e do pré-polímero com as partículas, respectivamente, por três ciclos. Obtendo assim, um material homogêneo.



Figura 19. Mistura (resina + resíduos de caroços de açai).

Posteriormente, a amostra foi colocada no molde, em dimensões previamente definidas, e compactada manualmente, como mostra a Figura 20. Seguindo para a prensa a quente, PHH 100T, da Hidral-mac (Figura 21), a uma temperatura de aproximadamente 100 °C, pressão de 15 MPa, por 10 min.



Figura 20. Moldagem e compactação manual das partículas.



Figura 21. Prensagem a quente do painel na prensa hidráulica PHH 100T, da Hidral-mac.

Após a saída da prensa e objetivando a cura completa do material polimérico, as placas foram armazenadas em temperatura ambiente, por um período de 48 a 72 h (Figura 22).



Figura 22. Placa armazenada em temperatura ambiente.

Finalizando este processo, tem-se o acabamento dos painéis com a marcação e esquadreamento de acordo com as dimensões específicas para cada ensaio. E, posteriormente, os corpos de prova foram cortados utilizando serra circular, conforme Figura 23.

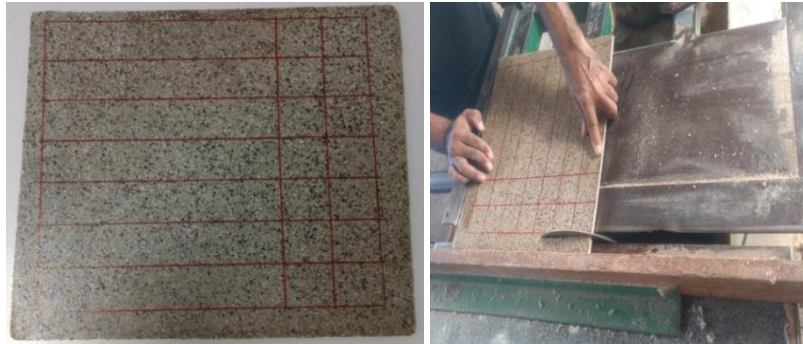


Figura 23. Esquadreamento, marcação e corte dos corpos de prova.

3.2.5 Caracterização Física dos Compósitos

3.2.5.1 Teor de Umidade

O ensaio foi realizado no LaMAC/UFAM, seguindo as recomendações da norma adotada para este ensaio foi a NBR 14810-2 (ABNT, 2013).

Pesou-se 10 corpos de prova medindo 50 x 50 mm e 10 mm de espessura, extraídos da placa produzida (Granulometrias 8 e 14 Tyler, com 15% de resina), anotando os valores obtidos como massa úmida. Em seguida, os corpos de prova foram colocados em estufa (Figura 24a), mantidos à temperatura de $(103 \pm 2)^\circ\text{C}$, em que permaneceram até se obter a massa constante.

Após o processo de secagem na estufa, os corpos de prova foram acondicionados em dessecador até temperatura ambiente (Figura 24b) e em seguida pesados novamente em balança analítica, da marca Shimadzu (Figura 24c), objetivando determinar a massa seca. O cálculo da porcentagem do teor de umidade em base seca é feito a partir da Equação (4).

$$U = \frac{MU - MS}{MS} \times 100 \quad (4)$$

Em que,

U = Teor de umidade em base seca (%);

MU = Massa úmida do corpo de prova (g);

MS = Massa seca do corpo de prova (g).

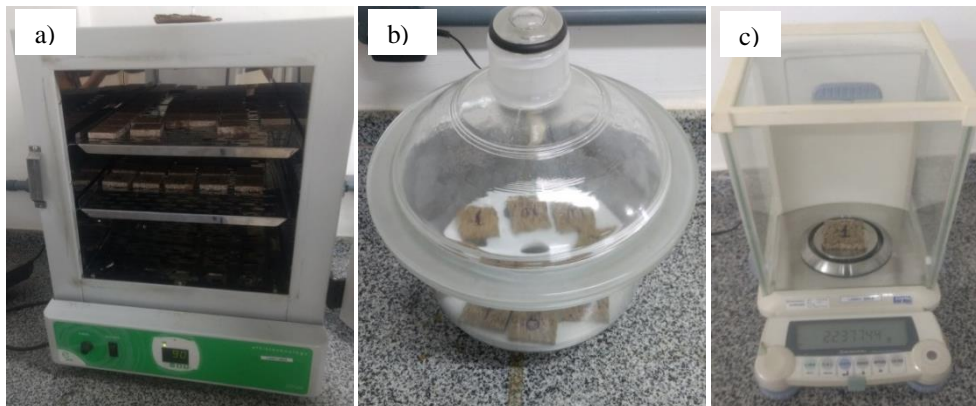


Figura 24. Ensaio teor de umidade: a) Corpos de prova em estufa; b) Corpos de prova sendo esfriados em dessecador; c) Pesagem dos corpos de prova.

3.2.5.2 Densidade Aparente

Os valores de densidade aparente foram determinados por meio da relação massa/volume, obedecendo aos parâmetros estabelecidos pela NBR 14810-2 (ABNT, 2013). Inicialmente, foi determinada a massa de 10 corpos de provas de 50 x 50 mm e 10 mm de espessura (Figura 25a), individualmente, usando uma balança analítica, da marca Shimadzu.

Posteriormente, utilizou-se um micrômetro digital da marca Mitutoyo para medir a espessura dos corpos de prova em seu centro (Figura 25b), e as medidas de comprimento e largura foram obtidas utilizando um paquímetro digital da marca Carbografite (Figura 25c), no LaMAC/UFAM. A partir da Equação (5) é possível calcular a densidade de cada corpo de prova.

$$D = \frac{M}{V} \times 1\,000\,000 \quad (5)$$

Sendo,

$$V = c \times l \times e;$$

D = Densidade (kg/m³);

M = Massa do corpo de prova (g);
 V = Volume do corpo de prova; (mm^3);
 c = Comprimento do corpo de prova (mm);
 l = Largura do corpo de prova (mm);
 e = Espessura do corpo de prova (mm).



Figura 25. Ensaio de densidade: a) Corpos de prova; b) Medição da espessura dos corpos-de-prova; c) Medição do comprimento e da largura dos corpos de prova.

Por último foi calculada a variação percentual da densidade de cada um dos corpos de prova em relação à densidade média, utilizando a Equação (6). Deve-se registrar o módulo máximo da variação da densidade.

$$D \% = \frac{(D - D_{\text{média}})}{D_{\text{média}}} \times 100 \quad (6)$$

3.2.5.3 Inchamento

O ensaio foi realizado no LaMAC/UFAM, conforme especificações da NBR 14810-2 (ABNT, 2013), com 10 corpos de provas nas dimensões de 50 x 50 mm e 10 mm de espessura. Consistiu em determinar a espessura dos corpos de prova no ponto de intersecção de suas diagonais (centro), antes e após a imersão em água a 20 °C, com um micrômetro de precisão 0,01 mm, da Mitutoyo.

Após a determinação da espessura, cada corpo de prova foi submerso em um recipiente com água deionizada cerca de 25 mm acima de sua face superior, utilizando uma espécie de gradil (Figura 26a).

Depois de 24 h de imersão, os corpos de prova foram retirados do recipiente, e então, foi realizada uma nova medição da espessura do corpo de prova em seu centro, conforme Figura 26b. Para o cálculo final de inchamento, utilizou-se a Equação (7).

(7)

$$I = \frac{E1 - E0}{E0} \times 100$$

Onde,

I = Inchamento em espessura (%);

$E0$ = Espessura do corpo de prova antes da imersão (mm);

$E1$ = Espessura do corpo de prova após o período de imersão de 24 h (mm).



Figura 26. Ensaio de inchamento: a) Imersão dos corpos de prova; b) Medição dos corpos de prova após a imersão.

3.2.5.4 Absorção

Com um processo similar ao ensaio de inchamento, para a absorção realizou-se a pesagem dos corpos de prova, antes e após 24 h de ensaio, em uma balança analítica, da marca Shimadzu, no LaMAC/UFAM (Figura 27).

Considerando que, NBR 14810-2 (ABNT, 2013) não apresenta parâmetros normativos para absorção, os resultados obtidos devem ser analisados através de comparação com a literatura. O cálculo final de absorção é feito utilizando a Equação (8).

$$A = \frac{M1 - M0}{M0} \times 100 \quad (8)$$

Em que,

A = Absorção de água (%);

$M0$ = Massa do corpo de prova antes da imersão (mm);

$M1$ = Massa do corpo de prova após o período de imersão de 24 h (mm).



Figura 27. Pesagem dos corpos de prova após 24 h de ensaio.

3.2.6 Caracterização Mecânica dos Compósitos

3.2.6.1 Flexão Estática e Módulo de Elasticidade

Para se determinar o módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE), utilizou-se 10 corpos de prova retangulares medindo 250 mm de comprimento e 50 mm de largura (Figura 28a).

O ensaio foi realizado conforme os parâmetros da NBR 14810-2 (ABNT, 2013), na máquina universal de ensaios INSTRON (Figura 28b), modelo 5982, capacidade de 100 kN, a uma velocidade constante, desde que, a ruptura do corpo de prova ocorra no intervalo de (60 ± 30) s, no Laboratório de Ensaios de Materiais (LEM), do Instituto Federal do Amazonas (IFAM).

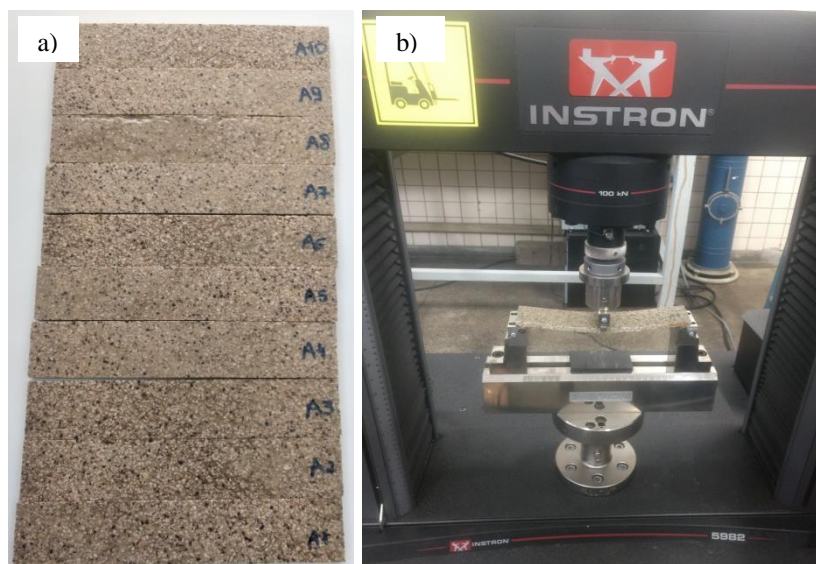


Figura 28. Ensaio de Flexão: a) Corpos de prova para o ensaio; b) Ruptura do corpo de prova na máquina universal de ensaios.

Para cálculo da resistência a flexão estática (MOR) e do Módulo de Elasticidade (MOE) foi necessário medir a espessura (E) do corpo de prova, estabilizado em estufa até umidade de equilíbrio, com um micrômetro e a largura (B) com um paquímetro, como ilustrado na Figura 29.

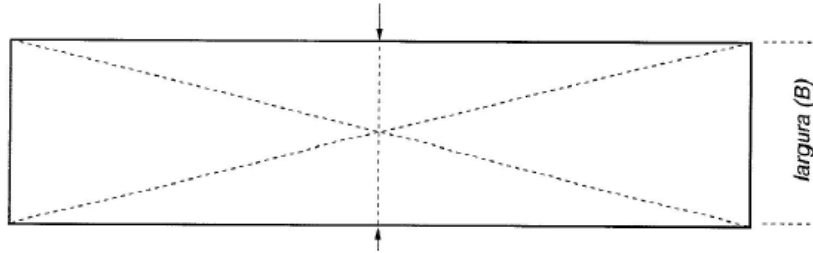


Figura 29. Pontos de medição dos corpos de prova.
Fonte: NBR 14810-2 (ABNT, 2013).

Por último, foram utilizadas as Equações (9) e (10) para o cálculo da resistência a flexão estática (MOR) e do módulo de elasticidade (MOE), respectivamente.

$$MOR = \frac{1,5 \times (P \times D)}{B \times (E)^2} \quad (9)$$

Onde,

P = Carga de ruptura no indicador de cargas (N);

D = Distância entre apoios do aparelho (mm);

B = Largura do corpo de prova (mm);

E = Espessura do corpo de prova, medida no ponto de intersecção de suas diagonais (mm).

$$MOE = \frac{P1 \times D^3}{d \times 4 \times B \times E^3} \quad (10)$$

Sendo,

$P1$ = Carga limite proporcional lida no indicador de cargas (N);

D = Distância entre apoios do aparelho (mm);

d = Deflexão correspondente à carga $P1$ (mm);

B = Largura do corpo de prova (mm);

E = Espessura do corpo de prova, medida no ponto de intersecção de suas diagonais (mm).

3.2.7 Caracterização Térmica do Compósito e MDF

3.2.7.1 Condutividade

O dispositivo TCi desenvolvido pela C-Therm, usado para medir a condutividade térmica do compósito, pode ser aplicado para medir a condutividade de materiais nos estados sólido, líquido, pó e misturado. Este consiste em um sensor, dispositivo de controle de potência e software de computador (KUVANDYKOVA, 2010).

O calor é gerado ao se aplicar uma fonte de calor, tipo espiral, no centro do sensor, antes de colocar a amostra. Aplica-se o agente de contato no sensor, e então, posiciona-se o corpo de prova no sensor de forma que permita a transmissão de calor entre o sensor e a superfície do material. Coloca-se um peso sobre o material para conectá-lo ao sensor a uma pressão apropriada. O calor gerado entra no material, por meio do sensor, elevando sua temperatura e se difundindo na amostra em fluxo de calor unidimensional. Isso resulta em uma queda de tensão que ocorre rapidamente na fonte de aquecimento e a condutividade térmica é calculada (CHA *et al.*, 2011).

A Figura 30 apresenta um esquema resumido da realização do ensaio.

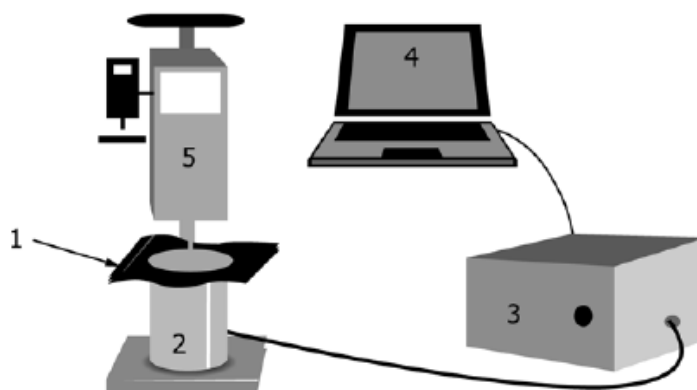


Figura 30. Esquema ensaio de condutividade térmica.
Fonte. ASTM D7984 (2016).

Sendo,

- 1- Corpo de prova ou amostra;
- 2- Aquecedor e sensor;
- 3- Controlador;
- 4- Software de computador;
- 5- Aplicador de pressão apropriada.

Para este ensaio, por tratar-se de um material sólido, aplicou-se três gotas de água destilada no sensor antes de posicionar a amostrar, conforme recomendações do manual do fabricante do equipamento.

Como o compósito apresenta em sua composição material lignocelulósico, há possibilidade de absorção de água. Isso inviabilizaria o ensaio, uma vez que esta seria absorvida pela amostra. Sendo assim, optou-se por depositar uma camada fina de resina acrílica incolor, da marca Maza, a fim de impedir a absorção de água no material. Essa camada foi depositada tanto na amostra como em outra de MDF.

Quanto à preparação dos corpos de prova do compósito realizou-se o lixamento de uma de suas faces utilizando folhas de lixas grão P 80, 120, 400 e 600, com o objetivo de se obter uma superfície de contato lisa e mais homogênea, e então, aplicou-se a resina acrílica incolor.

A condutividade térmica foi calculada a partir da média dos 30 valores de condutividade obtidos para os corpos de prova do compósito e MDF com resina acrílica, nas dimensões de 50 x 50 mm e 10 mm de espessura, utilizando o analisador de condutividade térmica TCi C-Therm, capacidade de 0 a 500 W/mK e uma faixa de temperatura de -50 °C a 200 °C, no Laboratório de Materiais (LabMat) do Departamento de Física/UFAM, conforme Figura 31. Utilizou-se para controle positivo o MDF de média densidade de 685 kg/m³ e espessura de 1 cm, adquirido no comercio local, na cidade de Manaus/Am.



Figura 31. Ensaio de condutividade térmica na superfície do compósito.

3.2.7.2 Caracterização das temperaturas superficiais através da Termografia no Infravermelho (Infrared – IR) e Termômetro à Laser

O ensaio de termografia no infravermelho foi realizado no estacionamento do bloco de Pós-Graduação da Faculdade de Tecnologia/UFAM.

Buscou-se obter o mapeamento térmico das temperaturas superficiais do painel compósito, dimensões 40x40x1 cm, em comparação a outro material comercial, o MDF, dimensões 40x40x1 cm, similar à metodologia adotada por Barbosa (2016) e Rebelo (2016).

Considerando a influência da cor da superfície do material (NBR 15220-2, ABNT 2005), as superfícies de ambos os materiais foram pintadas utilizando a tinta spray multiuso, da marca Suvinil, na cor preto fosco.

As fotos foram obtidas utilizando a máquina FLIR T650SC, com sensibilidade de 0,02 °C e calibração automática. Foram realizadas 5 tomadas fotográficas durante o período mais quente, do dia 12 de outubro a 26 de novembro de 2018, em horários diferentes do dia: 10:30 h (manhã), 11:30 h (manhã), 12:30 h (tarde), 13:30 h (tarde) e 14:30 h (tarde), totalizando cerca de 500 fotos, conforme Figura 32.



Figura 32. Ensaio de Termografia de Infravermelho da placa e MDF.

Posteriormente, o tratamento das fotos foi feito no software Flir Tools, versão 5.13.18031.2002. Para cada imagem, em ambos os materiais, gerou-se três faixas de temperatura superficial, correspondendo à parte superior, central e inferior de cada material analisado, com temperaturas mínima, média e máxima (Figura 33).

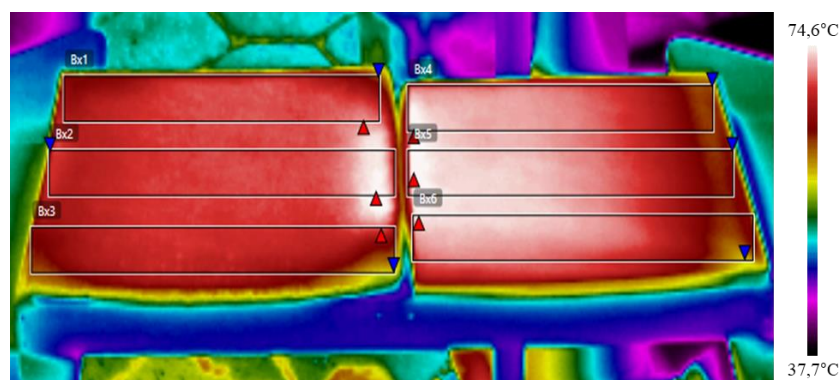


Figura 33. Faixa de estudo termográfico.

Estes dados foram organizados em planilhas Excel, possibilitando analisar e comparar as respostas térmicas de temperatura superficial mínima, média e máxima da placa e do MDF, além de relacionar tais valores com a temperatura ambiente.

Utilizando o mesmo experimento, apresentado anteriormente, também foram realizadas análises térmicas utilizando termômetro a laser tipo pistola de infravermelho com mira a laser classe II, da marca Raytek MiniTemp, modelo MT4, com capacidade de medição de superfícies sem contato, de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ até $+400\text{ }^{\circ}\text{C}$ e resolução $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, nas superfícies superior e inferior do compósito e do MDF, após sua exposição à radiação solar.

Determinou-se 5 pontos para o painel compósito e MDF, sendo dois pontos na borda superior, um ponto central e dois pontos na borda inferior. Foram aferidas as medidas de temperatura em cada um desses pontos, nas faces superior e inferior, como mostra a Figura 34.

Foram realizadas 5 medições em horários diferentes do dia: 10:30 h (manhã), 11:30 h (manhã), 12:30 h (tarde), 13:30 h (tarde) e 14:30 h (tarde), no período dos dias 12 de outubro a 26 de novembro de 2018, para os 5 pontos das faces superior e inferior da placa e do MDF, totalizando cerca de 2000 medidas de temperaturas.

Em seguida, os dados foram organizados em planilhas Excel, analisando-se as temperaturas superior e inferior, bem como suas amplitudes térmicas, que inferem, diretamente, na capacidade de isolamento térmico desses materiais.

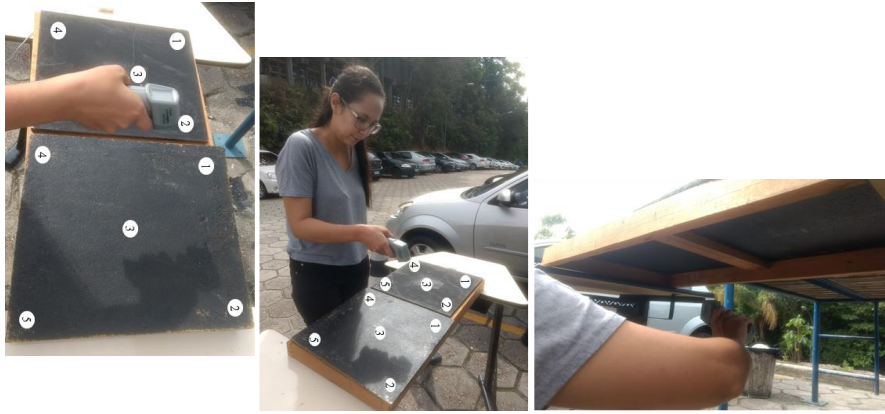


Figura 34. Medidas pontuais de temperatura aferidas nas faces superior e inferior da placa e do MDF.

Os valores mínimos e máximos de temperatura e umidade do ar foram extraídos da base de dados da estação automática do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

3.2.8 Análise Estatística

Os dados obtidos na análise térmica foram submetidos à análise de variância (ANOVA) a fim de investigar a influência dos fatores (tipo de material e horário de ensaio), em cada uma das variáveis respostas (temperaturas superficiais ou amplitudes térmicas), avaliada a um nível de significância de 5%. Sendo que, p-Valor superior ao nível de significância, implica em aceitar a similaridade das temperaturas superficiais ou amplitudes térmicas, e caso contrário, rejeita-se a hipótese.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DE AÇAÍ

4.1.1 Teor de Umidade

A partir dos resultados obtidos para os resíduos de açaí (Tabela 5), a média dos teores de umidade em base seca para as granulometrias 8 e 14 *Tyler* foi cerca de 6,9% e 8,6%, respectivamente, próximos aos parâmetros encontrados na literatura.

Tabela 5. Resultados obtidos a partir do ensaio de teor de umidade dos resíduos de açaí.

Granulometria (Tyler)	Massa Inicial (g)	Massa Final (g)	Perda de Massa (g)	Teor de Umidade (%)
8	0,522	0,485	0,037	6,903
Desvio Padrão	0,01	0,00	0,00	0,32
14	0,524	0,476	0,048	8,597
Desvio Padrão	0,02	0,02	0,00	0,62

De acordo com Kelly (1977), para cada tipo de material existe um percentual ideal de teor de umidade que relaciona boa transferência de calor sem influenciar negativamente a cura da resina pelo excesso de umidade.

Para Maloney (1989), o teor de umidade das partículas deve situar-se em torno de 5%. Partículas mais úmidas contribuem para o aumento da umidade da mistura no molde, podendo gerar problemas na formação do painel devido à grande quantidade de vapor gerado. Enquanto que, Lima (2012) ressalta que, partículas com valor de teor de umidade inferior a 5% podem prejudicar a adesão entre partícula e resina, pois não se unem e possuem baixa elasticidade.

Segundo Silva *et al.* (2008), partículas com alto teor de umidade pode resultar em umidade final acima do aceitável, o que é recomendável secá-las até atingir um valor entre 3 a 6 %.

Já para Heebink *et al.* (1972) e Strickler (1959), os valores de umidade devem situar-se no intervalo de 11% e 14%, garantindo que a transferência de calor durante a prensagem do compósito seja eficaz.

Maloney (1989) acrescenta que, valores muito baixos de teor de umidade podem afetar o transporte de calor ao centro do painel, resultando em um material heterogêneo com propriedades mecânicas irregulares. Enquanto que, altos valores de teor de umidade exigem um maior tempo de prensagem, pois é necessária a retirada da umidade excedente do compósito.

Por outro lado, valores mais baixos de teor de umidade da mistura no molde resultam em uma densidade mais homogênea, conseqüentemente, maior resistência à tração perpendicular e arrancamento lateral de parafusos (MALONEY, 1989).

Diante do exposto optou-se por utilizar o material com umidade variando de 6,9% e 8,6% para as granulometrias de 8 e 14 *Tyler*, respectivamente.

4.1.2 Fluorescência de Raios X (FRX)

Os elementos e composições químicas do resíduo de açaí são indicados na Tabela 6. Observou-se a predominância dos elementos químicos Potássio (K), Cálcio (Ca) e Silício (Si), com 46,70%, 21,12% e 8,24%, respectivamente. Em termos de óxidos, tem-se 38,74% de Óxido de Potássio, 18,66% de Óxido de Cálcio e Óxido de Silício de 14,26%, que se apresentam em maiores concentrações.

Tabela 6. Concentrações de elementos e óxidos do resíduo de açaí.

Elemento	Concentração (%)	Óxidos	Concentração (%)
K	46,70	K ₂ O	38,74
Ca	21,12	CaO	18,66
Si	8,24	SiO ₂	14,26
P	5,26	P ₂ O ₅	9,43
Mn	5,11	Mn	3,11

O percentual determinado de Silício (Si) foi inferior ao encontrado por Rebelo (2016) de 34,96%, para a fibra da Piaçava (*Leopoldinia piassaba*), por sua vez, verificou também presença dos elementos de 0,54% de Magnésio (Mg) e 21,109% de Alumínio (Al).

A menor porcentagem de Sílicio (Si) na composição química da fibra ou partícula contribui para uma melhor adesão do reforço à matriz, garantindo melhores propriedades mecânicas aos compósitos (MOKALOBA; BATANE, 2014).

Verificou-se também na literatura a presença de sílica nas superfícies de fibras de palmeiras Amazônicas, tais como, açai (*Euterpe oleraceae* Mart.) (MESQUITA, 2013), jucitara (*Desmoncus orthacanthos*) (KIKUCHI; LINS, 2013) e Piaçava (*Attalea funifera* Mart.) (NOGUEIRA *et al.*, 2012).

Além disso, Lima (2012) destaca que o Cálcio (Ca), presente no resíduo de açai (Tabela 8), também é uma das principais substâncias minerais encontradas em pequenas quantidades na composição química da madeira, bem como o Potássio (K) e Magnésio (Mg).

Rebelo (2016) ressalta que, os elementos químicos que se apresentam em menor concentração na composição do material podem ser inerentes ao clima e ambiente de desenvolvimento da palmeira.

4.1.3 Termogravimetria (TG) e Termogravimetria Derivada (DTG)

A primeira etapa de degradação para as partículas de resíduo de açai ocorreu no intervalo de 25 e 100 °C com cerca de 12,42% de redução de massa, que pode ser relacionada à perda de componentes voláteis, sobretudo água (MARTINS *et al.*, 2009; REBELO, 2016). Esse valor de perda de umidade foi superior ao teor de umidade determinado para as partículas de resíduos de açai, provavelmente por esse ensaio ter sido realizado posteriormente ao ensaio de teor de umidade das partículas, e mesmo as amostras estando acondicionadas, houve essa absorção de umidade.

Posteriormente, inicia-se a segunda etapa, com a degradação do resíduo em torno de 200 a 230 °C, perda de massa de aproximadamente 2,75%, atribuído à degradação da hemicelulose e à quebra de ligações da celulose (MARTINS *et al.*, 2009).

A terceira etapa inicia-se aproximadamente em 200 até 375 °C com perda de massa de 49,05%, relacionado à decomposição da celulose e lignina (MARTINS *et al.*, 2009). Observa-se um pico de maior intensidade de temperatura máxima de 282,84 °C, que pode estar associado à decomposição da celulose (Barbosa, 2016). Enquanto o pico de temperatura máxima de 334,45 °C pode estar relacionado à decomposição térmica da lignina, corroborando com Kabir *et al.* (2012). O teor final de resíduo foi de 2,40% relacionado à resíduos inorgânicos, observados no ensaio de FRX.

A temperatura do índice de estabilidade térmica do material, na qual ocorre 50% da decomposição da massa (CANEVAROLO, 2004; POLETTTO *et al.*, 2014), foi de aproximadamente 325 °C.

Nas curvas de TG/DTG do compósito (Figura 35) observa-se a curva de redução de massa por perda de umidade em torno de 25 a 100 °C, apresentando variação de massa de 4%.

A partir dessa temperatura observa-se um evento até aproximadamente 200 °C referente às ligações uretanas (PEREIRA, 2010). De acordo com Pereira (2010) durante decomposição da resina poliuretana tem-se a ocorrência de dois eventos, o primeiro refere-se à decomposição das ligações uretanas, no intervalo de temperatura de 131 e 335 °C, e o segundo está associado à decomposição das ligações ésteres presentes no pré-polímero, com temperatura variando de 335 a 556 °C.

A seguir observam-se outros cinco eventos, variando de 200 a 525 °C, que podem ser atribuídos à decomposição da hemicelulose, celulose, lignina e ligações ésteres, respectivamente. A decomposição da hemicelulose ocorreu aproximadamente entre 225 e 250 °C, com perda de massa de 4%, enquanto a decomposição da celulose e lignina foi iniciada em torno de 200 até 425 °C, com redução de massa de 49,55%. Houve uma perda de massa de 17,92%, associada à decomposição de resíduos, que pode estar relacionado aos resíduos inorgânicos existentes na composição da resina e do resíduo de açaí. A temperatura do índice de estabilidade térmica do material foi de cerca de 360 °C, superior ao encontrado para o resíduo.

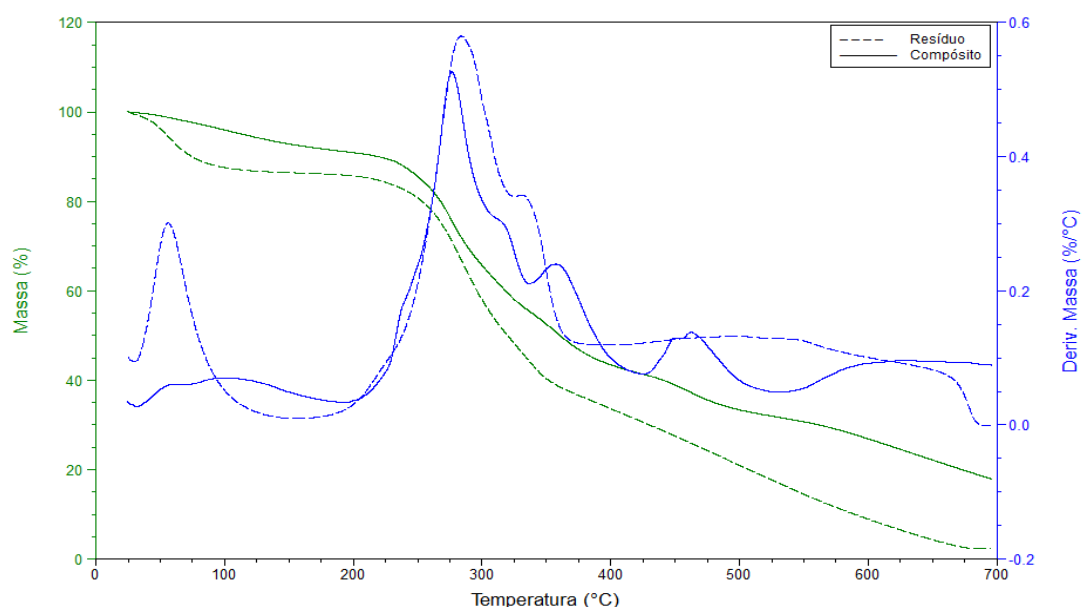


Figura 35. Curvas de TG e DTG do resíduo e do compósito de açaí.

4.2 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DOS COMPÓSITOS

4.2.1 Teor de Umidade

A média dos valores de teor de umidade em base seca dos corpos de prova foi de 12,42% \pm 0,24, cumprindo as recomendações da NBR 14810 (ABNT, 2013), pois seu valor encontra-se no intervalo de 5 a 13% (Tabela 7).

Tabela 7. Valores médios de teor de umidade.

Corpo de Prova	Teor de Umidade (%)
01	12,21
02	12,81
03	12,69
04	12,41
05	12,62
06	11,97
07	12,40
08	12,20
09	12,56
10	12,35
Média	12,42
Desvio Padrão	0,24

Zau *et al.* (2014) também obtiveram resultados satisfatórios aos requisitos normativos para compósitos poliméricos produzidos utilizando partículas de resíduos de madeira da Amazônia – Cumaru (*Dipteryx Odorata*) e resina poliuretana de mamona, com teores de umidade variando de 5 a 7,4%.

4.2.2 Densidade Aparente

Considerando a definição da NBR 14810 (ABNT, 2013), painéis de média densidade apresentam valor de densidade entre 551 a 750 kg/m³. A placa produzida com resíduo de açai, de acordo com a norma citada, pode ser classificada de alta densidade, pois apresentou valor de 999,55 kg/m³ \pm 23,4 (Tabela 8).

Além disso, a NBR 15316-2 (ABNT, 2015) também classifica o painel como painel de alta densidade para uso geral em condições úmidas (HDF. H), por ter apresentado densidade acima de 800 kg/m³.

Tabela 8. Valores obtidos no ensaio de densidade dos painéis.

Corpo de Prova	Densidade (kg/m³)	Varição Percentual (%)
01	981,58	1,8
02	1058,41	5,9
03	1024,07	2,5
04	995,02	0,5
05	1000,82	0,1
06	987,09	1,2
07	993,72	0,6
08	974,21	2,5
09	995,60	0,4
10	984,98	1,5
Média	999,55	
Desvio Padrão	23,4	
CV (%)	2,3	

O valor de densidade apresentado pelo painel foi superior ao valor estimado na metodologia adotada para o cálculo da massa necessária para a produção de painéis de média densidade, o que pode ser justificado considerando que nesta quantidade de massa calculada não foi considerada o valor da massa da resina poliuretana, somente a massa do resíduo de açaí.

Como a densidade do painel foi determinada a partir da pesagem dos corpos de prova, considerando, neste caso, a massa do resíduo e da resina, observa-se que tal fato pode ter contribuído para a obtenção de painéis de alta densidade com valores superiores aos estimados anteriormente.

Além disso, as densidades dos corpos de prova apresentaram baixo valor de coeficiente de variação (CV), igual a 2,3%, demonstrando a homogeneidade e uniformidade dos corpos de prova analisados, corroborando com Mesquita (2013) e Barbosa (2016).

Verificou-se também que o módulo máximo de variação percentual foi de 5,89%, ou seja, inferior ao valor máximo de tolerância em relação à densidade média, de $\pm 7\%$, estabelecido pela NBR 14810 (ABNT, 2013).

4.2.3 Inchamento

Para o ensaio de inchamento dos corpos de prova ensaiados, após 24 h de imersão em água, verificou-se que a média dos valores obtidos foi de $11,11\% \pm 3,5$ (Tabela 9), atendendo à tolerância máxima de 17% recomendada pela NBR 14810-2 (ABNT, 2013), para aplicação como painéis de 10 mm de espessura.

O valor médio encontrado também atendeu a NBR 15316-2 (ABNT, 2015), inferior a 12%, para uso geral em condições úmidas.

Tabela 9. Valores obtidos no ensaio de inchamento.

Corpo de Prova	Inchamento (%)
01	18,05
02	15,59
03	11,32
04	11,29
05	9,84
06	6,02
07	12,50
08	7,08
09	8,51
10	10,88
Média	11,11
Desvio Padrão	3,5

Os resultados também cumpriram os requisitos da norma internacional CS 236-66 (Commercial Standard, 1968), que estabelece valor máximo de 30 a 35% para inchamento, após 24 h, de painéis aglomerados destinados a uso interior.

Quirino (2010) produziu placa utilizando 1300 g de fibra de açaí e 15% resina poliuretana na proporção 1:1, polioli e pré-polímero, no qual determinou o valor de $3,76\% \pm 1,12$ para inchamento após 24 h, comprovando sua viabilidade técnica.

Resultados obtidos por Mesquita (2018) indicaram um inchamento de 24% para painel produzido somente com fibras da semente de açaí com tratamento e 15% de resina poliuretana à base do óleo de mamona, e valor de 35% para a placa constituída de fibras de açaí sem tratamento.

Para Pan e Zhong (2015), o menor valor de inchamento apresentado pelo compósito polimérico, no qual foi utilizado o caroço de açaí como reforço e não somente a fibra, pode estar relacionado à menor presença de fibras em painéis particulados.

O resultado de inchamento em espessura 24 h determinado nesta pesquisa aproxima-se de faixas de valores apresentadas na literatura, para painéis particulados produzidos utilizando diferentes materiais como reforço. Iwakiri *et al.* (2012b) encontraram para painéis aglomerados de resíduos de serrarias de espécies de madeiras tropicais da Amazônia e 8% de resina uréia-formaldeído, valores médios na faixa de 4,01 a 8,51% e 10,97 a 22,37%. Scatolino *et al.* (2017) obtiveram valores variando de 12,95 a 11,46% para painéis de resíduos de pergaminho de grão café em associação com madeira de eucalipto e 8% de uréia-formaldeído. Os resultados de inchamento 24 h, obtidos por Ferro *et al.* (2015), para painéis de partículas de madeira de Paricá aderidas com resina poliuretana de mamona (8%, 10% e 12%), variaram entre 20,4% e 23,4%.

Nogueira *et al.* (2018) produziram painéis com partículas de resíduo do ouriço da Castanha-do-Brasil e teores de resina de mamona de 20%, 25% e 30%, também alcançando valores de inchamento inferiores aos exigidos pela norma, variando de $3,18\% \pm 0,16$ a $6,57\% \pm 0,14$.

Resultados superiores aos apresentados neste trabalho avaliando painéis à base de resíduos lignocelulósicos foram encontrados por Fiorelli *et al.* (2011), para painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar produzidos utilizando de 10 a 15% de resina poliuretana de mamona. Rebelo (2016) produziu placas utilizando a fibra da Piaçava e concentrações de resina de mamona (15%, 17,5% e 20%), que apresentaram inchamento máximo de $19,11\% \pm 10,00$ e valor mínimo de $5,63\% \pm 1,55$. Marinho *et al.* (2012) obtiveram para compósito de partículas de bambu e resina poliuretana à base de óleo de mamona (10%, 15% e 20%), valores na faixa de $16,3\% \pm 0,58$ a $12,3\% \pm 1,69$.

4.2.4 Absorção

Como uma característica intrínseca dos materiais lignocelulósicos observa-se a capacidade de absorver a água dispersa no ar em forma de vapor (Marinho, 2012), resultando no aumento da umidade da fibra, e conseqüentemente, na sua biodegradação e alterações dimensionais no painel, além de enfraquecer as interações da interface partícula- matriz (PUPO, 2012).

Quanto à resina de mamona tem-se a sua característica hidrofóbica, responsável por preencher as cavidades das células lignocelulósicas, reduzindo assim, a susceptibilidade das partículas à absorção de umidade, tornando-as mais resistentes à absorção de água (BERTOLINI, 2011; ZAU *et al.*, 2014).

Para as análises de absorção de água em 24 h foi determinado o valor de $36,64\% \pm 6,7$, a partir da média dos corpos de prova descritos na Tabela 10. A NBR 14810-2 (ABNT, 2013) e a NBR 15316-2 (ABNT, 2015) não estabelecem parâmetros para os valores de absorção em água.

Tabela 10. Valores obtidos no ensaio de absorção.

Corpo de Prova	Absorção (%)
01	48,57
02	45,30
03	37,30
04	34,59
05	34,90
06	27,00
07	36,82
08	25,61
09	37,57
10	38,70
Média	36,64
Desvio Padrão	6,7

O resultado neste estudo encontra-se dentro da faixa de valores médios apresentados por Iwakiri *et al.* (2012b), que estudaram a produção de painéis aglomerados com a utilização de resíduos de serraria de *Eucalyptus maculata*,

Eucalyptus grandis, *Eucalyptus tereticornis* e a mistura das três espécies, utilizando 8% de resina uréia-formaldeído, cujos resultados médios apresentaram-se na faixa de 18,43 a 43,43%. Barbosa (2016), para painel de resíduo de açaí e resina poliuretana de mamona (10%, 12,5% e 15%), encontrou valor de absorção igual a $21,11\% \pm 3,68$.

Mendes *et al.* (2012) avaliando painéis aglomerados de bagaço de cana de açúcar associados a madeira de pinus, produzidos utilizando dois tipos de adesivos – fenol-formaldeído e uréia-formaldeído nas porcentagens 6, 9 e 12%, obtiveram valores médios variando de $64,17\% \pm 1,75$ a $49,82\% \pm 1,73$.

Alguns pesquisadores encontraram valores muito acima comparados aos apresentados nesta pesquisa. Soares, *et al.* (2017) analisando painéis aglomerados de baixa densidade produzidos a partir da associação do bagaço de cana de açúcar e 10% de resina uréia-formaldeído, obtiveram valor médio de absorção, após 24 h de imersão, de 132,8%. O valor determinado por Scatolino *et al.* (2017) foi de 138,1% para painéis particulados de resíduos de pergaminho de café e madeira de eucalipto, e 8% de uréia-formaldeído.

Valores inferiores foram apresentados por Santos (2013), que analisou compósitos de fibra de curauá com resíduo de madeira associados a 15% de resina poliuretana à base de óleo de mamona, variando de $25,1\% \pm 17,2$ a $8,7\% \pm 4,8$.

Lima (2012) obteve valores médios de absorção 24 h de $10,3\% \pm 1,16$ e $7,9\% \pm 0,44$, para painéis de madeira aglomerada de três espécies diferentes e 15% de resina poliuretana de mamona. Da Cunha *et al.* (2014) determinaram valor médio de 27,55% para painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* e resina uréia-formaldeído.

4.3 CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DOS COMPÓSITOS

4.3.1 Flexão Estática

O módulo de ruptura é uma propriedade relevante para verificar a aplicabilidade do painel com função estrutural.

A Tabela 11 mostra que valores médios obtidos para o módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE) dos painéis de resíduos de açaí e resina de mamona foram de $3,94 \text{ N/mm}^2 \pm 1,08$ e $486,78 \text{ N/mm}^2 \pm 70,45$, respectivamente.

Tabela 11. Resultados do ensaio de flexão estática e módulo.

	MOR	MOE
	(N/mm²)	(N/mm²)
Média	3,94	486,78
Desvio Padrão	1,08	70,45

A NBR 14810-2 (ABNT, 2013) especifica o valor mínimo para o módulo de ruptura de 15 N/mm² e módulo de elasticidade de 2050 N/mm², para painéis não estruturais para uso em condições úmidas (Tipo P3) de espessura entre 6 e 13 mm. Assim, os valores médios obtidos de MOR e MOE dos corpos de prova analisados foram inferiores aos padrões normativos.

Os valores também não atenderam aos parâmetros da NBR 15316-2 (ABNT, 2015), que estabelece valores mínimos de 27 N/mm² e 2700 N/mm² para os módulos de ruptura e elasticidade, respectivamente.

Verifica-se ainda que, os resultados apresentaram desempenho inferior às normas internacionais CS 236-66 (Commercial Standard, 1968) e ANSI 208.1 (1999), que determinam valores mínimos de MOR entre 11 e 16,5 N/mm². Para o valor de MOE, a CS 236-66 (Commercial Standard, 1968) estabelece valor mínimo de 1900 N/mm² e a ANSI 208.1 (1999) de 2450 a 2800 N/mm².

Os resultados apresentados pelo painel particulado de resíduo de açaí foram inferiores aos obtidos por Mesquita (2018), que atingiu valores de MOR de 17 N/mm² e MOE de 1080 N/mm², para placas de fibras de açaí tratadas, e valores de MOR de 13 N/mm² e MOE de 1130 N/mm², para placas de fibras não tratadas, ambas produzidas utilizando 15% de resina poliuretana de mamona.

De forma similar, Quirino (2010) ao produzir painel de fibra de açaí e resina de mamona, também apresentou resultados superiores aos apresentados no presente trabalho, de 15,23 N/mm² e 997,4 N/mm² referentes aos valores de MOR e MOE, respectivamente.

Quanto ao baixo valor do MOE do painel de resíduos de açaí comparado aos valores apresentados pelos painéis de fibras de açaí, Mesquita (2018) ressalta o comportamento dúctil e elástico das fibras, relacionando-os as suas características químicas e anatômicas, bem como a alta resistência e capacidade de deformação apresentadas por estes painéis constituídos de fibras de açaí.

Outro fator importante está relacionado ao teor de umidade necessário para a compactação do painel, conforme já foi explicado anteriormente. Desta forma, Kollmann *et al.* (1975) destaca que a umidade presente no painel, proveniente do resíduo ou resina, aumenta a transferência de calor para sua parte interna durante o processo de prensagem, bem como diminui a resistência à compressão do compósito, resultando na redução da pressão específica necessária para a compactação.

Além disso, a quantidade de resina também pode ter contribuído para o baixo valor de resistência à ruptura, pois a resina utilizada em excesso na produção do painel faz com que predomine uma matriz polimérica frágil e sem resistência a forças de tração (CALLISTER, 2002).

No que se refere à composição química, na Tabela 12 são apresentados os teores de composição química dos resíduos de açaí comparados a outros materiais encontrados na literatura.

Tabela 12. Comparação da composição química dos resíduos de açaí e outras fibras naturais.

Material	Extrativos (%)	Celulose (%)	Cinzas (%)	Lignina (%)	Literatura
Resíduo de Açaí <i>Euterpe Precatória</i>	16,64 ± 0,73	36,13 ± 4,32	1,57 ± 0,02	47,92 ± 4,41	Barbosa (2016)
Fibra de Açaí <i>Euterpe Precatória</i>	-	73,92	-	10,16	Quirino (2010)
Fibra de Açaí <i>Euterpe Oleracea</i>	-	46,51	-	30,35	Mesquita (2013)
Fibra de Cumaru <i>Dipteryx Odorata</i>	18,32 ± 1,24	46,80 ± 1,42	1,72 ± 0,15	34,29 ± 0,26	Zau <i>et al.</i> (2014)
Fibra de Amapá <i>Brosimum Parinarioides</i>	11,19 ± 0,56	50,97 ± 2,28	1,93 ± 0,00	29,29 ± 0,002	Lima (2012)

Nota-se que, o resíduo de açaí (caroço + fibra) estudado por Barbosa (2016), apresentou valor inferior de teor de celulose quando comparado à fibra de açaí, conforme mostrado nos trabalhos de Quirino (2010) e Mesquita (2013). Zau *et al.* (2014) e Lima (2012) também encontraram quantidades superiores de celulose ao analisar a fibra de cumaru e de amapá.

De acordo com Yan *et al.* (2016), compósitos constituídos de material de alto teor de celulose tendem a apresentar melhores propriedades mecânicas. Assim, o percentual de celulose do resíduo de açaí pode ter influenciado o baixo desempenho mecânico do painel, objeto de estudo na presente pesquisa.

4.4 CARACTERIZAÇÃO TÉRMICA DOS COMPÓSITOS

4.4.1 Condutividade

A partir da Figura 36 é possível comparar a média dos resultados de condutividade térmica obtidos para as amostras de MDF sem e com resina acrílica de $0,248 \text{ W/mK} \pm 0,01$ e $0,246 \text{ W/mK} \pm 0,01$, respectivamente. Considerando que os valores encontrados são próximos, optou-se pela aplicação da resina acrílica na superfície do material de contato para evitar a possível penetração de água na amostra, durante a realização do ensaio.

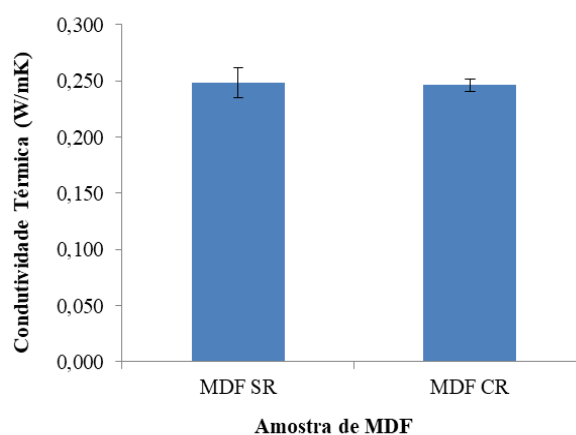


Figura 36. Valores médios de condutividade térmica para as amostras de MDF sem e com resina acrílica.

Adotou-se, portanto, o valor de condutividade para o MDF de $0,246 \text{ W/mK} \pm 0,01$, no qual encontra-se próximo ao valor apresentado pela NBR 15220-2 (ABNT 2005) para aglomerado de fibras de madeira (denso) de $0,20 \text{ W/mK}$ para densidade de 850 a 1000 kg/m^3 . Determinou-se também a condutividade para o compósito de densidade $999,55 \text{ kg/m}^3$ igual a $0,398 \text{ W/mK} \pm 0,02$. Ambos os resultados são mostrados na Figura 37.

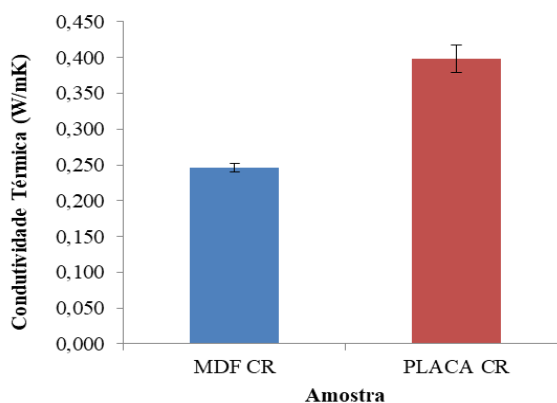


Figura 37. Valores médios de condutividade térmica para as amostras de MDF e Placa com resina.

Além dos valores médios de condutividade, também foram obtidos os valores de efusividade e difusividade para a placa e o MDF, conforme Tabela 13.

Tabela 13. Resultados do ensaio de condutividade térmica.

	Condutividade (W/mK)	Efusividade (Ws ^{1/2} /m ² K)	Difusividade (m ² /s) (10 ⁻⁷)
PLACA	0,398 ± 0,02	771,328 ± 23,55	2,66 ± 0,097
MDF	0,246 ± 0,01	575,892 ± 7,72	1,83x ± 0,034

Comparando os dois materiais, observou-se que o compósito apresentou maior condutividade, bem como maior efusividade e difusividade, sugerindo ser menos isolante em relação ao MDF. Para Vidil *et al.* (2016), materiais que apresentam baixa condutividade térmica tendem a ter alta capacidade de isolante térmico.

Tal fato indica, ainda, uma possível maior absorção ou refletividade do MDF, inferindo em uma menor liberação da radiação solar.

Incropera *et al.* (2007) destacam que materiais com elevadas difusividades e efusividades possuem a capacidade de responder rapidamente a mudanças nas condições térmicas a eles impostas, enquanto materiais com reduzidas difusividades e efusividades responderão mais lentamente, levando mais tempo para atingir uma condição de equilíbrio.

O maior valor de condutividade térmica apresentado pelo compósito pode ser explicado, ainda, considerando que esse valor apresenta uma forte correlação linear com

a densidade do painel. Vidil *et al.* (2016) ao determinar valores de condutividade que variaram de 0,135 a 0,152 W/mK, para painéis de partículas de casca de coco com densidade de 330 a 410 kg/m³, verificou que quanto maior a densidade aparente do material, maior é a condutividade térmica, ou seja, quanto mais leves as placas, mais vazios elas contêm.

Desta forma, materiais que possuem densidades elevadas são caracterizados por calores específicos com valores pequenos, e conseqüentemente, maiores valores de condutividade térmica (INCROPERA *et al.*, 2007).

Incropera *et al.* (2007) destacam que essa condutividade depende também do processamento do material, bem como, das propriedades, da natureza e da fração volumétrica de ar ou espaços.

Fiorelli *et al.* (2017) ao analisar painéis aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar, curauá e fibras de juta, de densidade média de 550 kg/m³, obteve valor de condutividade inferior ao encontrado no presente trabalho, cujo valor médio foi de 0,14 W/mK.

Da mesma forma, os resultados apresentados por Zhou *et al.* (2010) para painéis fabricados com fibras do caule do algodão de densidade de 150 a 450 kg/m³ mostraram valores de condutividade térmica na faixa de 0,059 a 0,082 W/mK.

Os valores de condutividade de alguns materiais lignocelulósicos de baixa densidade, apresentados anteriormente, foram menores em relação ao determinado no presente trabalho, o que pode estar relacionado à maior densidade aparente dos painéis, a natureza dos materiais vegetais utilizados e/ou o processo utilizado (VIDIL *et al.*, 2016).

Além disso, o valor de condutividade do compósito também foi superior ao apresentado por alguns isolantes térmicos, tais como, lã de rocha, lã de vidro, poliestireno expandido moldado, poliestireno extrudado e espuma rígida de poliuretano, com densidades entre 10 a 200 kg/m³, cujos valores variam de 0,030 a 0,045 W/mK. Sendo maior também que o valor apresentado por outro material comercial, o policloreto de vinila (PVC), de densidade de 1200 a 1400 kg/m³ e condutividade de 0,20 W/mK. (NBR 15220-2, ABNT 2005).

Desta forma, Wang (1988) reforça que o compósito não poderia ser aplicado como material isolante, pois o valor de sua condutividade foi maior que 0,25 W/mK.

Ainda corroborando com a NBR 15220-2 (ABNT 2005), verificou-se também que o valor de condutividade da placa foi inferior ao valor apresentado por alguns

plásticos, como borrachas sintéticas, poliamidas, poliésteres e polietilenos, com densidades variando de 900 a 1700 kg/m³, e condutividade igual a 0,40 W/mK.

4.4.2 Termografia de Infravermelho (Infrared – IR)

Comparando os valores médios de temperaturas superficiais do compósito e do MDF, observou-se que ambos os materiais apresentaram temperaturas superficiais próximas (Figura 38). Sendo que, em alguns momentos dos dias de ensaios foi possível verificar que o compósito apresentou menores valores de temperatura superficial.

As menores temperaturas na superfície do compósito podem ser justificadas também pelo uso da resina na produção do painel, reforçando a potencialidade do poliuretano como isolante térmico (LOPES, 2009; MICHELS *et al.*, 2008).

Enquanto que, as maiores temperaturas superficiais apresentadas pelo MDF implica em uma menor emissividade de calor, e possivelmente, maior absorção ou refletividade e melhores condições de respostas térmicas, corroborando com os resultados apresentados no ensaio de condutividade térmica.

Observando a Figura 38, nota-se que a máxima temperatura superficial do compósito foi de 76,27 °C no dia 16 de outubro, no horário de 12:30 h e temperatura do ar de 31,78 °C. Já a menor temperatura superficial foi de 28,63 °C, no dia 22 de novembro, no horário de 14:30 h e temperatura do ar de 30,95 °C. Esses resultados foram próximos aos encontrados por Barbosa (2016).

Enquanto que, o MDF apresentou temperatura superficial máxima de 79,65 °C, no dia 16 de outubro, no horário de 12:30 h e temperatura do ar de 31,78 °C. A mínima temperatura superficial foi de 31,33 °C, no dia 22 de novembro, referente ao horário de 14:30 h e temperatura do ar de 30,95 °C.

Nota-se que, as máximas temperaturas superficiais ocorreram no horário de 12:30 h para ambos os materiais, enquanto as mínimas temperaturas ocorreram no horário de 14:30 h, o que pode estar relacionado aos horários de maior e menor incidência da radiação solar direta sobre o material.

Machado *et al.* (2012) destaca que, além da incidência solar, as interferências da dinâmica de nebulosidade no momento dos registros também podem influenciar as respostas térmicas. Tal fato pode explicar a ocorrência de temperaturas máximas e mínimas para ambos os materiais em temperaturas do ar próximas em diferentes dias de ensaio.

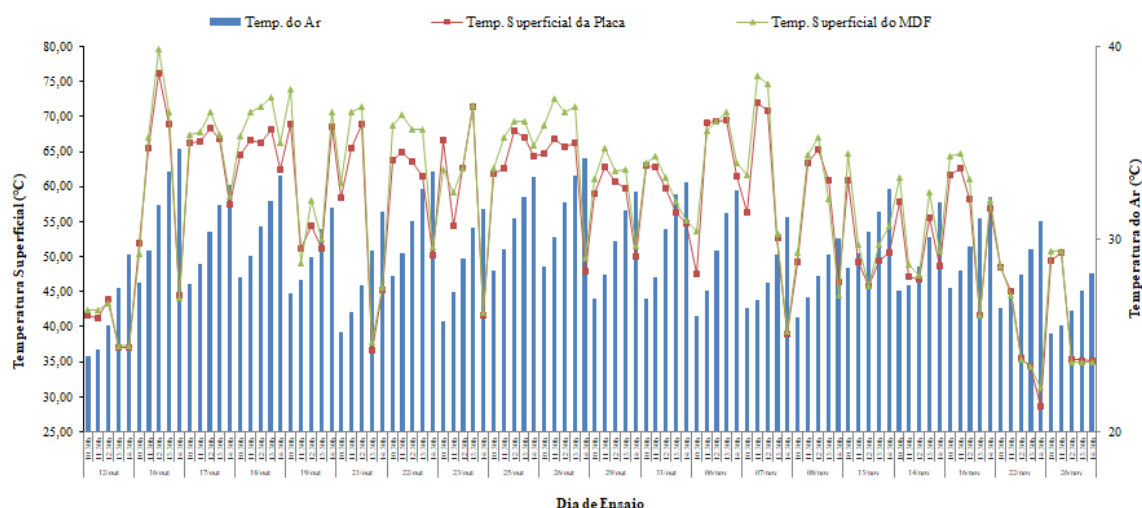


Figura 38. Temperatura superficial do compósito e MDF, e temperatura do ar.

A Tabela 14 apresenta os resultados da ANOVA para as temperaturas superficiais da placa e do MDF. Em termos de comparação, constatou-se que não existe variação entre suas temperaturas superficiais, de forma que o fator tipo de material apresentou p-Valor superior a 0,05, sugerindo aceitar a hipótese de que ambos os materiais são iguais em relação a suas temperaturas superficiais. Verificou-se também que apenas o horário foi um fator significativo para as condições estudadas, conforme o p-Valor destacado (p-Valor < 0,05).

Tabela 14. Resultados da análise ANOVA para os valores de temperatura superficial.

Fatores	GL	SQ	MQ	F	p-Valor
Material	1	167,93	167,93	1,41	0,24
Horário	4	3016,71	754,18	6,31	0,00
Interações	4	7,55	1,89	0,02	1,00
Erro	190	22698,61	119,47		
Total	199	25890,80			

As diferenças dos valores de temperatura superficial máximo e mínimo obtidos para cada horário dos dias de ensaio são apresentadas na Figura 39. As maiores variações de temperaturas superficiais do painel e do MDF foram de aproximadamente 5,16 °C (variando a temperatura entre 58,78 °C e 63,94 °C), no dia 25 de outubro às 10:30 h, e 5,62 °C (variando a temperatura entre 68,18 °C e 73,80 °C), no dia 23 de outubro às 13:30 h, respectivamente. Enquanto que, a menor variação de temperatura

superficial para o compósito foi de 0,04 °C (variando a temperatura de 36,96 °C a 37 °C), no dia 12 de outubro às 14:30 h, e para o MDF foi de 0,08 °C (variando a temperatura de 43,26 °C a 43,34 °C), no dia 12 de outubro às 12:30 h.

Portanto, além de apresentarem valores de temperatura superficial próximos, as variações de temperaturas superficiais mínimas e máximas também permaneceram próximas, de forma que, tanto os valores apresentados pelo compósito quanto pelo MDF foram baixos, indicando uma maior estabilidade desses materiais, corroborando com Bezerra (2003).

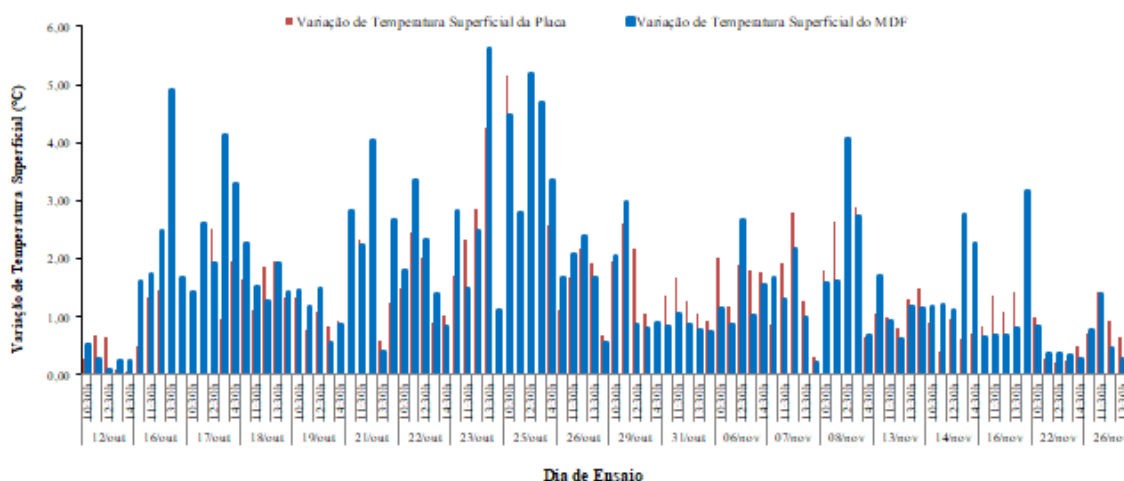


Figura 39. Variação de temperatura superficial máxima e mínima do compósito e do MDF para cada dia de ensaio.

Para as diferenças de temperaturas superficiais máximas e mínimas obtidas para cada horário dos dias de ensaio, não houve fator de significância (Tabela 15) com p-Valor superior a 0,05 para todas as condições estudadas, sugerindo que não existe diferença significativa entre as variações de temperaturas superficiais de ambos os materiais analisados.

Tabela 15. Resultados da análise ANOVA para as amplitudes térmicas referentes às temperaturas superficiais.

Fatores	GL	SQ	MQ	F	p-Valor
Material	1	2,44	2,44	2,12	0,15
Horário	4	9,64	2,41	2,10	0,08
Interações	4	1,34	0,33	0,29	0,88
Erro	190	218,48	1,15		
Total	199	231,90			

Analisaram-se também os valores médios de temperatura superficial das faixas do painel de resíduo de açaí, faixa superior (F1 - P), faixa central (F2 - P) e faixa inferior (F3 - P), verificando que as três faixas não apresentaram grandes variações de temperatura, com temperatura superficial mínima de 28,40 °C referente à faixa F1 - P, no dia 22 de novembro às 14:30 h, e máxima de 77,16 °C para a faixa F2 - P, no dia 16 de outubro às 12:30 h, conforme Figura 40.

Isso provavelmente está relacionado com a distribuição de calor uniforme na placa, devido a uma mistura mais homogênea das partículas e resina alcançada no processamento do compósito (BARBOSA, 2016).

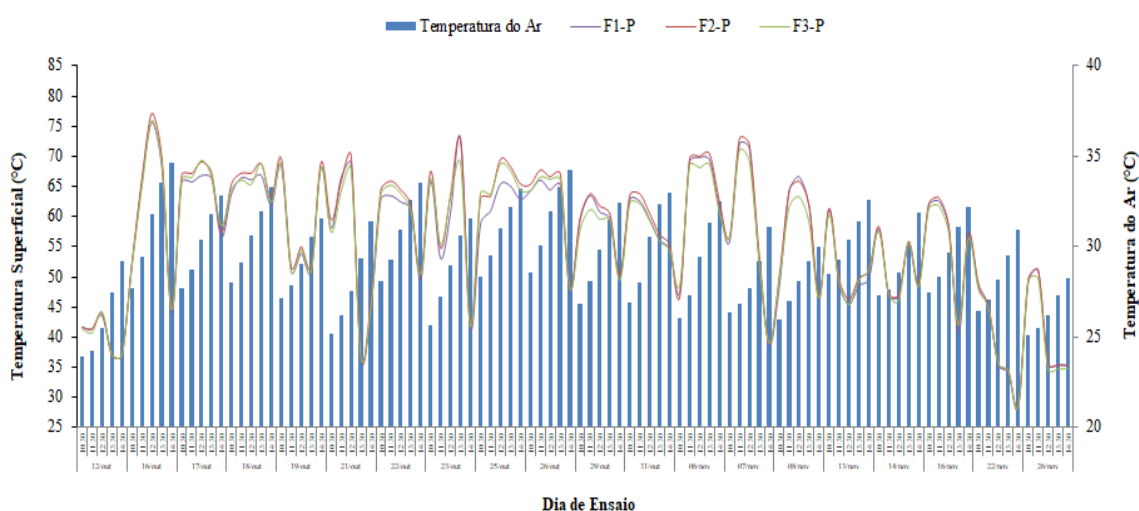


Figura 40. Valores médios de temperatura superficial das faixas do compósito, e temperatura do ar.

Quanto à ANOVA, somente o horário dos registros fotográficos foi significativo para as condições estudadas (p -Valor $< 0,05$), como mostra a Tabela 16. De forma que, as temperaturas superficiais das faixas e a interação entre os fatores analisados não apresentaram significância em relação à variação das temperaturas superficiais das três faixas analisadas.

Tabela 16. Resultados da análise ANOVA para os valores das faixas de temperatura superficial.

Fatores	GL	SQ	MQ	F	p-Valor
Faixa de Temperatura	2	51,89	25,95	0,24	0,79
Horário	4	4104,83	1026,21	9,31	0,00
Interações	8	3,51	0,44	0,00	1,00
Erro	285	31413,55	110,22		
Total	299	35573,79			

4.4.3 Mapeamento das Superfícies Superior e Inferior com Termômetro a Laser

As diferenças dos valores médios de temperaturas obtidas nas superfícies superior e inferior do compósito e do MDF, após sua exposição direta à radiação solar, indicaram uma possível semelhança de ambos os materiais por apresentarem valores de amplitude térmica próximos, embora as maiores amplitudes tenham sido do MDF, inferindo maior capacidade de isolamento térmico desse material.

Observando a Figura 41, nota-se que a máxima amplitude térmica da placa foi de 9 °C (com temperatura superior de 67,4 °C e temperatura inferior de 58,4 °C), no dia 23 de outubro às 10:30 h e temperatura do ar de 25,7 °C. Já o MDF apresentou máxima amplitude térmica de 15,72 °C (com temperatura superior de 80,0 °C e temperatura inferior de 64,28 °C), no dia 16 de outubro às 12:30 h e temperatura ambiente de 31,78 °C.

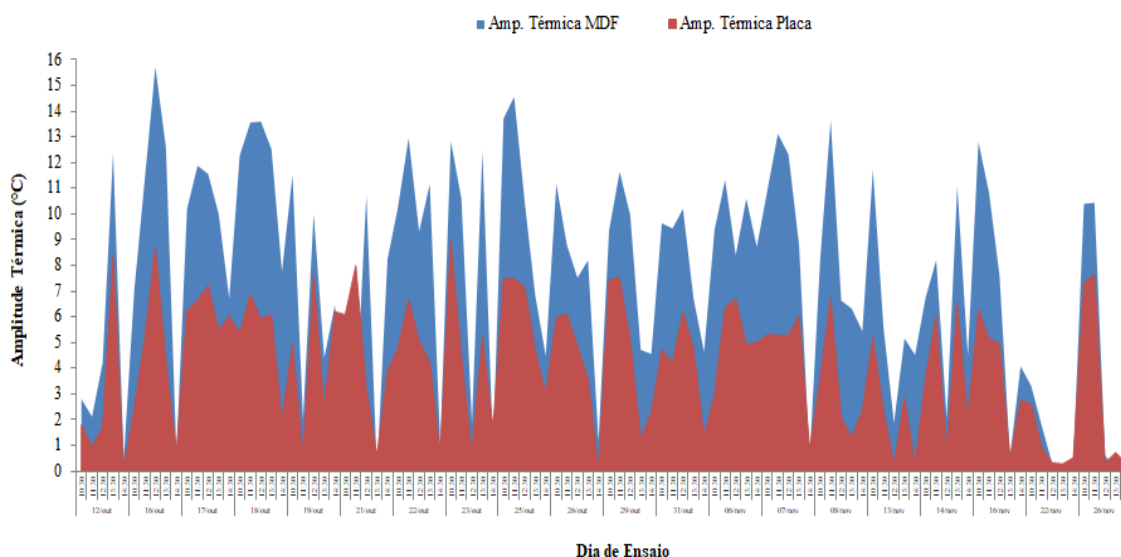


Figura 41. Amplitude térmica da placa e do MDF em relação à suas temperaturas superficiais.

Os valores determinados pela ANOVA (Tabela 17) mostraram que, apesar dos fatores placa e MDF ou os horários dos dias de ensaio tenham sido significativos para a análise realizada, a interação entre essas condições determinou p-Valor maior que 0,05, comprovando que não existe variação das amplitudes térmicas da placa ou do MDF e horários dos ensaios, ratificando a similaridade de ambos os materiais quanto aos seus valores de amplitude térmica.

Tabela 17. Resultados da análise ANOVA para os valores de amplitude térmica.

Fatores	GL	SQ	MQ	F	p-Valor
Material	1	578,75	578,75	55,94	0,00
Horário	4	511,72	127,93	12,37	0,00
Interações	4	41,98	10,49	1,01	0,40
Erro	190	1965,77	10,35		
Total	199	3098,22			

5 CONCLUSÕES

Diante dos resultados apresentados e discutidos, têm-se as seguintes afirmações:

- Os painéis particulados de alta densidade, produzidos utilizando resíduos de caroço de açaí, atenderam aos requisitos normativos de propriedades físicas para aplicação como painel de divisória interna em edificações, porém apresentaram propriedades mecânicas inferiores aos valores exigidos por norma.
- Quanto ao ensaio de condutividade térmica do compósito e do MDF, observou-se que o compósito apresentou maior condutividade, sugerindo ser menos isolante em relação ao MDF.
- Na análise de termografia foram determinados valores próximos de temperaturas superficiais para o compósito e MDF, sugerindo aceitar a hipótese de que ambos os materiais são similares em relação a suas temperaturas superficiais. Além disso, suas amplitudes térmicas mínimas e máximas também permaneceram próximas, de forma que, tanto os valores de amplitude térmica da temperatura superficial do compósito quanto do MDF foram baixos, indicando uma maior estabilidade desses materiais. Determinou-se também os valores médios de temperatura superficial das faixas do painel de resíduo de açaí, verificando que as três faixas não apresentaram grandes variações de temperaturas, devido à distribuição de calor uniforme na placa.
- As diferenças dos valores médios de temperaturas obtidas nas superfícies superior e inferior para o compósito e MDF, após sua exposição direta à radiação solar, corroboraram para uma possível similaridade de ambos os materiais quanto aos seus valores de amplitude térmica.
- Por fim, a utilização de partículas de resíduos de açaí na produção de compósitos poliméricos contribui, principalmente, para a sustentabilidade nas edificações com a redução de impactos ambientais causados por resíduos agroindustriais. Desta forma, resíduos que seriam descartados na forma de lixo podem ser reaproveitados quanto ao seu potencial uso pela indústria da construção civil na produção de novos materiais.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Visando consolidar e complementar o conhecimento científico apresentado no presente trabalho tem-se como propostas para trabalhos futuros:

- Estudar a possibilidade de ser realizado algum tipo de tratamento nas partículas de resíduos de açaí antes da produção do painel para melhorar suas propriedades mecânicas, objetivando atender aos requisitos para uso como divisória interna em edificações.
- Considerando que os resultados determinados nos testes de análise térmica da placa foram similares aos apresentados por um material de uso industrial (MDF), deverão ser realizados novos testes para verificar outras possibilidades de aplicações desses painéis de resíduos de açaí, por exemplo, sua aplicação como eco-forro em protótipos simulando uma habitação da construção civil.
- Avaliar o desempenho acústico das placas em protótipos simulando uma edificação visando comparar os resultados obtidos com os valores mínimos exigidos pela norma de desempenho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADRIAZOLA, M. K. O. **Avaliação Experimental por meio de protótipos e por simulação de painéis de madeira para habitação de interesse social**. 2008. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

AGUIAR, M. O.; MENDONÇA, M. S. Morfo-anatomia da semente de *Euterpe precatória* Mart. (Palmae). **Revista Brasileira de Sementes**, v. 25, n. 1, p. 37-42, 2003.

AKCELRUD, L. **Fundamentos da ciência dos polímeros**. São Paulo: Manole, 2007.

ALMEIDA, A. V. C.; MELO, I. M.; PINHEIRO, I. S.; FREITAS, J. F.; MELO, A. C. S. Revalorização do caroço de açaí em uma beneficiadora de polpas do município de Ananindeua/PA: proposta de estruturação de um canal reverso orientado pela PNRS e logística reversa. **Gestão da Produção, Operações e Sistemas**, Bauru, Ano 12, n. 3, p. 59-83, jul./set. 2017.

AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI A208.1**: Mat-formed wood particleboard: Specification. Gaithersburg: National Particleboard Association, 1999.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM D1037**: Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle panel materials. Philadelphia: ASTM International, 1982.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D3878-01**: Standard terminology for composite materials. West Conshohocken: ASTM International, 2007.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS. **ASTM D7984**: Standard test method for measurement of thermal effusivity of fabrics using a modified transient plane source (MTPS) instrument. Philadelphia: ASTM International, 2016.

AQUINO, R. C. M. P. **Desenvolvimento de compósitos de fibras de piaçava da espécie *Attalea Funifera Mart* e matriz de resina poliéster.** 2003. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goitacazes, 2003.

ARAÚJO, L. C. R. **Mechanical and chemical characterization of elastomeric polyurethane materials based oleochemicals.** (1992). Master's Thesis. Institute of Physics and Chemistry of Sao Carlos, São Carlos: USP, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810:** Painéis de partículas de média densidade. **Parte 1:** Terminologia. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14810:** Painéis de partículas de média densidade. **Parte 2:** Requisitos e métodos de ensaio. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações. **Parte 2:** Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220:** Desempenho térmico de edificações. **Parte 3:** Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15316:** Painéis de fibras de média densidade. **Parte 2:** Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2015.

AZEVEDO, E. C. de. **Efeito da radiação nas propriedades mecânicas do adesivo de poliuretana derivado do óleo de mamona.** 2009. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BARBIRATO, G.; FIORELLI, J.; BARRERO, N. G.; PALLONE, E. M. J. A.; LAHR, F. A. R.; CRISTOFORO, A. L.; SEVASTANO JR., H. Painél aglomerado híbrido de casca de amendoim reforçado com partículas de madeira Itaúba. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 3, p. 685-697, jul. 2014.

BARBOSA, A. M. **Produção de compósitos poliméricos com resíduo de açaí para mitigação de efeitos térmicos em habitações na Amazônia.** 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

BELINI, U. L.; SAVASTANO JÚNIOR, H.; BARRERO, N. G.; SARTORI, D.; LEITE, M. K.; FIORELLI, J.; TOMAZELLO FILHO, M. Paineis multicamada com reforço de partículas de bambu. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 103, p. 421-427, set. 2014.

BERTOLINI, M. S. **Emprego de resíduos de Pinus sp tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona.** 2011. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Interunidades em Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BEZERRA, L. A. C. **Análise do desempenho térmico de sistema construtivo de concreto com EPS como agregado graúdo.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

BRASILEIRO, L. L.; MATOS, J. M. E. Revisão bibliográfica: reutilização de resíduos da construção civil e demolição na indústria da construção civil. **Cerâmica**, v.61, n.358, p.178-189, jun. 2015.

CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e tecnologia de materiais: Uma introdução**. 8. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2012.

CANEVAROLO JR, S.V. **Técnicas de caracterização de polímeros**. São Paulo: Artliber Editora, 2004.

CANEVAROLO JR, S. V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. 2.ed. São Paulo: Artliber Editora, 2006.

CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L.; CHAMMA, P. V. C. Avaliação de painéis produzidos a partir de resíduos sólidos para aplicação na arquitetura. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 19, n. 1, p. 47-53, 2009.

CARNEIRO, J. S.; CAVALCANTE, B. S.; SILVA, M. D. B.; SILVA, R. S. Estudo da viabilidade do aproveitamento energético da queima de caroços de açaí produzidos no município de Castanhal - PA. **Amazônia em Foco**, Castanhal, v. 2, n. 2, p. 47-63, jan./jun. 2013.

CARVALHO, A. G.; ANDRADE, B. G. de; CABRAL, C. P. T.; VITAL, B. R. Efeito da adição de resíduos de poda da erva-mate em painéis aglomerados. **Revista Árvore**, v. 39, n. 1, p. 209-214, 2015.

CÉSAR, A. A. S.; BUFALINO, L.; MACEDO, L. B. de; MESQUITA, R. G. A.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, L. M. Use of coffee plant stem in the production of conventional particleboards. **Key Engineering Materials**, v. 600, p. 703-708, 2014.

CÉSAR, A. A. S.; BUFALINO, L.; MENDES, L. M.; MESQUITA, R. G. A.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, R. F.; ANDRADE, L. M. F. Transforming rice husk into a high-added value product: potential for particleboard production. **Ciência Florestal**, v. 27, n. 1, p. 303-313, 2017.

CHA, J.; SEO, J.; KIM, S. Building materials thermal conductivity measurement and correlation with heat flow meter, laser flash analysis and TCi. **Building Environment and Materials Lab**, School of Architecture, Soongsil University, Seoul, Korea, 2011.

CHAHUD, E.; LAHR, F. A. R.; BLECHA, K. A.; NASCIMENTO, M. F. do; BERTOLINI, M. S. Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de madeira a partir de resíduos de podas de árvores urbanas. **Revista Cultura e Extensão USP**, Rio de Janeiro, v. 8, p. 109–122, 2012.

CHIERICE, G. O. Estudos de caracterização química e síntese de resinas poliuretanas utilizadas em bloqueio e pressurização em cabos telefônicos. In: **Encontro sobre materiais na indústria eletrônica e de telecomunicações Emiet**, Campinas-SP, 1984.

COMMERCIAL STANDARD. **CS 236-66**: Mat formed wood particleboard. 1968.

COSTA, S. P. B. M. **Isolamento acústico aéreo em campo de partições verticais em construção light steel framing, em habitações unifamiliares**. 2016. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2016.

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. Dissertação (Mestrado em zootecnia) - Faculdade de zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2013.

CUNHA, A. B. da; LONGO, B. L.; RODRIGUES, A. A.; BREHMER, D. R. Produção de painéis de madeira aglomerada de *Eucalyptus benthamii*, *Eucalyptus dunnii* e *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, v. 42, n. 102, p. 259-267, 2014.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Alternative castor oil-based polyurethane adhesive used in the production of plywood. **Materials Research**, v. 7, n. 3, p. 413-420, 2004.

DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana à base de mamona na fabricação de madeira compensada e aglomerada**. 2005. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ERENO, D. **Prótese de mamonas**. São Paulo: Pesquisa-Fapesp, 2003.

FAN, M.; NDIKONTAR, M. K.; ZHOU, X.; NGAMVENG, J. N. Cement-bonded composites made from tropical woods: Compatibility of wood and cement. **Construction and Building Materials**, v. 36, p. 135–140, 2012.

FERRO, F. S.; ICIMOTO, F. H.; SOUZA, A. M. de.; ALMEIDA, D. H. de.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, A. R. Produção de painéis de partículas orientados (OSB) com *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 43, n. 1, p. 313-320, jun. 2015.

FIGLIOLI, J.; LAHR, F. A. R.; NASCIMENTO, M. F.; SAVASTANO JR.; ROSSIGNOLO, J. A. Painéis de partículas à base de bagaço de cana e resina de mamona—produção e propriedades. **Acta Scientiarum**, v. 33, n. 4, p. 401-406, 2011.

FIGLIOLI, J.; CURTOLO, D. D.; BARRERO, N. G.; SAVASTANO JR., H.; PALLONE, E. M. J. A.; JOHNSON, R. Particulate composite based on coconut fiber and castor oil polyurethane adhesive: An eco-efficient product. **Industrial Crops and Products**, n. 40, p. 69-75, 2012.

FIGLIOLI, J.; GALO, R. G.; CASTRO JR., S. L.; BELINI, U. L.; LASSO, P. R. O.; SAVASTANO JR., H. Multilayer particleboard produced with agroindustrial waste and amazonia vegetable fibres. **Waste Biomass Valorization**, v. 8, p. 1-11, 2017.

FOREST PRODUCTS LABORATORY (FAO). **Wood handbook: wood as an engineering material**. 100. ed. Madison, WI: United States Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products, Laboratory, 2010.

FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. **Tecnologias e Materiais Alternativos de Construção**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2003.

FROTA, A. B. **Manual de conforto térmico**. 5.ed. São Paulo: Studio Nobel, 2001.

GUIMARÃES, B. M. R.; MENDES, L. M.; TONOLI, G. H. D.; BUFALINO, L.; MENDES, R. F.; GUIMARÃES JR., J. B. Chemical treatment of banana tree pseudostem particles aiming the production of particleboards. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 38, n.1, p. 43-49, 2014.

GUIMARÃES, Í. L. **Aproveitamento de resíduo de soja para produção de painéis MDP (Medium Density Particleboard)**. 2017. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Regional Jataí, Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2017.

GUIMARÃES JR., J. B.; XAVIER, M. M.; SANTOS, T. S.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Inclusão de resíduo da cultura de sorgo em painéis aglomerados de eucalipto. **Pesquisa Florestal Brasileira**, v. 36, n. 88, p. 435- 442, 2016.

HEEBINK, B. G.; LEHMANN, W. F.; HEFTY, F.V. **Reducing particleboard pressing time: exploratory study**. Forest Products Laboratory, Madison, 1972.

HULL, D.; CLYNE, T. W. **An Introduction to Composite Materials**. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1996.

IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores (brasilian tree Industry). **Desempenho industrial (industrial performance)**. Poyry Consultoria em Gestão e Negócios Ltda, 2016. Disponível em:

<http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>. Acesso em: 07 out. 2017.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (Org). **Produção da extração vegetal e silvicultura**. IBGE, Rio de Janeiro, v. 32, p. 1-8, 2017. Disponível em: <www.ibge.gov.br>. Acesso em: 12 jan. 2019.

IMAZON; SEBRAE. **Boas práticas para manejo florestal e agroindustrial de produtos florestais não madeireiros: açaí, andiroba, babaçu, castanha-do-brasil, copaíba e unha-de-gato.** Belém, PA: Imazon; Manaus, AM: Sebrae-AM, 2010. Disponível em: <<http://amazon.org.br/PDFimazon/Portugues/livros/BoasPraticasManejo.pdf>>. Acesso em 26 out. 2017.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S. **Fundamentos da Transferência de Calor e de Massa.** 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2007.

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

IWAKIRI, S.; CUNHA, A. B.; PRATA, J. G.; BRAZ, R. L.; CASTRO, V. G.; KAZMIERCZAK, S.; PINHEIRO, E.; RANCATTI, H.; SANCHES, F. L. Produção de painéis compensados com lâminas de madeira de *Sequoia sempervirens* e resina ureiaformaldeído. **Revista Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 4, p. 809-816, 2012a.

IWAKIRI, S.; VIANEZ, B. F.; WEBER, C.; TRIANOSKI, R.; ALMEIDA, V. C. Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia. **Acta Amazônica**, Manaus, v. 42, n. 1, p. 59-64, 2012b.

IPCC. Intergovernmental Panel On Climate Change. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.** Cambridge: Cambridge University Press, p. 582, 2012. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change.

JESUS, J. H. de. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC).** 2000. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Escola de Engenharia de São Paulo, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

JOSHI, S. V.; DRZAL, L. T.; MOHANTY, A. K.; ARORA, S. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites?. **Composites**, part A, v. 35, p. 371–376, 2004.

KABIR, M. M.; WANG, H.; LAU, K. T.; CARDONA, F. Chemical Treatments on Plant – Based Natural Fibre Reinforced Polymer. Composites: An Overview. **Composites: Part B**, v. 43, p. 2883 – 2892, 2012.

KELLY, M. W. **A critical literature review of relationship between processing parameters and physical properties of particleboard.** U.S. Department of Agriculture: Forest Products Laboratory Madison U.S (General Technical Report, FPL-10), 1977.

KIKUCHI T. Y. S.; LINS, A. L. F. de A. Caracterização das fibras foliares de *desmoncus orthacanthos* e *desmoncus polyacanthos* (arecaceae). **64º Congresso nacional de botânica.** Museu Paraense Emilio Goeldi. Belo Horizonte, 2013.

KOLLMANN, F.; KENZI, P.; STAMM, A. **Principles of wood science and technology II.** Wood based materials. New York: USA, 1975.

KUVANDYKOVA D. A new transient method to measure thermal conductivity of asphalt. **C-Therm Technol**, v. 2, p. 1-10, jul. 2010.

LAMBERTS, R.; GHISI, E.; ABREU, A. L. P. de; CARLO, J. C. **Desempenho térmico de edificações.** Apostila da disciplina: Desempenho Térmico de Edificações Departamento de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Florianópolis, 2005.

LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia.** São Paulo: Edgar Blucher, 2006.

LIMA, M. D. F. **Utilização de resíduos da espécie *Dipteryx polyphylla* (Cumarurana), *Dipteryx odorata* (Cumaru) e *Brosimum parinarioides* (Amapá) na produção de painéis de madeira aglomerada com resina poliuretana à base de óleo da mamona.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

LOPES, E. M. L. **Desempenho térmico da espuma poliuretana a base de óleo de mamona utilizada em componentes da edificação (subcoberturas): estudo em Ilha Solteira, SP.** 2009. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Arquitetura e Construção, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2009.

MACHADO, N. S.; TINÔCO, I. F. F.; ZOLNIER, S.; MOGAMI, C. A.; DAMASCENO, F. A.; ZEVIANI, W. M. Resfriamento da cobertura de aviários e seus efeitos na mortalidade e nos índices de conforto térmico. **Revista Nucleus**, v. 9, n. 2, p. 59-73, 2012.

MALONEY, T. M. **Modern particleboard e dry-process fiberboard.** 3 ed. San Francisco: Miller Freeman, 1989.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia.** 3. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2003.

MANO, E. B.; MENDES, L. C. **Introdução a polímeros.** 2. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

MARINHO, N. P.; NASCIMENTO, E. M.; NISGOSKI, S.; MAGALHÃES, W. L. E.; NETO, S. C.; AZEVEDO, E. C. Caracterização física e térmica de compósito de poliuretano derivado de óleo de mamona associado com partículas de bambu. **Polímeros**, 2012.

MARINUCCI, G. **Materiais Compósitos Poliméricos.** São Paulo: Artliber Editora, 2011.

MARTINS, M. A.; MATTOSO, L. H. C.; PESSOA, J. D. C. Comportamento Térmico e Caracterização Morfológica das Fibras de Mesocarpo e Carçoço do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura (Impresso)**, v. 31, p. 1150-1157, 2009.

MARTORANO, L. G.; PEREIRA, L.C.; COSTA, A. C. L. Variabilidade da precipitação pluviométrica em Belém-Pará associada ao fenômeno “EL NIÑO”. In: **Anais do VII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, São Paulo, 1992.

MATTOS, R. L. G; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. **Painéis de madeira no Brasil: panorama e perspectivas**. BNDES setorial, Rio de Janeiro, n. 27, p. 121-156, mar. 2008.

MELO, R. R. **Propriedades físico-mecânicas e resistência a biodeterioradores de chapas aglomeradas constituídas por diferentes proporções de madeira e casca de arroz**. 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JR., J. B.; SANTOS, R. C. dos; BUFALINO, L. The adhesive effect on the properties of particleboards made from sugar cane generated in the distiller. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.32, n.2, p.209-218, 2009.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; ABRANCHES, R. A. S.; SANTOS, R. C. dos; GUIMARÃES JR., J. B. Painéis aglomerados produzidos com bagaço de cana em associação com madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 38, n. 86, p. 285-295, jun. 2010.

MENDES, R. F.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JR., J. B.; SANTOS, R. C. dos; CÉSAR, A. A. S. Efeito da associação de bagaço de cana, tipo e teor de adesivo na produção de painéis aglomerados com madeira de pinus. **Ciência Florestal**, v. 22, n. 1, p. 187-196, 2012.

MESQUITA, A. L. **Estudos de processos de extração e caracterização de fibras do fruto do açaí (Euterpe oleracea MART.) da Amazônia para produção de ecopainel de partículas homogêneas de média densidade.** 2013. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia – Faculdade de Engenharia Química, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

MESQUITA, A. L.; BARRERO, N. G.; FIORELLI, J.; CHRISTOFORO, A. L.; FARIA, L. J. G. de.; LAHR, F. A. R. Eco-particleboard manufactured from chemically treated fibrous vascular tissue of acai (Euterpe oleracea Mart.) Fruit: A new alternative for the particleboard industry with its potential application in civil construction and Furniture. **Industrial Crops and Products**, v. 112, p. 644-651, 2018.

MICHELS, C.; LAMBERTS, R.; GUTHS, S. Evaluation of heat flux reduction provided by the use of radiant barriers in clay tile roofs. **Energy and Buildings**, v. 40, n. 4, p. 445-451, 2008.

MOIZÉS, F. A. **Painéis de bambu, uso e aplicações: uma experiência didática nos cursos de Design em Bauru, São Paulo.** 2007. Dissertação (Mestrado em Desenho Industrial) - Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2007.

MOKALOBA N, BATANE R. The effects of mercerization and acetylation treatments on the properties of sisal fiber and its interfacial adhesion characteristics on polypropylene. **International Journal of Engineering, Science and Technology**, v. 6, n. 4, p. 83-97, 2014.

MOURA M. F. S. F.; MORAIS, A. B.; MAGALHÃES, A. G. **Materiais Compósitos: Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico.** Porto: Editora Pubblindústria, Edições Técnicas, 2005.

MUÑIZ-MIRET, N.; VAMOS, R.; HIRAOKA, M.; MONTAGNINI, F.; MENDELSON, R. O. The economic value of managing the Açaí palm (Euterpe oleracea Mart.) in floodplains of the Amazon estuary. **Forest Ecology and Management**, Pará, Brazil, v. 87, p. 163-173, 1996.

NASCIMENTO, M. F.; BERTOLINI, M. S.; PANZERA, T. H.; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Painéis OSB fabricados com madeiras da caatinga do nordeste do Brasil. **Ambiente construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 1, p. 41-48, jan./mar. 2015.

NASCIMENTO, W. M. O. Açai (Euterpe oleracea Mart.). **Informativo Técnico Rede de Sementes da Amazônia**, Manaus, n. 18, 2008.

NEGRÃO, W. H.; SILVA, S. A. M. da; CHRISTOFORO, A. L.; LAHR, F. A. R. Painéis aglomerados fabricados com mistura de partículas de madeiras tropicais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v.14, n. 3, p.103-112, jul./set. 2014.

NOGUEIRA, B. R.; CHINELLATO, A.; ORTIZ, A. V.; PARVEEN, A.; RANGARI, V. K.; MOURA, E. A. B. Thermal and morphological behavior of evo/piassava fiber composites. Characterization of minerals, Metals, and Materials. In: **TMS, The Minerals, Metals and Materials Society**, New York, p. 373-380, 2012.

NOGUEIRA, I. M. S.; LAHR, F. A. R.; GIACON, V. Desenvolvimento e caracterização de painéis de partículas aglomeradas utilizando o resíduo do ouriço da Castanha-do-Brasil (*Bertholletia excelsa*) e resina poliuretana derivada do óleo da mamona. **Revista Matéria**, v. 23, n. 1, 2018.

OKINO, E. Y. A.; ANDAHUR, J. P. V.; SANTANA, M. A. E.; SOUZA, M. R. de. Physico-mechanical properties of chemically modified sugar cane bagasse partideboards. **Scientia Forestalis**, n. 52, p. 35-42, dez. 1997.

PAN, Y.; ZHONG, Z. The effect of hybridization on moisture absorption and mechanical degradation of natural fiber composites: An analytical approach. **Composites Science and Technology**, v. 110, p. 132-137, 2015.

PAULA, C. R. P. de. **Caracterização de compósitos de poliuretano de óleo vegetal com madeira de Pinus taeda e fibras de Agave sisalana**. 2017. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

PAULESKI, D. T.; HASELEIN, C. R.; SANTINI, E. J.; RIZZATTI, E. Características de compósitos laminados manufaturados com polietileno de alta densidade (PEAD) e diferentes proporções de casca de arroz e partículas de madeira. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 2, p. 157-170, abr./jun. 2007.

PEREIRA, E. N.; RODRIGUES JÚNIOR., V. C. **Carvão do caroço de açaí (Euterpe oleracea) ativado quimicamente com Hidróxido de sódio (NaOH) e sua eficiência no tratamento de água para o consumo**. Moju: Ccim, 2013. Disponível em: <http://estatico.cnpq.br/portal/premios/2013/pjc/imagens/publicacoes/ganhadores/Ensin_oMedio/1Lugar_1671_Edivan_Nascimento_Pereira.pdf>. Acesso em: 27 out. 2017.

PEREIRA, P. H. L. **Estudo das propriedades físico-químicas da poliuretana derivada do óleo de mamona com potencial aplicação na área médica**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências – Química Analítica) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Carlos, Manaus, 2010.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: Marcel Dekker, 1994.

PIZZI, A; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Dekker, 2003.

POLETO, M.; ORNAGHI JÚNIOR, H. L.; ZATTERA, A. J. Native Cellulose: Structure, Characterization and Thermal Properties. **Materials**, n. 7, p. 6105-6119, 2014. DOI <http://dx.doi.org/10.3390/ma7096105>.

PROTÁSIO, T. P.; MENDES, R. F.; SCATOLINO, M. V.; MENDES, L. M.; TRUGILHO, P. F.; MELO, I. C. N. A. de. Estabilidade térmica de painéis aglomerados de bagaço de canade-açúcar e madeira de Pinus spp. **Scientia Forestalis**, v. 43, n. 107, p. 683-691, 2015.

PUPO, H. F. F. **Painéis alternativos produzidos a partir de resíduos termoplásticos e da pupunheira (BactrisgasipaesKunth)**. 2012. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Câmpus de Botucatu, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

QUIRINO, M. G. **Estudo de matriz polimérica produzida com resina natural e fibra da semente do açaí (Euterpe precatória)**. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2010.

REBELO, V. S. M. **Efeitos da mercerização em fibras de Piaçava Amazônica (Leopoldinia piassaba) para produção de compósitos**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil, área de concentração Novos Materiais) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

RIBAS, R. A. J. **Método para avaliação do desempenho térmico e acústico de edificações aplicado em painéis de fechamento industrializados**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2013.

RIBASKI, N. G.; HILLIG, E.; MIRANDA, G. M.; CATAPAN, D. C. Análise da produção de compensados do estado do Paraná. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 2-33, jan./jun. 2017.

RIBEIRO, U. G. **Desempenho térmico, acústico e mecânico de compósitos cimentícios produzidos com resíduos da indústria madeireira de Porto Velho**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2016.

RICCIARDI, P; BELLONI, E.; COTANA, F. Innovative panels with recycled materials: Thermal and acoustic performance and Life Cycle Assessment. **Applied Energy**, v. 134, p. 150-162, 2014.

ROFFAEL, E. **Die Formaldehyd-Abgabe von Spanplatten und anderen Werkstoffen**. Stuttgart: DRW Taschen Buch, 1982.

ROGEZ, H. **Açaí: Preparo, composição e melhoramento da conservação**. Belém: UFPA, 2000.

ROWELL, R.M.; HAN, J.S.; ROWELL, J.S. Characterization and factors affecting fiber properties. **Embrapa Instrumentação Agropecuária**, São Carlos, p.115-134, 2000.

SANCHES, F. L. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com mistura de madeira de quatro espécies florestais**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais), Universidade Estadual do Centro Oeste, Unicentro-PR, Irati-PR, 2012.

SANTOS, F. R. S. dos. **Desenvolvimento e aplicação de compósitos à base de matriz polimérica reforçado com fibras de curauá (*Ananás erectifolius*) e resíduos de madeiras amazônicas**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Tecnologia, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

SARTORI, D. L. **Painel portante estrutural com chapa de partículas de bagaço de cana-de-açúcar e resina de mamona para centro de manejo bovino**. 2012. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2012.

SBS. Sociedade Brasileira de Silvicultura. **Fatos e números do Brasil Florestal**. Disponível em: < <http://www.sbs.org.br/publicacoes.htm>>. Acesso em: 19 out. 2017.

SCATOLINO, M. V.; SILVA, D. W.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Use of maize cob for production of particleboard. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 37, n. 4, p. 330-337, 2013.

SCATOLINO, M. V.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Thermal stability of *Pinus oocarpa* and maize cob particleboards. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 39, n. 4, p. 348-354, 2015.

SCATOLINO, M. V.; COSTA, A. O.; GUIMARÃES JR., J. B.; PROTÁSIO, T. P.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Eucalyptus wood and coffee parchment for particleboard production: physical and mechanical properties. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 41, n. 2, p. 139-146, 2017.

SEBRAE. Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas (Org.). **Boletim: Produtos à base de açaí brasileiro já agregam versões em diferentes setores.** SEBRAE, Brasília, v. 1, n. 1, p. 1-14, jan. 2015. Disponível em: <[https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/9f56e28eb2f2bb90496a1a44becc47ad/\\$File/5829.pdf](https://bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/9f56e28eb2f2bb90496a1a44becc47ad/$File/5829.pdf)>. Acesso em: 13 fev. 2019.

SILVA, A. L. M.; LOGSDON, N. B.; ABREU, J. G. Análise da Viabilidade de resíduo de jequitibávermelho (*Cariniana legalis*) (Mart.) Kuntze.), na produção painéis homogêneos de madeira aglomerada. In: **XI Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira**, Londrina, 2008.

SILVA, D. W.; SCATOLINO, M. V.; PRADO, N. R. T.; MENDES, R. F.; MENDES, L. M. Addition of different proportions of castor husk and pine wood in particleboards. *Waste Biomass Valorization*, v. 16, p. 1-7, 2016.

SILVA, G. C. **Qualidade de painéis aglomerados produzidos com adesivo à base de lignosulfonato e ureia-formaldeído.** 2015. Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais) – Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2015.

SILVA, S. A. M. da; CHRISTOFORO, A. L.; PANZERA, T. H.; LAHR, F. A. R. Painéis MDF produzidos com resina poliuretana à base de óleo de mamona. **Vértices**, Rio de Janeiro, v. 25, n. 1, p.7-20, jan. 2013.

SOARES, S. S.; GUIMARÃES JR., J. B.; MENDES, L. M.; MENDES, R. F.; PROTÁSIO, T. P.; LISBOA, F. J. N. Valorização do bagaço de cana-de-açúcar na produção de painéis aglomerados de baixa densidade. **Ciência da Madeira**, v. 8, n. 2, p. 64-73, 2017.

STRICKLER, M. D. Effect of press cycle and moisture content on properties of Douglas-fir flakeboard. **Forest Products Journal**, Madison, v. 9, n. 7, p. 203-215, 1959.

TEIXEIRA, D. E.; COSTA, A. F.; SANTANA, M. A. E. Aglomerados de bagaço de cana-de-açúcar: resistência natural ao ataque de fungos apodrecedores. **Scientia Forestals**, n. 52, p. 29-34, 1997.

TOSTES, A. S.; LELIS, R. C. C.; PEREIRA, K. R. M.; BRITO, E. O. Colagem de chapas de madeira aglomerada com adesivo uréia-formaldeído (uf) modificado com tanino da casca de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 11, n.2, p. 14-19, dez. 2004.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure properties, utilization**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1991.

VARANDA, L. D. **Produção e avaliação do desempenho de painéis de partículas de *Eucalyptus grandis* confeccionados com adição de casca de aveia**. 2012. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulos, São Carlos, 2012.

VIDIL, L.; FIORELLI, J.; BILBA, K.; ONÉSIPPE, C.; ARSÈNE, M.; SEVASTANO JR., H. Thermal insulating particle boards reinforced with coconut leaf sheaths. *Green Materials*, **Composites Part B: Engineering**, v. 4, n. 1, p. 31-40, 2016.

VILAR, W. D. **Química e tecnologia dos poliuretanos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Vilar Consultoria, 2002.

WANG, S. H. **Construction Materials Science**. Beijing: China Construction Industry Publisher, 1988.

YAN, L.; KASAL, B.; HUANG, L.. A review of recent research on the use of cellulosic fibres, their fibre fabric reinforced cementitious, geo-polymer and polymer composites in civil engineering. **Composites Part B: Engineering**, v. 92, p. 94-132, 2016.

ZAU, M. D. L.; VASCONCELOS, R. P.; GIACON, V. M. Avaliação das propriedades química, física e mecânica de painéis aglomerados produzidos com resíduo de madeira da Amazônia – Cumaru (*Dipteryx Odorata*) e resina poliuretana à base de óleo de mamona, **Polímeros**, v. 24, n. 6, p. 726-732, 2014.

ZHONG, R.; GU, J.; GAO, Z.; TU, D.; HU, C. Impacts of urea-formaldehyde resin residue on recycling and reconstitution of wood-based panels. **International Journal of Adhesion and Adhesives**, China, v. 78, p. 60-66, 2017.

ZHOU, X.; ZHENG, F.; LI, H.; LU, C. An environmentfriendly thermal insulation material from cotton stalk fibers. **Energy and Buildings**, v. 42, n. 7, p. 1070–1074, 2010.