



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: CONSTRUÇÕES RURAIS E AMBIÊNCIA

JÉSSICA GUIMARÃES BARROS

PROPRIEDADES TERMOMECÂNICAS DE COMPÓSITO DE PASTA DE GESSO
REFORÇADO COM MICROFIBRAS DE AÇAI PARA INSTALAÇÕES RURAIS

CAMPINA GRANDE

2024

JÉSSICA GUIMARÃES BARROS

**PROPRIEDADES TERMOMECÂNICAS DE COMPÓSITO DE PASTA DE GESSO
REFORÇADO COM MICROFIBRAS DE AÇAÍ PARA INSTALAÇÕES RURAIS**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Campina Grande, como parte das exigências do Programa da Pós-Graduação em Engenharia Agrícola para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola,

Área de Concentração: Construções Rurais e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto

CAMPINA GRANDE

2024



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

FOLHA DE ASSINATURA PARA TESES E DISSERTAÇÕES

JÉSSICA GUIMARÃES BARROS

**"PROPRIEDADES TERMOMECÂNICAS DE
COMPÓSITO DE PASTA DE GESSO
REFORÇADO COM MICROFIBRAS DE ACAÍ
PARA INSTALAÇÕES RURAIS"**

Dissertação apresentada ao Programa de
Pós-Graduação em Engenharia Agrícola como
pré-requisito para obtenção do título de
Mestre em Engenharia Agrícola.

Aprovada em: 30/08/2024

Prof. José Pinheiro Lopes Neto - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Prof. Jose Wallace Barbosa do Nascimento - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Profa. Neila Lidiany Ribeiro - Examinador(a) Externo(a) - PDJ/FAPESQ PB/UFCG



Documento assinado eletronicamente por **Neila Lidiany Ribeiro, Usuário Externo**, em 04/09/2024, às 06:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE PINHEIRO LOPES NETO, COORDENADOR(A) ADMINISTRATIVO(A)**, em 04/09/2024, às 10:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSÉ WALLACE PARBOSA DO NASCIMENTO, Usuário Externo**, em 07/05/2025, às 10:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4764188** e o código CRC **DCA0F9F9**.

Referência: Processo nº 23096.011849/2024-78

SEI nº 4764188



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA AGRICOLA
Rua Aprigio Veloso, 882, - Bairro Universitario, Campina Grande/PB, CEP 58429-900

REGISTRO DE PRESENÇA E ASSINATURAS

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO PARA CONCESSÃO DO GRAU DE MESTRE EM
ENGENHARIA AGRÍCOLA, REALIZADA EM 30 DE AGOSTO DE 2024.**

CANDIDATO(A): **JÉSSICA GUIMARÃES BARROS**

TÍTULO: "**PROPRIEDADES TERMOMECÂNICAS DE COMPÓSITO DE PASTA DE GESSO REFORÇADO COM MICROFIBRAS DE ACAÍ PARA INSTALAÇÕES RURAIS**"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Construções Rurais e Ambiência

LOCAL: Auditório do LaCRA/UFCG, Bloco CK-1, Campina Grande/PB

HORÁRIO: 8h

Em sessão pública, após exposição de cerca de 50 minutos, o(a) candidato(a) foi arguido(a) oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo demonstrado suficiência de conhecimento e capacidade de sistematização no tema de sua Dissertação, sendo **APROVADO(A)**, com modificações no texto, de acordo com as exigências da Comissão Examinadora, que deverão ser cumpridas no prazo máximo de 30 (trinta) dias. Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata, assinada pelos membros da Comissão Examinadora presentes.. Campina Grande/PB, 30 de agosto de 2024.

COMISSÃO EXAMINADORA:

Prof. José Pinheiro Lopes Neto - Orientador(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Prof. Jose Wallace Barbosa do Nascimento - Examinador(a) Interno(a) - PPGEA/CTRN/UFCG

Profa. Neila Lidiany Ribeiro - Examinador(a) Externo(a) - PDJ/FAPESQ PB/UFCG

Jéssica Guimarães Barros - Discente

AGOSTO DE 2024





Documento assinado eletronicamente por **Neila Lidiany Ribeiro, Usuário Externo**, em 04/09/2024, às 06:13, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSE PINHEIRO LOPES NETO, COORDENADOR(A) ADMINISTRATIVO(A)**, em 04/09/2024, às 10:17, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



Documento assinado eletronicamente por **JOSÉ WALLACE PARBOSA DO NASCIMENTO, Usuário Externo**, em 07/05/2025, às 10:39, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 8º, caput, da [Portaria SEI nº 002, de 25 de outubro de 2018](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufcg.edu.br/autenticidade>, informando o código verificador **4764157** e o código CRC **DC858EA9**.

B277p

Barros, Jéssica Guimarães.

Propriedades termomecânicas de compósito de pasta de gesso reforçado com microfibras de açaí para instalações rurais / Jéssica Guimarães Barros. – Campina Grande, 2024.

69 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, 2024.

"Orientação: Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto".

Referências.

1. Compósitos. 2. Fibras Vegetais. 3. Gesso. 4. Resíduos da Agroindústria. I. Lopes Neto, José Pinheiro. II. Título.

CDU 666.9(043)

“A persistência é o menor caminho do êxito”.
(Charles Chaplin)

AGRADECIMENTOS

À Deus, por me dar o dom da vida e saúde para realizar todos os meus sonhos;

À Universidade Federal de Campina Grande e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola que tornaram a conquista desta titulação possível;

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão da bolsa de mestrado;

Aos docentes do PPGEA, por todo apoio e conhecimento e por estarem sempre dispostos a ajudar e contribuir para que esse trabalho fosse realizado;

Ao meu orientador, Prof. Dr. José Pinheiro Lopes Neto pela orientação, compreensão, e todo apoio dado na elaboração desse trabalho.

Aos meus pais, Vilma e Clóvis, e meus irmãos, Amanda e Ricardo, por sempre me apoiarem e acreditarem em mim;

Ao meu esposo, Diego, por toda a sua ajuda e contribuição, pela paciência e por sempre me dá forças para continuar;

À minha filha, Maria Luísa, por ser a minha fortaleza e maior inspiração para que esse trabalho fosse concluído;

Aos meus amigos, que mesmo distante, sempre me apoiaram;

Aos técnicos do Laboratório de Construções Rurais e Ambiente, Joselito e Thiago, por toda a ajuda durante a pesquisa;

A todos que contribuíram direta e indiretamente nesta jornada, obrigada.

Barros, Jéssica Guimarães. **PROPRIEDADES TERMOMECÂNICAS DE COMPÓSITO DE PASTA DE GESSO REFORÇADO COM MICROFIBRAS DE AÇAÍ PARA INSTALAÇÕES RURAIS**, 2024. Dissertação de mestrado. (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2024.

RESUMO

O gesso é um material utilizado na indústria da construção devido ao seu desempenho aliado ao baixo custo e facilidade de aplicação, contudo, apesar das inúmeras vantagens, este material apresenta baixa resistência mecânica e fragilidade, portanto, a incorporação de resíduos como reforço passou a ser objeto de estudo com o intuito de melhorar as propriedades deste material. Dentre as alternativas, têm-se destacado a utilização de fibras naturais como agregado nos materiais, devido ao seu baixo custo, disponibilidade e por serem renováveis, gerando um material sustentável, portanto objetivou-se com esta pesquisa avaliar o desempenho mecânico a partir do ensaio de flexão de 3 pontos e desempenho térmico de um material compósito, desenvolvido à base de gesso com incorporação em volume de fibra vegetal de açaí (*Euterpe oleracea*), adicionadas nas porcentagens de 0%, 1,5% , 3% e 5%. Os materiais compósitos foram confeccionados em formatos de placas para uso em forros de coberturas em construções rurais, visando promover maior conforto térmico às edificações e promover melhoria nas propriedades mecânicas deste material. Em síntese, a adição da fibra de açaí representa uma alternativa sustentável, no entanto, os compósitos estudados apresentaram redução de resistência mecânica e não foram observadas diferenças significativas nas propriedades térmicas dos materiais estudados.

PALAVRAS-CHAVE: Compósitos; Fibras Vegetais; Gesso; Resíduos.

Barros, Jéssica Guimarães. **PROPRIEDADES TERMOMECÂNICAS DE COMPÓSITO DE PASTA DE GESSO REFORÇADO COM MICROFIBRAS DE AÇAÍ PARA INSTALAÇÕES RURAIS**, 2024. Dissertação de mestrado. (Mestrado em Construções Rurais e Ambiente) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2024.

ABSTRACT

Gypsum is a material used in the construction industry due to its performance, low cost, and ease of application. However, despite its numerous advantages, gypsum has low mechanical strength and fragility. Therefore, incorporating waste as reinforcement has become a subject of study with the aim of improving the properties of this material. Among the alternatives, the use of natural fibers as aggregates has stood out due to their low cost, availability, and renewability, resulting in a sustainable material. This research aimed to evaluate the mechanical performance, based on three-point bending tests, and the thermal performance of a composite material developed from gypsum with the incorporation of açai plant fibers (*Euterpe oleracea*) in volumes of 0%, 1.5%, 3%, and 5%. The composite materials were manufactured in the form of panels for use in roofing in rural construction, aiming to provide greater thermal comfort to buildings and improve the mechanical properties of this material. In summary, the addition of açai fiber represents a sustainable alternative; however, the studied composites exhibited reduced mechanical strength, and no significant differences were observed in the thermal properties of the materials studied.

KEYWORDS: Composites; Vegetable Fibers; Plaster; Waste.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Compósito durante a ruptura.....	19
Figura 2 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da superfície das fibras.....	23
Figura 3 – Fluxograma das etapas da pesquisa.....	27
Figura 4 – Descarte dos caroços do açaí na cidade de Macapá, Amapá - Brasil.....	28
Figura 5 – Fruto do açaizeiro, caroço e fibra do açaí	29
Figura 6 - Formas de ferro para confecção dos corpos de prova	31
Figura 7 - Imagem à esquerda: Pasta de gesso sem fibra; Imagem à direita Pasta de gesso com adição de fibra	32
Figura 8 - Corpos de prova após desmoldagem.....	33
Figura 9 - Máquina Universal de ensaios MTS.....	34
Figura 10 - Imagem à esquerda: placa de gesso com adição de fibra de açaí; Imagem á direita: placa de gesso sem adição da fibra de açaí.....	36
Figura 11 – Câmara térmica fechada	36
Figura 12 – Interior da câmara térmica.....	37
Figura 13 - Equipamento utilizado para determinação da condutividade térmica.....	38
Figura 14 - Vista microscópica do compósito gesso e fibra de açaí	41
Figura 15 - Aglomerados de fibras	42
Figura 16 - Presença de vazios no compósito.....	43
Figura 17 - Curvas de temperatura do compósito de gesso sem tratamento com a fibra de açaí.....	50
Figura 18 – Curvas de temperatura do compósito de gesso com tratamento de 1,5% de fibra.....	51
Figura 19 – Curvas de temperatura do compósito de gesso com tratamento de 3% de fibra de açaí.....	52
Figura 20 – Curvas de temperatura do compósito de gesso com tratamento de 5% de fibra de açaí.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Propriedades físicas da fibra natural do açaí	21
Tabela 2 – Composição química da fibra de açaí	21
Tabela 3 – Confecção dos corpos de prova para teste de flexão	32
Tabela 4 – Composições utilizadas (massa) para os compósitos relacionadas a fibra de açaí	35
Tabela 5 – Caracterização física do gesso	40
Tabela 6 - Valores de absorção de água da fibra de açaí em %	40
Tabela 7 – Valores médios de resistência a flexão dos compósitos	44
Tabela 8 – Média do módulo de elasticidade dos compósitos	45

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

CBC	Cinza de Cana de Açúcar
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
LCM	Laboratório de Caracterização dos Materiais
MPa	Mega Pascoal
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos

Sumário

1 INTRODUÇÃO	10
2 JUSTIFICATIVA.....	12
3 OBJETIVOS.....	13
3.1 OBJETIVO GERAL	13
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
4 REFERENCIAL TEÓRICO.....	14
4.1 IMPACTO DA CONSTRUÇÃO NO MEIO AMBIENTE E O USO DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS COMO ALTERNATIVA	14
4.2 IMPACTO DOS RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA	15
4.3 MATERIAIS COMPÓSITOS E SUAS APLICAÇÕES.....	16
4.4 FIBRAS VEGETAIS.....	17
4.5 ORIGEM E COMPOSIÇÃO DAS FIBRAS DE AÇAÍ	20
4.6 GESSO COM ADIÇÃO DE FIBRAS.....	23
4.7 CONFORTO TÉRMICO EM INSTALAÇÕES RURAIS.....	25
5 MATERIAL E MÉTODOS	27
5.1 LOCAL DO EXPERIMENTO	27
5.2 MATERIAIS UTILIZADOS.....	27
5.2.1 O material gesso	28
5.2.2 Fibra de açaí.....	28
5.2.3 Água tratada	29
5.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO GESSO NO ESTADO ANIDRO (PÓ).....	29
5.4 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE AÇAÍ: ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.....	30
5.5 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO GESSO/FIBRA.....	30
5.6 CONFEÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE FLEXÃO	31
5.7 ENSAIOS MECÂNICOS.....	33
5.7.1 Resistência à flexão em três pontos.....	33
6 ENSAIOS TÉRMICOS.....	35
6.1 Análise de desempenho térmico	35
7 ESTATÍSTICA.....	39
8 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
8.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO GESSO NO ESTADO ANIDRO.....	40

8.2 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DA FIBRA DE AÇAÍ	40
8.4 RESISTÊNCIA À FLEXÃO	43
8.5 DESEMPENHO TÉRMICO	48
9 CONCLUSÃO	55
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	56
REFERÊNCIAS.....	57

1 INTRODUÇÃO

O setor da construção civil é um dos maiores consumidores de matéria-prima e energia, gerando cerca de 50% dos resíduos sólidos do mundo; diante disso, a sustentabilidade na construção civil tem ganhado destaque, surgindo a necessidade da reutilização de materiais ou da busca por novos materiais que possam minimizar os problemas causados ao meio ambiente, onde a matéria-prima deve ser viável ecologicamente e de baixo custo (MMA, 2018).

O gesso está entre os materiais de construção mais antigos sendo amplamente utilizado devido as suas propriedades, tornando o consumo desse material crescente, principalmente, devido ao seu baixo custo e facilidade de utilização, apresentando, também, excelente acabamento. No quesito das instalações rurais, o conforto térmico é um ponto importante, sendo crucial aliar técnicas construtivas e materiais alternativos, buscando o bem-estar dos animais e maior eficiência produtiva. A produção animal é afetada em todas as fases de produção por fatores ambientais externos e pelo microclima dentro dessas instalações.

A indústria da construção possui a aplicabilidade de incorporar resíduos agroindustriais ou subprodutos em seus setores, como o emprego de fibras, cinzas e escórias na produção dos materiais, sendo que a aplicação de fibras em materiais para construção civil já é utilizada a milhares de anos, desde os tempos mais remotos para reforçar materiais de construção, como em construções de taipa, terra-crua ou pau a pique.

O maior desafio da construção civil é continuar crescendo sem prejudicar o meio ambiente, por isso é preciso desenvolver novas soluções para várias áreas. A principal vantagem das fibras naturais é que não é necessário extrair recursos minerais como na produção das fibras artificiais, como fibras de vidro ou polipropileno (Assis, 2023).

Diante do exposto, as fibras vegetais constituem uma solução promissora de origem natural para o reforço de diversas matrizes, incluindo gesso. A incorporação de subprodutos industriais é importante para a obtenção de materiais mais econômicos e menos agressivos ao meio ambiente, sendo de grande interesse do ponto de vista ambiental e econômico. As fibras naturais podem ser obtidas a partir de diversas partes da planta, como de suas cascas internas, cascas de frutos, como na fibra de coco, e em folhas, como na fibra de bananeira.

A incorporação de subprodutos industriais é importante para a obtenção de materiais mais econômicos e menos agressivos ao meio ambiente, sendo de grande interesse do ponto de vista ambiental e econômico. As fibras vegetais possuem alta disponibilidade, são biodegradáveis, recicláveis e possuem boas propriedades mecânicas e térmicas específicas.

Os materiais compósitos com matriz de gesso têm características que os tornam amplamente utilizados em inúmeras aplicações, como em forros e divisórias, no entanto, o material gesso apresenta limitações térmicas e mecânicas que limitam o seu uso. A incorporação de fibras, principalmente as naturais, se apresenta como uma possível melhoria das propriedades deste material. O desempenho mecânico dos compósitos de gesso reforçados com fibras vegetais é geralmente controlado por fatores como geometria e orientação da fibra, assim como as propriedades da interface entre a matriz gesso e a fibra utilizada.

O açaízeiro (*Euterpe Oleracea*, Mart.) é uma planta originária da Região Amazônica, onde o fruto é amplamente consumido. Após o consumo da polpa, seu caroço e fibras são descartados, gerando resíduos. Essas fibras apresentam características mecânicas e potencialidades de aplicação para materiais compósitos.

Devido ao interesse em fontes de energia renováveis e reutilização de materiais descartáveis como matéria-prima, o uso dessas fibras vegetais, como a fibra de açaí, na produção de novos produtos tem sido uma abordagem popular nos últimos anos. Isso permite uma destinação adequada no que se refere às considerações ambientais.

2 JUSTIFICATIVA

A agroindústria é um importante setor econômico pois transforma matérias-primas em diversos produtos de valor agregado, porém é geradora de resíduos, ocorrendo seu descarte de forma inadequada em muitos casos. Quando feita de maneira incorreta, a disposição final destes resíduos causa impactos socioambientais, como poluição e degradação do solo. Diante dessa premissa, o reaproveitamento de resíduos agrícolas é uma excelente maneira de reduzir os danos ambientais causados pelo descarte incorreto e, ao mesmo tempo, possibilitar a criação de novos produtos.

Existe uma tendência de crescimento por novos materiais que sejam sustentáveis, visto que a indústria da construção também é grande causadora de impactos ambientais. Logo, pesquisas que busquem possíveis soluções para esse problema são práticas fundamentais que visam a mudança de paradigma do setor da construção civil. Os materiais sustentáveis são aqueles que incorporam matérias-primas de fontes renováveis, assim, materiais que apresentam qualidade igual ou superior aos convencionais vêm sendo desenvolvidos, com o uso de fibras naturais e resíduos agroindustriais para a produção de compósitos.

Esses compósitos buscam melhoria no desempenho técnico do material, aliada à redução do consumo de recursos naturais e à grande quantidade de resíduos recuperados que são reintroduzidos no processo de produção, buscando melhorias em suas propriedades. Dessa forma, esse estudo propõe a utilização do resíduo da fibra de açaí em compósitos com matriz de gesso, para serem utilizados em instalações rurais visando melhor conforto térmico e, melhora das propriedades mecânicas e térmicas na estrutura dessas instalações.

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o uso da fibra natural de açai como material de reforço não direcional em placas de gesso para uso em forros de cobertura ou divisórias.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Caracterizar fisicamente o gesso em pó para composição da pasta para produção das placas;
- b) Caracterizar fisicamente a fibra de açai;
- c) Produzir placas de gesso reforçadas com fibras curtas de açai nas proporções de 0, 1,5, 3 e 5% de incorporação da fibra em volume e avaliar a influência da fibra curta natural de açai nas propriedades mecânicas do compósito;
- d) Produzir placas de gesso reforçadas com fibras curtas de açai nas proporções de 0, 1,5, 3 e 5% de incorporação da fibra em volume e avaliar a influência da fibra curta natural de açai nas propriedades térmicas do compósito.

4 REFERENCIAL TEÓRICO

4.1 IMPACTO DA CONSTRUÇÃO NO MEIO AMBIENTE E O USO DE MATERIAIS SUSTENTÁVEIS COMO ALTERNATIVA

O crescente aumento da população aliado a uma constante busca por melhores condições de vida provocou um rápido aumento na utilização de materiais de construção, gerando um enorme impacto ao meio ambiente (Farooq et al., 2021). A geração de resíduos, de construção ou agroindustriais, é um grande desafio para os gestores e profissionais dessas áreas e, a busca por uma destinação final para esses materiais vem sendo frequentemente pesquisada e utilizada (Ramezaniapour, 2014).

Diante disso, a busca por materiais sustentáveis está em constante crescimento, buscando-se a incorporação de matérias primas de fontes renováveis, possibilitando a redução do impacto ambiental com menor custo. Assim, materiais que apresentam qualidade igual ou superior aos convencionais vêm sendo desenvolvidos, com o uso de fibras naturais e resíduos agroindustriais para a produção de compósitos (Raheen et al., 2020).

Durante a execução de um projeto construtivo, torna-se um desafio a seleção de materiais que atinjam os objetivos de desenvolvimento sustentável, tendo como principais fatores nessa abordagem, parâmetros técnicos, econômicos e ambientais, sendo essa abordagem ambiental não somente ligada ao meio ambiente, como também na economia e na busca por melhores propriedades (Aghazadeh & Yildirim, 2021).

A escolha de materiais para os projetos de construção é um tópico importante no desenvolvimento sustentável, pois permite o ciclo de vida do material, reduzindo custos operacionais, aumentando a capacidade de mercado, melhorando a eficiência e a produtividade, controlando o consumo de energia, minimizando os riscos ambientais e otimizando o desempenho (Madhu et al., 2020).

O uso inadequado dos recursos oferecidos pela natureza pode trazer consequências a população e, diante disso, tornou-se crescente a preocupação com o meio ambiente, portanto é crescente o desenvolvimento de materiais alternativos com o objetivo de reduzir o uso das matérias-primas e que tenham menor efeito nocivo ao meio ambiente. O uso de fibras naturais como reforço de materiais cimentícios

apresenta-se como uma alternativa sustentável, além de amenizar o impacto ambiental associado ao descarte de resíduos e ao consumo das matérias-primas não renováveis (Kareche et al., 2020).

A viabilidade da inclusão da cinza de biomassa de cana de açúcar (CBC) incorporada em argamassas para cimentação de poços de petróleo, foi analisada com o objetivo de melhorar as reações pozolânicas, pesquisada por BORJA et al. (2014), que concluíram que as argamassas apresentaram resistência à tração na flexão superior à argamassa de referência.

O uso de resíduos de mineração, resíduo de scheelita e pó de pedra, adicionados em cal e cimento mostraram resultados promissores na fabricação de tijolos e blocos construtivos, possibilitando o uso racional da cadeia produtiva na indústria da construção civil, além de contribuir para a redução dos impactos ambientais (Ramos et al., 2021). A utilização de resíduos de demolição e construção como, concreto triturado, vidros, pneus e cinzas, incorporados na produção de compósitos geopoliméricos, como substituto em partes ao cimento Portland na fabricação de concreto pode ajudar na preservação dos recursos naturais (Sata et al., 2020).

4.2 IMPACTO DOS RESÍDUOS DA AGROINDÚSTRIA

Atualmente, há um esforço crescente para a agricultura se tornar mais produtiva e sustentável, reduzindo seus efeitos prejudiciais no meio ambiente e aumentando seus benefícios para a sociedade e a economia. Os resíduos agroindustriais, também conhecidos como resíduos sólidos, são considerados um dos principais fatores que afetam o meio ambiente. Na grande maioria, são considerados perigosos e têm impactos negativos na saúde da população e no meio ambiente. Esses resíduos agroindustriais causam um grande impacto ao meio ambiente, considerando-se o grande descarte desses, logo, faz-se necessário a busca por novas alternativas para esta problemática, esse descarte incorreto em ruas ou terrenos acaba gerando odor devido a decomposição da matéria orgânica e formação de chorume, que pode ser contaminante para o solo e também pode atingir rios da região (Souza et al., 2021).

Os resíduos decorrentes das atividades agroindustriais são, em sua maioria, provenientes do processamento de frutas para produção de polpas, dependendo do

tipo de fruta podem ser compostos por casca, caroço ou fibras. A pesquisa na agroindústria pode ajudar a melhorar a qualidade dos produtos e estudar diferentes métodos de reaproveitamento e biotransformação destes resíduos (Ricardino et al., 2020).

A agricultura já pode usar alguns destes resíduos, reduzindo assim os efeitos da geração, como por exemplo, uma parte do resíduo é usada para cobrir e proteger o solo, preservando a matéria orgânica e os nutrientes do solo, entretanto, devido a grande quantidade gerada, uma outra parte que ainda não é utilizada acaba se acumulando resultando em fontes de contaminação ambiental (Silva et al., 2019).

A reutilização desses resíduos agroindustriais, ligada a razões ambientais e também econômicas, pode transformá-los em produtos, ou seja, esses resíduos podem ser a matéria-prima para novos processos, utilizando biotecnologia (Woiciechowski et al., 2020).

4.3 MATERIAIS COMPÓSITOS E SUAS APLICAÇÕES

O compósito é um material multifásico cujas propriedades são derivadas da combinação das características de dois materiais diferentes que formam um compósito. São dois tipos de materiais que se combinam para formar um único material que pode suportar esforços maiores do que o material individual. Além de mostrar as propriedades inerentes de cada constituinte, os compósitos mostram propriedades intermediárias resultantes da formação de uma região interfacial (Bressiani et al., 2020).

O reforço, chamado de fase dispersa, tem a missão de absorver todas as cargas de esforço mecânico aplicadas no compósito, além de gerar rigidez e melhoria na resistência mecânica deste material, todavia, se a adesão do reforço na matriz não é suficiente, isto não ocorre (Gehlen, 2014).

Dentre as opções de reforço, destacam-se as fibras, podendo ser naturais ou sintéticas. O desenvolvimento na área de compósitos reforçados com fibras naturais teve um grande crescimento nos últimos anos, devido a vantagens como baixa massa específica, baixo custo, baixo consumo de energia e por serem não tóxicas e biodegradáveis. As propriedades destes materiais são influenciadas pelos materiais

utilizados, seus constituintes e a adesão que ocorre entre o reforço e a matriz, que pode ser forte ou fraca (Neto e Pardini, 2021).

A forma como estas fibras são ordenadas e a sua orientação, a quantidade e a sua distribuição no compósito são fatores importantes e que apresentam grande influência no produto final e nas suas propriedades, como a resistência mecânica, assim, as características mecânicas de um compósito reforçado com fibra dependem das propriedades da fibra e também da quantidade de carga transmitida às fibras pela fase matriz. O componente de reforço ou estrutural pode ser um material que pode ser orgânico ou inorgânico, como metal ou cerâmico), fibroso, de forma regular ou irregular (material tecido ou não tecido) ou pulverulento (material esférico ou crístico), com os fragmentos irregulares flocos) ou como fibras extremamente curtas, como as microfibras (Mantovani, 2017).

O comprimento das fibras está diretamente ligado as propriedades dos compósitos, pois as fibras descontínuas carregam a resistência mecânica deste material, sendo responsáveis pela sustentação das cargas aplicadas. A qualidade da produção também influencia as qualidades de um compósito. O reforço deve ser distribuído uniformemente. Um material compósito deve ser homogêneo e uniforme. No entanto, alcançá-lo é um desafio (Miranda, 2023).

Oliveira (2013) apresenta que, de modo geral, os elementos cimentícios reforçados com fibras curtas apresentam menores números de fissuras do que os reforçados com fibras longas. Os compósitos reforçados com fibra longa suportam maiores esforços com maior número de fissuras e menor espaçamento de fissuras. Consequentemente, a aplicação dessa configuração por última citada em estruturas sujeitas a maiores esforços é fundamental.

4.4 FIBRAS VEGETAIS

O uso de fibras para produção de compósitos se deu início devido a abolição do uso do amianto, que é uma fibra natural mineral bastante utilizada, porém que

apresenta riscos à saúde humana, o que se tornou incentivo para a busca por outros tipos de fibras (Isaia, 2017).

A utilização destas fibras vegetais apresenta inúmeras vantagens ao serem incorporadas, como baixo custo, alta disponibilidade e boa reatividade no concreto, sendo que o desempenho dessas fibras nos materiais de construção depende de inúmeros fatores, como: o tipo de fibra utilizada e a sua quantidade, tipo de aplicação, e à análise das características e propriedades mecânicas destas, como seu módulo de elasticidade (Akeen *et al.*, 2020).

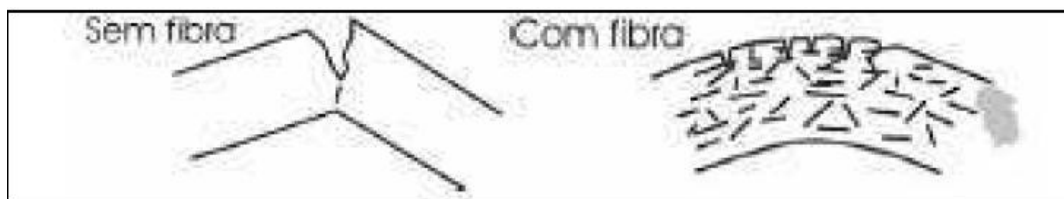
O principal componente da fibra vegetal é a celulose, este irá fornecer rigidez e resistência as fibras (Sood e Dwivedi, 2018), podendo ser classificadas de acordo com a sua origem, se dividindo em fibras dos frutos, como coco e açaí, fibras de caule, como linho, juta e kenaf, fibras das folhas, como sisal e curauá e fibras de sementes, como o algodão (Bressiani Júnior, 2020).

As fibras naturais, que são facilmente encontradas na natureza, são consideradas materiais renováveis. O fato de ser acessível e de baixo custo em comparação com outras fibras sintéticas leva a serem utilizadas em uma variedade de formulações e aplicações. As fibras naturais são consideradas um subproduto e o descarte inadequado pode causar problemas ambientais (Laverde, 2022).

A determinação da resistência a tração de fibras lignocelulósicas depende de fatores como a distribuição, o tamanho e a geometria dos microdefeitos existentes na superfície e no volume dos mesmos presentes no feixe destas fibras, uma vantagem essencial do reforço com fibras é o comportamento do compósito após o início da fissuração. O desempenho mecânico dos compósitos depende não apenas das características da matriz e da fibra, mas também das propriedades da interface à medida que as fibras atravessam as fissuras da matriz e transferem as cargas (Ardunay *et al.*, 2015).

O teor de fibra dos compósitos de cimento reforçado com fibra divide-os em dois tipos: compósitos de fibra de baixo e de alto volume, onde cada tipo reage de maneira diferente à tensão. Esse comportamento pode ser observado na figura 1, que mostra a ação das fibras no momento da ruptura:

Figura 1 – Compósito durante a ruptura



Fonte: Silva et al. 2014).

As fibras naturais apresentam inúmeras propriedades vantajosas, como reforço para compósitos, além de apresentarem redução de custos e benefícios no processamento, se comparadas as fibras sintéticas. Compósitos reforçados com biofibras, têm experimentado uma transformação notável. À medida que novas composições e processos têm sido pesquisados, desenvolvidos e aplicados, esses materiais têm se tornado mais e mais eficientes (Silva, 2020).

A utilização de fibras naturais de coco em concretos, argamassas e outros materiais de construção pode reduzir a exploração excessiva de recursos necessários para a fabricação de outros tipos de misturas de cimento. Com base em um levantamento realizado pelo LSPA, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE (2017) calculou que a produção nacional de coco chegou a 1.721.451 toneladas no ano. Aproximadamente 11% do coco é considerado fibra, com um volume de fibra gerado de aproximadamente 950 mil metros cúbicos (IBGE, 2017).

A presença da fibra de coco na composição do gesso feito com carago cru apresentou resultados satisfatórios na dureza e resistência a compressão e atendeu os valores de referência das normas utilizadas, que teve como objetivo mostrar a viabilidade econômica e ambiental do gesso produzido através do carago cru, observando diferentes comprimentos de fibras adicionadas no gesso para testes de resistência (Silva, 2020).

Marengo, Vercelheze e Mali (2013), produziram compósitos biodegradáveis em bandejas feitos por termoformagem usando amido de mandioca como matéria-prima e adicionando três resíduos agroindustriais diferentes: bagaço de cana-de-açúcar, fibras de coco e farelos de soja, os resultados mostraram que as bandejas

apresentaram valor comercial, sendo a produzida com a fibra de coco a que apresentou maior resistência mecânica entre elas.

As fibras naturais apresentam inúmeras propriedades vantajosas, como reforço para compósitos, além de apresentarem redução de custos e benefícios no processamento, se comparadas as fibras sintéticas. Compósitos reforçados com biofibras, têm experimentado uma transformação notável. À medida que novas composições e processos têm sido pesquisados, desenvolvidos e aplicados, esses materiais têm se tornado mais e mais eficientes (Silva, 2020).

Huang e Yuong (2019), em seu estudo avaliaram as propriedades de compósitos de resina epóxi com incorporação de fibra de bambu obtendo um aumento da resistência a tração e também do módulo de elasticidade, isso com a redução do diâmetro da fibra de bambu.

4.5 ORIGEM E COMPOSIÇÃO DAS FIBRAS DE AÇAÍ

O açaí é o fruto do açazeiro (*Euterpe oleracea*) nativo da região amazônica, sendo a palmeira encontrada em alguns países da América do Sul e Central, possui tamanho pequeno e formato arredondado, apresentando caroço e fibras (Tagore, 2017).

Segundo o IBGE (2022), a produção do fruto no Brasil neste ano, foi em média 1.699.588 toneladas, sendo que o mercado apresentou uma movimentação de 6.166.252 mil reais na sua produção.

A produção do açaí cresce cada vez mais no Brasil; em 2017 foi constatado que o fruto ficou em 3º lugar entre as frutas mais produzidas do Brasil, ganhando inclusive espaço internacional (Ferreira, 2019). Desta forma, observa-se que o aumento da produção afeta diretamente na quantidade de resíduos gerados nas cidades.

Devido a essa crescente produção e processamento da fruta é gerado uma enorme quantidade de resíduos durante as etapas desse processamento, o que pode proporcionar impactos ambientais caso o descarte ocorra de maneira inadequada. Para que o açaí seja produzido ocorre o beneficiamento, em que a polpa é separada do caroço e fibras, onde aproximadamente 83% do fruto é resíduo agroindustrial.

Essas pequenas fibras naturais e o caroço do açaí são descartados, na maioria das vezes nos lixões, sem descarte apropriado, tornando-se um passivo ambiental (Rocha et al., 2021).

Pode-se fazer a reutilização do caroço do açaí ou de sua fibra, com possibilidades de obtenção de produtos com alto valor agregado, com o emprego de técnicas e processos de beneficiamento, auxiliando e possibilitando, a redução, reutilização e reciclagem desse resíduo, diminuindo a quantidade a serem descartadas em céu aberto ou próximo as ressacas (Almeida et al., 2017).

As propriedades físicas das fibras do açaí podem ser vistas na Tabela 1.

Tabela 1 – Propriedades físicas da fibra natural do açaí

Densidade (g/cm ³)	Área da Seção (μm ²)	Diâmetro (μm)	Comprimento (μm)	Referências
1,11	2.017,29	129,93	18.410,00	LOPES (2019)

Fonte: Adaptado de Lopes (2019).

Na tabela 2 são apresentadas as composições químicas da fibra de açaí, comparando com outras espécies de fibras.

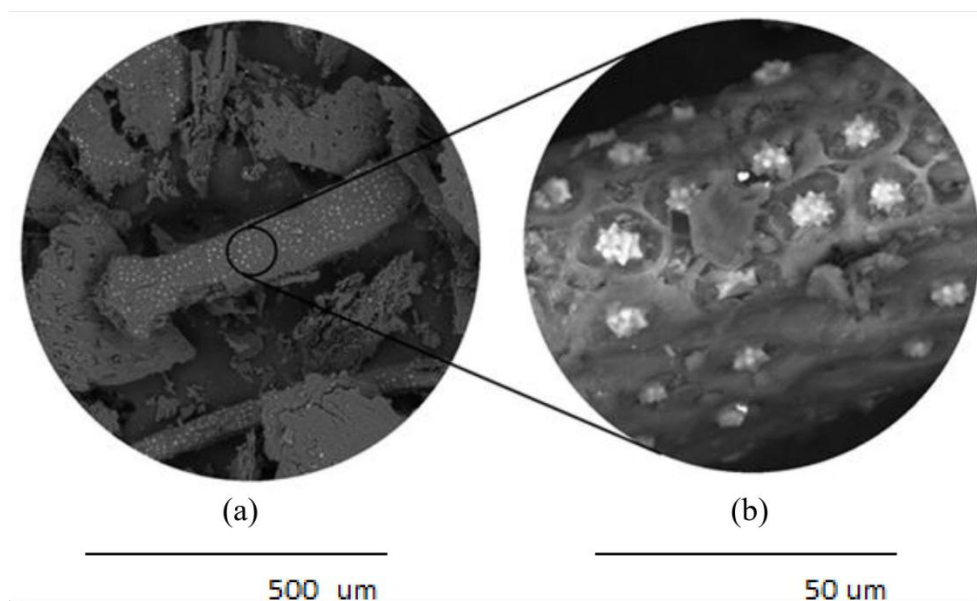
Tabela 2 – Composição química da fibra de açaí

MATERIAL	CELULOSE (%)	LIGNINA (%)	REFERÊNCIAS
CAROÇO + FIBRA DE AÇAÍ	36,13	47,92	Barbosa (2019)
FIBRA DE AÇAÍ	46,51	30,35	Mesquita (2013)
FIBRA DE MADEIRA	46,79	34,29	Salazar (2000).
FIBRA DE COCO	45,47	31,83	Salazar (2000).
FIBRA DE SISAL	59,18	6,97	Dorez (2014).

A fibra de açaí apresenta um alto teor de lignina, semelhante a outras fibras naturais, como a fibra de coco. A lignina apresenta uma estrutura amorfa polimérica, contribuindo com um maior tempo de degradação do material, além de trazer maior proteção a ataques químicos, um ponto importante nas propriedades de um material (Dorez et al., 2014). Em relação ao percentual de celulose, que é responsável por maior rigidez e resistência à tração, na fibra do açaí ele se apresenta em maior quantidade se comparado apenas ao caroço do açaí. Assim, compósitos produzidos com a fibra de açaí podem apresentar melhor desempenho em relação aos produzidos com o caroço do açaí, como pode ser observado nos estudos de Quirino (2010). Mesquita (2013), analisou que os resultados de resistência a tração da fibra de açaí, de 16,4 MPa, é inferior ao obtido para outros tipos de fibras vegetais. Em seu estudo, Lima Jr (2007), observou que as fibras de açaí apresentam bifurcações em seu prolongamento, além de microfissuras, o que pode atribuir uma baixa resistência mecânica a fibra, além de que as fibras apresentam formato irregular, não podendo ser caracterizada como elípticas ou circulares.

Na figura 2, observa-se a caracterização morfológica da fibra de açaí, onde aparecem protusões de sílica (SiO_2) na fibra. Segundo Miranda et al. (2015), essa presença de sílica traz à fibra uma maior rigidez e melhorias às suas características mecânicas.

Figura 2 – Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) da superfície das fibras



Fonte: Barbosa (2019).

4.6 GESSO COM ADIÇÃO DE FIBRAS

O gesso é um dos materiais mais antigos do mundo, o mineral gipsita é composto por sulfato de cálcio di-hidratado ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), com ocorrência em diversas regiões do mundo, podendo ser usado tanto na forma natural quanto na forma calcinada. A forma natural é amplamente utilizada na agricultura e no setor de cimento. A forma calcinada tem várias aplicações na construção civil, como material de construção (Veloso et al., 2021).

As reservas no território brasileiro localizam-se nos seguintes Estados: 96% na Bahia (43%), no Pará (35%) e de Pernambuco (18%), seguido do Maranhão (2,7%), Tocantins (0,6%), Ceará (0,3%), Piauí (0,2%) e Amazonas (0,1%). (BALANÇO MINERAL BRASILEIRO, DNPM, 2001).

O uso do gesso em placas é crescente no setor de divisórias, forros de cobertura e acabamento de interiores, isso se deve as características do material como rápida montagem, bom desempenho acústico e térmico, além de elevada resistência ao fogo (Zaragoza, 2023). No setor da construção, ocorre grande demanda desse material para uso em divisórias e forros de cobertura, apresentando boa aparência, facilidade de moldagem e alta produtividade se comparada a outros materiais (Freire, 2021).

O gesso é um material amplamente utilizado na construção por apresentar inúmeras vantagens como baixo custo, facilidade de aplicação e bom isolante térmico, porém, apresenta desvantagens como fragilidade e baixa resistência (Ioculano, 2019). As propriedades de materiais compósitos com matriz de gesso são amplamente utilizadas na construção, como em forros e acabamentos, contudo, existem limitações mecânicas e térmicas que podem ser melhoradas com a incorporação das fibras nesse material (Pinto, 2022).

Apesar das excelentes propriedades desta matéria-prima, fatores como fragilidade e baixa resistência mecânica limitam o uso do gesso em determinadas aplicações, diante do pressuposto, a utilização de medidas que visem buscar uma melhoria nessas propriedades está presente em diversas pesquisas que estudam os efeitos nas propriedades mecânicas após a adição de fibras naturais para a conformação de compósitos de gesso (Evangelista, 2021).

É constatado que as fibras vegetais têm maior resistência à tração, menor custo e abrasividade quando em comparação com materiais inorgânicos, logo, a utilização destas tem sido objeto de estudo visando melhoria na resistência à flexão de compósitos a base de gesso. A utilização do gesso como matriz para a fabricação de compósitos reforçados com partículas e fibras lignocelulósicas, fibras sintéticas e resíduos sólidos foi objeto de vários estudos publicados nos últimos anos (Guo, 2018).

Ebanda et al. (2016), realizaram um estudo comparando a difusidade térmica entre o gesso reforçado com fibras de sisal e o gesso sem nenhuma adição de fibras, a partir dos resultados foi constatado que o gesso com adição de fibras apresentou uma queda em sua difusidade térmica.

O resíduo agroindustrial de cacau apresenta potencialidade para ser utilizado no compósito com gesso, tendo em vista que a inclusão de até 8,15% do mesmo atendeu a normatização em ensaios físicos, mecânicos, térmicos e acústicos, isso fomenta a ideia de que os resíduos lignocelulósicos são alternativas promissoras para criação de materiais de alto valor agregado (Veloso, 2021). As fibras de sisal aumentaram o comportamento térmico do gesso, melhorando seu isolamento térmico. Foi realizada uma avaliação comparativa do calor específico e da capacidade térmica, utilizando um material padrão, gesso (altamente poroso e sem reforço) e um material

compósito com matriz de gesso e fase reforço de manta de sisal “in natura” (Pinto, 2022).

Azzouzi et al. (2020), estudaram um material compósito feito de gesso e fibras vegetais de vagem de ervilha, analisando a densidade térmica e a possibilidade de utilizá-lo como isolante térmico na construção civil. Coelho et al. (2019), analisaram mecanicamente o desempenho à flexão de compósitos de gesso com incorporação de fibras de sisal utilizando impressão 3D, onde a proporção volumétrica entre gesso e fibras foi fixada em 1,5%, e metade das peças submetidas a um pós-tratamento, apresentando maior valor de resistência do que as peças sem pós-tratamento.

Diante do exposto, conclui-se que o uso das fibras naturais de açaí provenientes da atividade agroindustrial pode ser utilizada no ramo da construção, visando promover melhorias do desempenho mecânico e térmico de compósitos. Dessa forma, sua utilização deve ser analisada aos materiais de construção convencionais, bem como junto a materiais alternativos.

4.7 CONFORTO TÉRMICO EM INSTALAÇÕES RURAIS

Devido à grande extensão territorial do Brasil, às variações de relevo, altitude e dinâmica das massas de ar e correntes marítimas, o país possui uma grande diversidade climática. As edificações ou instalações podem ser executadas visando a diminuição do desconforto térmico (Barbosa et al., 2021). Define-se como conforto térmico, segundo Rackes et al. (2015), como o estado mental que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda, além disso, à medida que as temperaturas globais aumentam, como resultado das mudanças climáticas, as ondas de calor também se tornaram mais comuns e intensas, colocando a saúde e o bem-estar dos humanos e animais em risco, para buscar reduzir esses efeitos negativos, é necessário entender os efeitos deles no conforto térmico.

A cobertura é o elemento estrutural que recebe mais calor dentro das instalações, diante disso, pesquisas tem se concentrado no estudo destas coberturas, bem como em seus vários tipos de materiais e alterações, portanto, para manter os animais confortáveis em climas quentes, o telhado e a cobertura das instalações são os componentes mais importante a serem considerados (Fachinello Krebs & Johansson, 2021). Levando em consideração o estado físico e ambiental dos animais em instalações rurais, é de suma importância a preocupação com o conforto térmico

destes ambientes, de modo que as necessidades naturais e comportamentais destes animais sejam supridas, sendo esta uma consideração ética essencial (Braga, 2018).

É bem conhecido que o desenvolvimento de tecnologias capazes de aumentar o conforto térmico em edifícios, reduzindo a necessidade de refrigeração e aquecimento é necessário. Nesse contexto, o estudo da capacidade térmica dos materiais e suas formas de transferência de calor são essenciais.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente (LaCRA) juntamente com o Laboratório de Propriedades Mecânicas (Departamento de Engenharia Mecânica) e CertBio (Laboratório de Engenharia de Materiais), ambos da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). A figura 3 apresenta o fluxograma de etapas da pesquisa.

Figura 3 – Fluxograma das etapas da pesquisa



5.2 MATERIAIS UTILIZADOS

Os materiais utilizados foram gesso em pó, água potável e rejeito da fibra de açaí.

5.2.1 O material gesso

O gesso foi utilizado em razão de sua fácil disponibilidade, potencial como material aglomerante e isolante térmico, sendo estocado em local adequado, seco e coberto para não sofrer nenhuma interferência.

5.2.2 Fibra de açaí

As fibras utilizadas como elemento de reforço foram as fibras vegetais provenientes do bagaço do açaí após a retirada da polpa. A coleta dos caroços de açaí para retirada das fibras foi realizada em Macapá, -Amapá, onde foi coletado cerca de 20 kg do caroço para beneficiamento e retirada das fibras, o que ocorreu manualmente. Após a retirada das fibras os caroços foram descartados.

A Figura 4 mostra como os resíduos agroindustriais podem ser encontrados nas ruas, a céu aberto, sem destinação final adequada em Macapá – AP.

Figura 4 – Descarte dos caroços do açaí na cidade de Macapá, Amapá - Brasil



A seguir tem-se uma imagem mais detalhada do fruto, caroço e fibras (Figura 5).

Figura 5 – Fruto do açazeiro, caroço e fibra do açaí



Legenda: Açaí (a) fruto, (b) caroço do açaí e (c) fibra do açaí. Fonte: LOPES (2019).

5.2.3 Água tratada

A água utilizada na produção dos compósitos foi proveniente do sistema de abastecimento da cidade local – CAGEPA- Companhia de Água e Esgoto da Paraíba.

5.3 CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO GESSO NO ESTADO ANIDRO (PÓ)

Para o ensaio de granulometria foi utilizada a NBR 12127 (1997) que consistiu em passar uma quantidade de 50 g de gesso, previamente seca em estufa à 40 ± 4 °C, por uma sequência de 4 peneiras, padronizadas, da maior para de menor abertura: 0,84 mm (20#), 0,420 mm (40#), 0,210 mm (70#), 0,105 mm (140#) e, logo após pesou-se a massa de gesso retida em cada uma das peneiras (ABNT, 2017). Essa sequência foi realizada cinco vezes, sendo os resultados calculados com a média das massas que não diferissem em 5% ou quando os resíduos fossem menores que 2 g. A diferença de massa entre as peneiras não pode ultrapassar 0,1 g, conforme a NBR 12127 (1997).

O valor da massa unitária deve ser determinado de acordo com as especificações da NBR 12127 (1997).

Para realizar essa determinação, a amostra de gesso deve ser passada por um funil até encher um recipiente cilíndrico de material não corrosivo com capacidade de 1000 cm³ (ABNT-12127, 2017). Esse processo foi repetido cinco vezes. O experimento utilizou um cilindro com valores de raio e altura conhecidos, e a equação 2 gerou o volume do cilindro.

Equação 2:

$$V = \pi r^2 h$$

Para calcular o módulo de finura foi feita a soma das percentagens cumulativas mantidas nas peneiras e dividindo essa soma por 100. O Módulo de finura foi calculado aplicando a equação 3, conforme a ABNT, (1991).

Equação 3:

$$MF = \Sigma Ra/100$$

Onde:

MF = Módulo de finura

ΣRa = Somatório do percentual retido acumulado em cada peneira

5.4 CARACTERIZAÇÃO DA FIBRA DE AÇAÍ: ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA

O ensaio de absorção de água em fibras vegetais é realizado em busca da determinação da capacidade de uma fibra vegetal em absorver água, o que pode ser um parâmetro importante de suas propriedades e de desempenho.

Para a realização do ensaio, seguindo a metodologia descrita na pesquisa de Lopes et al. (2011), as fibras não tratadas foram pesadas (1 g) e imersas em becker com água destilada; após isso, as fibras foram retiradas e secas em papel absorvente; em seguida, pesadas em balança após 0,5, 2 e 24 h do início do ensaio. Os resultados foram determinados através da equação 4.

Equação 4:

$$\text{Absorção de água (\%)}: (P_i - P_o/P_o) \times 100$$

Onde: P_o – peso seco inicial, em gramas

P_i – peso após imersão em água, em gramas

5.5 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO GESSO/FIBRA

A microscopia óptica é capaz de gerar imagens da morfologia de um material. Através da microscopia óptica da superfície de fratura do compósito é possível avaliar a dispersão das fibras na matriz gesso além da interface fibra/matriz. Para análise da

microestrutura do compósito, o ensaio foi realizado em microscópio digital HIROX, modelo KH – 1300, localizado no Laboratório de Avaliação e Desenvolvimento de Biomateriais – CertBio, da Universidade Federal de Campina Grande.

5.6 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA PARA ENSAIO DE FLEXÃO

Para a confecção dos corpos de prova prismáticos e das placas, de acordo com a NBR 13207 (ABNT - 1994), foi utilizado 1 (um) saco de gesso comercial de 40 kg e formas de ferro conforme Figura 6.

Figura 6 - Formas de ferro para confecção dos corpos de prova



Fonte: acervo do autor.

Foram confeccionados 16 corpos de prova de formato prismático com as dimensões 4,0 x 4,0 x 16,0 cm utilizados para os ensaios flexão três pontos. A adição das fibras de açaí ocorreu em volume, nas seguintes porcentagens 0, 1,5, 3 e 5 %.

Tabela 3 – Confeção dos corpos de prova para teste de flexão

Percentual das fibras de açaí (%)	Quantidade	Massa de gesso (g)	Peso em fibras (g)	Adição de água (ml)
0	4	300	0	200
1,5	4	300	1,92	200
3	4	300	3,84	200
5	4	300	6,40	200

Na figura 7 tem-se a pasta de gesso com e sem adição de fibra.

Figura 7 - Imagem à esquerda: Pasta de gesso sem fibra; Imagem à direita Pasta de gesso com adição de fibra



Legenda: Processo de adição da fibra de açaí à pasta de gesso.

Após a confecção dos corpos de prova, aguardou-se 48 h para desmoldagem.

Figura 8 - Corpos de prova após desmoldagem



5.7 ENSAIOS MECÂNICOS

5.7.1 Resistência à flexão em três pontos

Os ensaios para caracterização mecânica em flexão dos compósitos foram realizados no Laboratório de Propriedades Mecânicas, da Unidade Acadêmica de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Campina Grande, PB, UFCG- PB, observando-se as prescrições da norma NBR 12142 (2010).

Foram ensaiadas 16 amostras, sendo quatro (4) para cada um dos quatro tratamentos. O rompimento das amostras dos tratamentos 0, 1,5, 3 e 5% foi realizado numa máquina universal, marca MTS Material Teste System, que pode ser observada na figura 9, submetido a um carregamento contínuo, até ocorrer à ruptura.

Os corpos de prova foram posicionados de forma a permitir que a carga fosse aplicada no centro dos mesmos, sendo eles apoiados sobre dois pontos distando entre si em 100 mm.

Figura 9 - Máquina Universal de ensaios MTS



O ensaio foi realizado para obtenção do módulo de elasticidade e da resistência à flexão dos corpos de prova após o tratamento. A fórmula utilizada para calcular o módulo de elasticidade é a seguinte:

$$\text{Módulo de Elasticidade (E)} = P \cdot L^3 / 48 \cdot f \cdot I$$

Onde:

P= carga máxima suportada, em Newtons;

L= distância entre apoios, em metros;

f= flexa, em metros;

I= momento de inércia do corpo de prova.

A resistência à flexão (ou tensão na flexão), é a capacidade de um material de resistir à carga aplicada até ocorrer a falha. A fórmula utilizada para calcular a resistência à flexão é a seguinte:

$$\sigma = (M_f \times y) / I$$

Onde:

M_f= momento fletor;

y = distância entre a linha neutra e a fibra mais afastada;

I = momento de inércia.

6 ENSAIOS TÉRMICOS

6.1 Análise de desempenho térmico

Foram confeccionadas 20 placas com as dimensões de 19,0 cm de altura x 15,0 cm de largura e 1,0 cm de espessura (Figura 10) confeccionadas de acordo com a tabela abaixo (Tabela 4). A adição das fibras de açaí ocorreu em volume, nas seguintes porcentagens 0, 1,5, 3 e 5 %. Para o cálculo da adição de fibras em gramas, foi calculado o volume da forma utilizada para fazer as placas e o peso específico da fibra de açaí, e a partir desse volume foi obtido o peso em gramas para cada proporção, que são também apresentados na Tabela 4.

Tabela 4 – Composições utilizadas (massa) para os compósitos relacionadas a fibra de açaí

Percentual das fibras de açaí (%)	Quantidade de placas produzidas	Massa de gesso (g)	Adição de fibras de açaí (g)	Volume de água (ml)
0	5	700	Sem adição de fibra	450
1,5	5	700	3,2	450
3,0	5	700	6,4	450
5,0	5	700	10,67	450

Assim, as placas confeccionadas com o material estudado foram colocadas em câmara térmica, por 24 horas cada uma, produzida com material isolante (madeira e isopor).

Figura 10 - Imagem à esquerda: placa de gesso com adição de fibra de açai; Imagem á direita: placa de gesso sem adição da fibra de açai



Nas figuras 11 e 12 têm-se imagens da câmara térmica utilizada para esta etapa da pesquisa.

Figura 11 – Câmara térmica fechada

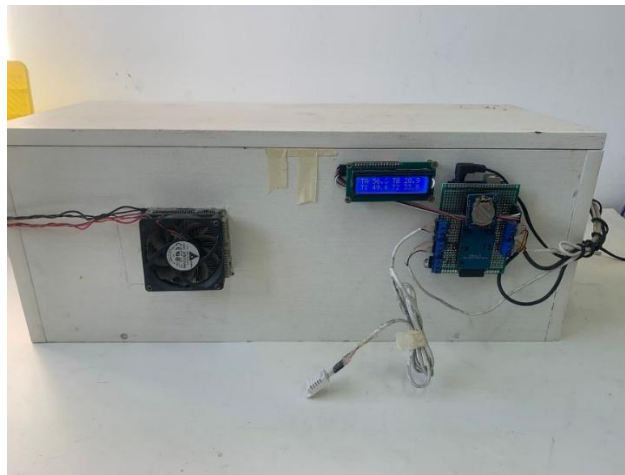


Figura 12 – Interior da câmara térmica



Foram colocados quatro sensores de temperatura acoplados dentro e fora da câmara, que junto a um sistema de aquisição de dados Arduino® reúnem e registram os dados que foram obtidos. O ensaio foi realizado na câmara climática localizada no LaCRA, estando, durante todo experimento, submetida à temperatura de $24,0 \pm 1,0$ °C.

A caixa do experimento foi montada em MDF (Medium Density Fiberboard) apresentando dimensões de 56,0 x 23,0 x 20,0 cm e 1,5 cm de espessura, e seu isolamento interno feito por isopor com 1,2 cm de espessura. O protótipo foi dividido em dois ambientes com dimensões iguais, onde as placas em análise foram colocadas dividindo esse ambiente.

A caixa térmica foi utilizada para análise do gradiente de temperatura e atraso térmico das placas com os seguintes percentuais de fibra de açaí: 0%, 1,5%, 3% e 5%. Sensores de temperatura (DHT22) foram instalados no centro de cada um dos ambientes, com o intuito de registrar a temperatura do ar. Para evitar a exposição a correntes de ar e radiação, todos os sensores foram isolados utilizando isopor.

Para o cálculo da condutividade térmica das placas estudadas foram colocadas em um medidor de fluxo de calor Lambda HFM 446, localizado no Laboratório de Construções Rurais e Ambiente, da Universidade Federal de Campina Grande, onde as amostras são testadas entre dois sensores de fluxo de calor com um

gradiente de temperatura. Cada placa foi submetida a ensaio durante 35 minutos. A figura 13 mostra o equipamento utilizado.

Figura 13 - Equipamento utilizado para determinação da condutividade térmica



7 ESTATÍSTICA

O delineamento experimental foi o inteiramente casualizado (DIC), utilizando quatro tratamentos e cinco repetições para os ensaios de análise mecânica e análise térmica.

Os dados obtidos foram avaliados por meio da análise de variância (ANOVA), as médias comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

As análises estatísticas foram realizadas no software Assistat versão 7.7 (2017).

8 RESULTADOS E DISCUSSÃO

8.1. CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DO GESSO NO ESTADO ANIDRO

Durante a análise granulométrica do gesso, foi observado que 95% dos grãos passaram na peneira 0,21mm, sendo que a massa unitária apresentou resultado médio de 711,41 kg.m⁻³, resultados que podem ser observados na tabela abaixo (Tabela 5).

Tabela 5 – Caracterização física do gesso

Caracterização	Valor	Unidade	Limite
Módulo de finura	1,27	-	>1,1
Massa unitária	711,41	Kg.m ⁻³	> 700

Fonte: NBR 12.127 (2019).

Observa-se que a distribuição granulométrica fina que é essencial para a obtenção de uma distribuição homogênea das fibras de reforço na pasta de gesso. Esse resultado é consistente com estudos que destacam a importância da granulometria para as propriedades mecânicas dos compósitos (Silva et al., 2023).

Seguindo as orientações da ABNT, conforme a NBR 12-127 (2019), o módulo de finura do gesso foi 1,27, o que seguiu o padrão de limite maior que 1,1. Para os gessos para revestimento, recomenda-se que tenham, no mínimo, 90 % passante na peneira de abertura de 0,21 mm, o que foi atingido nesse ensaio.

A NBR 13-207 (1994) orienta que a massa unitária para o gesso de construção deve ter valor maior que 700 kg. m⁻³ (0,7 g/ cm⁻³), no ensaio foi obtido o valor de 711,41 kg.m⁻³.

8.2 ENSAIO DE ABSORÇÃO DE ÁGUA DA FIBRA DE AÇAÍ

Na tabela 6 são apresentados os valores de absorção de água da fibra de açaí nos tempos de 0,5, 2 e 24 h.

Tabela 6 - Valores de absorção de água da fibra de açaí em %

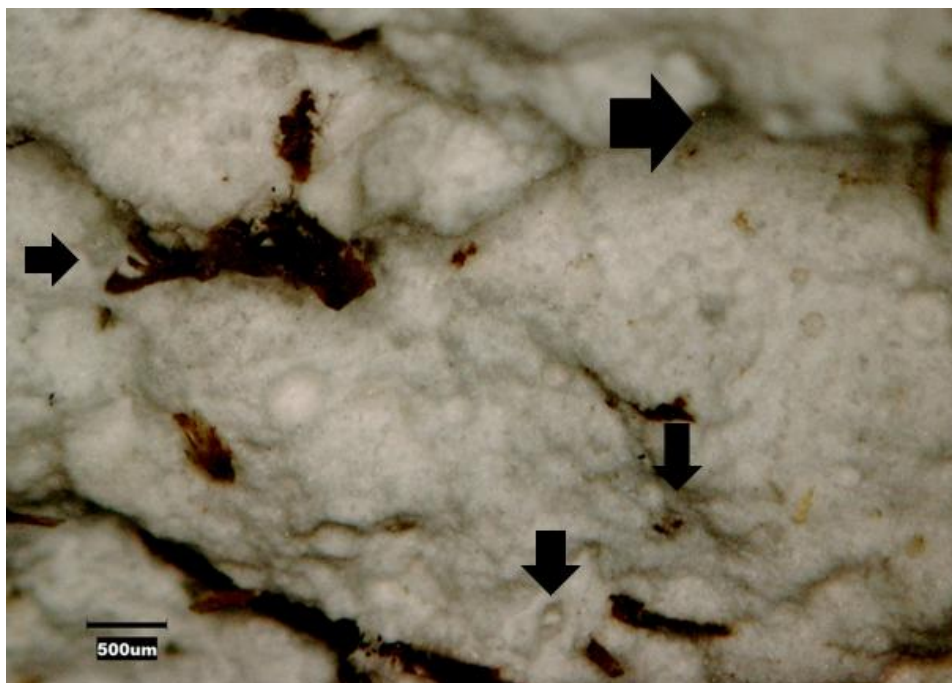
Tempo (h)	Absorção de água (%)
0,5	120
2	91
24	0

A difusividade por espaços vazios ou defeitos e a natureza higroscópica da fase dispersa contribuem para a absorção de água em compósitos com fibras naturais (Santos, 2010).

8.3 CARACTERIZAÇÃO DO COMPÓSITO GESSO/FIBRA

A microestrutura dos compósitos produzidos é apresentada nas figuras 14, 15 e 16. A amostra utilizada para a análise foi a de 3% de adição de fibra, afim de analisar a interação entre a matriz gesso e o reforço utilizado.

Figura 14 - Vista microscópica do compósito gesso e fibra de açai

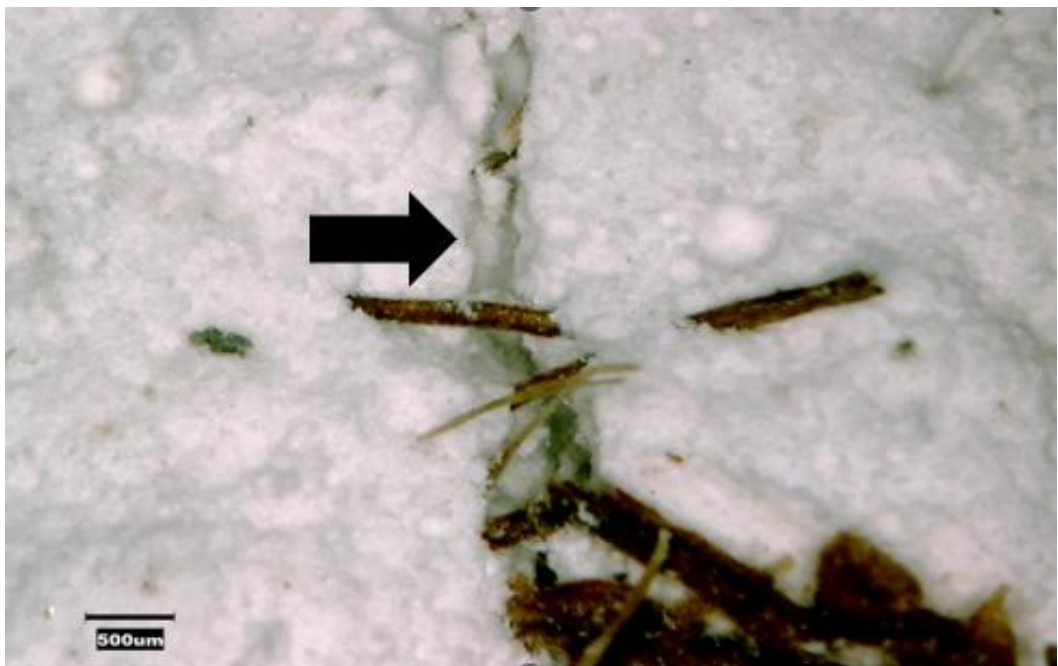


Pode se dizer que houve um aumento de vazios no compósito, devido as propriedades intrínsecas da fibra, como o alto teor de lignina, que pode aumentar a porosidade do material (Shiroma et al, 2016). Para ensaios de flexão em compósitos, a interação entre matriz e reforço é de suma importância pois é esperado que aconteça uma transmissão uniforme de cargas entre os constituintes do material, a presença de poros, vazios e bolhas causa uma fraca interação no compósito (Casagrande et al, 2020). Este tipo particular de erro tem causado questões significativas de melhores métodos de processamento, pois diminuem o desempenho mecânico, como resistência à flexão, parâmetro estudado nessa pesquisa. Pode

ocorrer diminuição da resistência mecânica, quando compósitos com presença de poros e vazios são submetidos a aplicação de uma carga (Montoro, 2014).

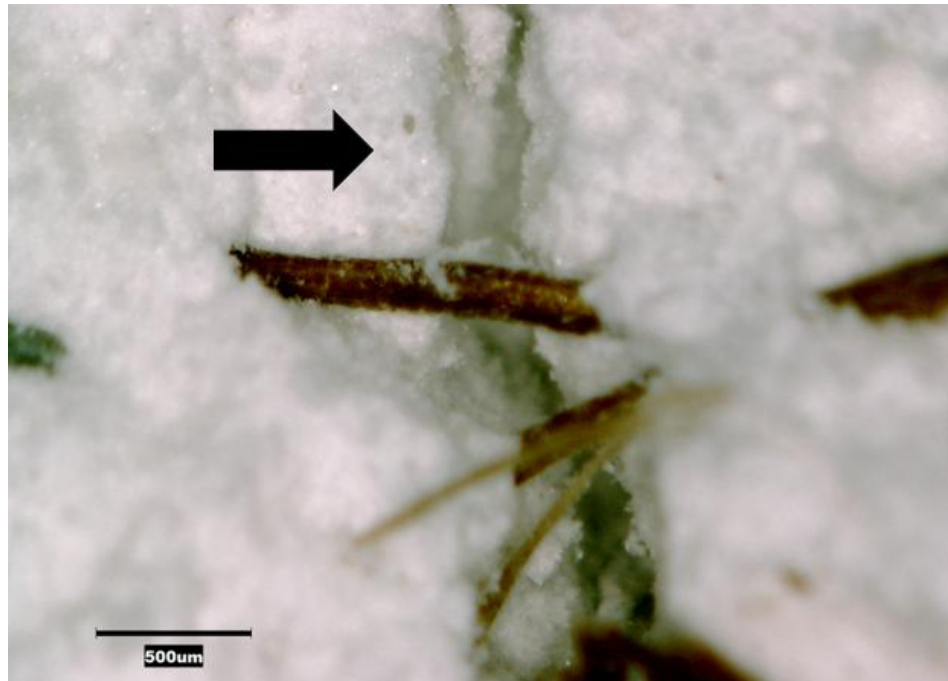
A utilização de fibras naturais em compósitos de matriz predominantemente hidrofóbica pode resultar em baixo desempenho na interface fibra/matriz, de acordo com Melo e Lima (2017), a baixa polaridade entre a matriz e a fibra está ligada a esta adesão interfacial inadequada, que leva à formação de vazios na interface e ao início de deterioração e falhas que comprometem o desempenho mecânico dos compósitos.

Figura 15 - Aglomerados de fibras



Na figura 15 observa-se que não ocorreu distribuição espacial uniforme do reforço na matriz, onde é possível identificar regiões onde ocorreu um aglomerado das fibras vegetais, além da presença de vazios nas regiões onde a fibra ancora, fatores que podem contribuir para uma baixa interação entre a matriz e o reforço. Os vazios encontrados na região onde as fibras vegetais se encontram tendem a apresentar formatos irregulares.

Figura 16 - Presença de vazios no compósito



Observa-se na figura 16, presença de vazios ao redor das fibras, ocasionando baixa resistência no compósito. Resultados semelhantes são encontrados na literatura, onde as causas incluem a porosidade do material e do compósito, microfissuras presentes neste compósito, o formato e o tamanho das fibras adicionadas e a interface frágil entre o resíduo e o gesso (Veloso, 2021).

8.4 RESISTÊNCIA À FLEXÃO

Apresenta-se na tabela 7 os valores médios de resistência a flexão em MPa para os quatro tratamentos estudados, de acordo com cada proporção de fibra de açaí após o ensaio de resistência à flexão.

Tabela 7 – Valores médios de resistência a flexão dos compósitos

% Fibra	Resistência a flexão (MPa)
0,0	0,691 a
1,5	0,316 b
3,0	0,391 b
5,0	0,375 b
dms: 0,14002 CV%: 15,57	

De acordo com os resultados obtidos após ensaio de flexão, houve queda na resistência a flexão para os três tratamentos utilizando a fibra de açai. De maneira geral, os compósitos apresentaram menor resistência à flexão se comparados com o gesso puro. O tratamento com 1,5% de fibra de açai apresentou uma queda de resistência em 55%, enquanto que os tratamentos de 3% e 5% de adição da fibra vegetal apresentaram uma redução de aproximadamente 45%. Apesar de os três tratamentos com reforço apresentarem valores estatisticamente iguais, observa-se valores numericamente maiores nos tratamentos com 3 e 5% de fibra, o que pode sugerir que novas proporções de adição possam apresentar um melhor resultado de resistência mecânica. Por se tratar de uma fibra curta, pode ocorrer uma menor área de contato na interface fibra/matriz, esse resultado foi observado por Costa et al. (2014), que analisaram dois tipos de fibras (bambu e sisal) com tamanhos diferentes, concluindo que a fibra de menor tamanho apresentou interação mais fraca com a matriz quando comparada a de maior tamanho.

De acordo com Alvarenga et al. (2022) e os resultados obtidos nesta pesquisa, o comportamento mecânico do compósito é atribuído à ocorrência de fibras na matriz, já que ocorre um depósito dessas fibras nos possíveis espaços vazios disponíveis nessa matriz, no entanto, em maior proporção de quantidade, ocorre uma diminuição na propriedade mecânica devido ao aprisionamento de ar no compósito, que é resultado da aglomeração dessas fibras, podendo ocorrer uma falta de aderência entre a fibra vegetal e a matriz de gesso devido à baixa compatibilidade entre esses materiais, portanto, ocasionando baixa resistência mecânica. Essa conclusão citada pelos autores serve como parâmetro para interpretação dos resultados obtidos neste experimento.

AL Ridha et al. (2021), estudaram os efeitos de compósitos de matriz gesso reforçados com fibra de sisal picada, verificando que ao aumentar o comprimento da

fibra, obtêm-se melhores resultados mecânicos, reforçando que o tamanho da fibra é um parâmetro importante. Araújo et al. (2017), analisaram a incorporação de fibras de sisal e bagaço de cana-de-açúcar no gesso, em percentuais de 1 a 3%, observando que para valores acima de 1% de adição de fibra de sisal, os testes de flexão em três pontos mostraram que os corpos de prova com adição de teores de fibra apresentaram um comportamento de maior plasticidade, ou seja, mostraram-se com uma maior elasticidade.

Foi observado que a presença da fibra modifica o modo de ruptura do compósito (a ruptura não é instantânea como observada para a matriz de 0,0%). Nesta pesquisa, esse resultado foi observado para os 3 tratamentos com adição de fibra de forma similar, para ambos os tratamentos não houve rompimento brusco no corpo de prova após o ensaio de flexão. Após a aplicação das forças os corpos de prova mantêm suas partes unidas pela fibra, não apresentando rompimento brusco. Esse resultado é semelhante ao encontrado por Cunha (2012), que estudou compósitos de gesso reforçados com fibra de coco seco, obtendo o mesmo comportamento em relação à resistência à flexão, onde os compósitos não apresentaram ruptura brusca com a adição das fibras, suportando mais carga. Silva et al. (2014), estudaram compósitos de gesso com vários tipos de fibras (banana, sisal, basalto), também relataram que as fibras conferiram ao compósito um comportamento mais dúctil no ensaio mecânico.

Oliveira et al. (2020) observaram que a resistência à flexão estática aumentou à medida que ocorreu o acréscimo na porcentagem dos reforços de fibra de madeira de eucalipto, os resultados variaram entre 3,38 a 5,82 MPa, resultado diferente do obtido nessa pesquisa.

Na tabela 8 são apresentados os valores médios do módulo de elasticidade para os corpos de prova sem adição de fibra (0%) e com adição de fibra (1,5, 3 e 5%).

Tabela 8 – Média do módulo de elasticidade dos compósitos

% de fibra	0	1,5	3	5
Módulo de elasticidade	0,2394 a	0,1535 a	0,1678 a	0,1378 a
	(GPa)	(GPa)	(GPa)	(GPa)

dms= 0,10980 CV%= 29,93

A partir dos resultados exibidos na tabela 8, infere-se que os compósitos fabricados com a fibra vegetal de açaí apresentaram menores valores de módulo de elasticidade, comparados com o resultado do gesso puro. Para o tratamento sem adição de fibra de açaí têm-se um módulo de elasticidade de 0,23 GPa, ao inserir 1,5% da fibra houve uma queda de 35,88%. Com 3% de fibra a queda foi de 30%, enquanto que no tratamento de 5% de adição de fibra vegetal do caroço de açaí, o valor foi de 42% (queda), apresentando maior valor de redução. De acordo com Lopes (2011), o módulo de elasticidade indica a rigidez de um material, como os resultados foram inferiores ao da matriz plena, as fibras não se comportaram como carga de reforço.

Meira (2022), produziu compósitos de gesso e fibra de coco, que apresentam tamanho maior do que as usadas neste estudo, nas proporções de 0%, 1,5%, 3% e 5%, semelhantes a este estudo, foi observado que a presença da fibra vegetal também reduziu a resistência a flexão dos compósitos, a matriz de gesso puro apresentou resistência de 0,011 MPa, enquanto que nos tratamentos com fibras essa resistência variou de 0,010 a 0,006 MPa. Para o parâmetro módulo de elasticidade também foi observado queda em relação ao valor obtido para a matriz (0,028 GPa). Na mesma perspectiva, Barbosa et al. (2022), buscaram analisar compósitos com inserção de fibra vegetal de juta, nas proporções de 2,5 e 5%, quando comparados à matriz plena, os materiais obtiveram valores inferiores de resistência à flexão e também de módulo de elasticidade, indicando que a fibra não se comportou como carga de reforço e sim como carga de enchimento, o comportamento do módulo de elasticidade ocorre devido as frações de volume dessa fibras apresentarem processamento difícil, o que dificulta uma estrutura composta com ausência de poros e falhas, resultado semelhante ao encontrado nesse estudo.

Medeiros (2017), estudou compósitos utilizando gesso como matriz com a adição de cinco tipos de resíduos (Papel Kraft, EVA, papel comum, EPS e resíduos de couro), obtendo os módulos de elasticidade destes materiais. Observou-se que em relação a matriz gesso (2,72 GPa), houve considerável diminuição no módulo de elasticidade, para todos os tratamentos estudados, o compósito que apresentou menor módulo de elasticidade foi o EPS 3%, com resultado de 0,99 GPa.

Para fibras de comprimentos curtos, menor que o comprimento crítico, não ocorre ancoragem suficiente na matriz, que gere tensões de escoamento ou de

ruptura nas fibras, o que impede que as fibras atuem de forma eficiente no compósito (Macieira, 2011). As fibras curtas podem apresentar menor desempenho quando comparadas a fibras maiores, do ponto de vista da resistência, outro fator importante a ser considerado é a forma geométrica da seção transversal da fibra, ocorre maior empacotamento nas fibras de forma elíptica (Zhang et al. 2011).

Villela et al. (2020), estudou compósitos de gesso com adição de embalagens multicamadas como reforço, após ensaio de flexão foi verificado uma resistência média de 5,12 MPa, ao aumentar o teor de reforço ao compósito de gesso (para adições acima de 7%), ocorreu à diminuição do módulo de elasticidade destes compósitos, resultado semelhante ao encontrado nesse estudo para os três tratamentos tratamento com fibra de açaí.

Nesse estudo, os testes de flexão em três pontos revelaram que a adição de fibras de açaí aumenta a plasticidade e elasticidade do material, comportamento que alinha com as descobertas de Pereira et al. (2021), que reportaram uma mudança no modo de ruptura de compósitos reforçados com fibras naturais, promovendo uma falha mais dúctil em vez de frágil. Os resultados de Borges (2019), mostraram redução no módulo de elasticidade para compósitos de concreto reforçados com fibras de sisal e rami, nas proporções de 0,25 e 0,50, que é uma baixa incorporação de fibra, obtendo 24,7% de redução de resistência quando comparado a testemunha, o que pode ser explicado devida a baixa fluidez da mistura matriz/reforço. A variação no módulo de elasticidade com a adição de fibra de açaí observada neste estudo sugere que a fibra pode tanto aumentar quanto reduzir a rigidez do compósito, dependendo da porcentagem adicionada e interface entre matriz e reforço. Este fenômeno é corroborado por Costa e Lima (2024), que também observaram um aumento no módulo de elasticidade com adições moderadas de fibra natural.

Para testes de flexão em compósitos, a interação da matriz e do reforço é crucial pois espera-se que os constituintes transmitam cargas de forma uniforme. O estudo de Lucolano et al. (2015), mostrou que os compósitos de gesso com fibra de abacá apresentaram baixos valores de resistência à flexão, resultado semelhante ao encontrado por Antunes et al. (2019), que estudou compósitos com casca de arroz como reforço. A literatura busca um teor ideal de fibra, contudo a variação de características como comprimento, tipo e granulometria, são fatores limitantes e que devem ser aprofundados, além disso, a formulação do compósito e a dispersão não

uniforme das fibras na matriz estão associadas a uma redução das resistências à flexão (Rocha et al., 2019).

Ferraes (2017), analisou compósitos de gesso reforçados com fibra de *Calotropis procera*, em concentrações de 0,5, 1,5 e 2,0%. Dentre os compósitos estudados, não ocorreu diferença na resistência entre os grupos com 0,5 e 1,0% de adição fibra, entretanto há evidente diminuição quando se compara aos corpos de prova com 2% de fibra de *Calotropis procera*, popularmente conhecido como ciameira, que apresentou o menor valor de resistência (5,10 MPa). A autora constatou que com o aumento do percentual de fibras na matriz gesso, aumentam-se os defeitos na matriz, isso ocorre devido a fraca interação entre as fases do compósito.

Em suma, é importante destacar que por se tratar de um processo manual, inúmeros fatores podem contribuir e interferir no resultado final, como a presença de bolhas, trincas e não homogeneização da matriz/reforço, devido a disposição de forma descontínua. Gehlen (2014), reitera que a resistência mecânica de compósitos com fibras curtas, como a utilizada nesse estudo, irá depender da eficácia de como as tensões são distribuídas no material, da interface e magnitude da interação entre a matriz (gesso) e o reforço (fibra de açaí).

Veloso et al. (2021), produziram compósitos à base de gesso reforçado com resíduos de cacau, observando que o compósito sem adição do resíduo apresentou maior resistência à flexão e à medida que aumentou-se o teor de adição, houve maior queda na resistência do material, semelhante ao resultado encontrado nesse estudo, esse comportamento também foi observado para o parâmetro módulo de elasticidade, com 5% de adição do resíduo de cacau, o módulo de elasticidade apresentou queda de 2528,84 MPa para 442,99 MPa, apresentando diferença estatística. Os autores destacam a presença da lignina no resíduo, também presente na fibra de açaí, pode causar aumento da porosidade no compósito, causando uma fraca interação entre as fases matriz e reforço, assim como a dispersão não uniforme do reforço na matriz de gesso.

8.5 DESEMPENHO TÉRMICO

Nesse ensaio térmico com os compósitos de gesso com a fibra de açaí, o objetivo principal foi o cálculo do gradiente de temperatura, da condutividade térmica

e do atraso térmico. O gradiente de temperatura é a diferença, medida em graus Celsius, da maior temperatura atingida na face exposta a fonte de calor e da maior temperatura atingida na face oposta a fonte de calor. O atraso ou retardo térmico é o tempo que leva uma diferença térmica ocorrida num dos meios para manifestar-se na superfície oposta do fechamento. A tabela 9 fornece os dados coletados referentes à os valores de coeficiente do gradiente de temperatura para os compósitos estudados.

Tabela 9 - Média do gradiente de temperatura para as composições estudadas em graus Celsius (C°)

% de Fibra	Média do gradiente de temperatura (C°)
0	18,66 a
1,5	18,98 a
3	18,41 a
5	17,27 a
dms= 5.90757 CV%= 17,79	

Analisando-se os dados da Tabela 9, observa-se menor valor de gradiente térmico para o tratamento de 5% de adição de fibra de açaí, apresentando 1,39 (C°) a menos que o tratamento sem adição da fibra. A análise estatística não apresentou resultados significativos para esse parâmetro.

Na tabela 10 são apresentados os valores médios do parâmetro Condutividade Térmica (k) para os compósitos estudados.

Tabela 10 - Médias da Condutividade térmica para as composições estudadas

% de Fibra	Condutividade Térmica (W/ (m.K)
0 %	0,40966 a
1,5 %	0,31772 a
3 %	0,37542 a
5 %	0,39530 a
dms= 0,9912 CV%=14,61	

De acordo com os resultados exibidos na tabela 10, não houve efeito significativo entre os tratamentos avaliados, onde a testemunha apresentou-se

estatisticamente semelhante aos tratamentos com 1,5, 3 e 5% de adição de fibra vegetal de açai. O gesso já apresenta propriedades que o tornam um bom isolante térmico. Barbosa (2015), apresentou em seu estudo valores de condutividade térmica de bloco de gesso reciclado equivalente a $0,46 \text{ W/m.K}$, e os resultados apresentados nesse estudo são da ordem de $0,40 \text{ W/m.K}$, realizando a comparação entre os estudos, essa diferença é atribuída ao fato de o autor ter utilizado gesso reciclado.

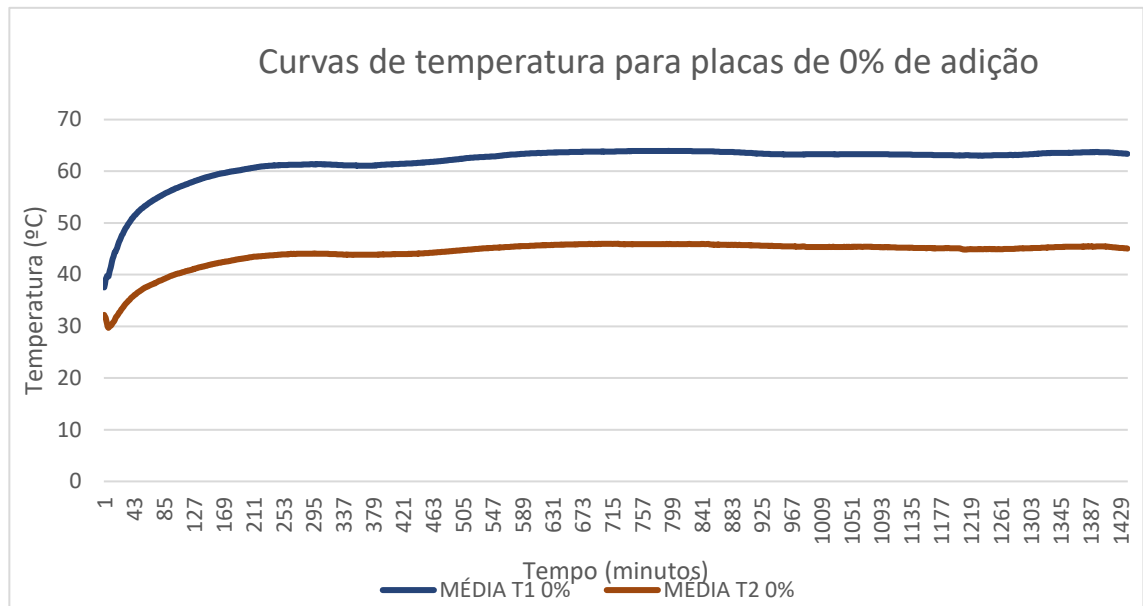
Diferentes estudos com placas de gesso para uso como forros de cobertura buscam um material com a capacidade de reduzir a transferência de calor para o ambiente externo, ou seja, materiais que apresentem menor condutividade térmica. Em seu estudo, Medeiros (2016), produziu blocos de gesso com resíduos de EVA buscando avaliar o desempenho térmico, o material produzido apresentou bom desempenho térmico, com resistência térmica de $0,56 \text{ m}^2.\text{K/W}$ contra $0,51 \text{ m}^2.\text{K/W}$ da testemunha. Braiek et al. (2017), desenvolveu placas de gesso com adição de fibra de palma, onde os resultados mostraram que com 20% de fibra houve uma redução na condutividade térmica, de $0,174 \text{ W/m.K}$, onde o valor da referência foi de $0,452 \text{ W/m.K}$.

A análise realizada por Medeiros (2017), que estudou compósitos de gesso com fibra de sisal e resíduos de papel reciclado, observou que os materiais apresentaram propriedades térmicas semelhantes, atendendo ao esperado, devido ao sisal apresentar baixo volume quando comparado a quantidade de gesso utilizada nos compósitos, não ocorrendo variação significativa na condutividade térmica. Macedo (2020) observou em que os corpos de prova com adição do resíduo de EVA apresentaram condutividade térmica de $0,3337 \text{ W/m.K}$, enquanto que o corpo de prova referência (sem EVA) apresentou valor de $0,3557 \text{ W/m.K}$, resultado semelhante ao encontrado nesse estudo, onde houve redução numérica da condutividade com o uso da fibra. Rosa (2020), destaca que fibras curtas são mais difíceis de serem alinhadas e empacotarem, gerando um maior número de vazios no compósito, o que causa baixa condutividade térmica no material, parâmetro esse que é governado pela quantidade de vazios presente na amostra.

No tocante ao parâmetro atraso térmico, foi observado que para todos os tratamentos utilizando a fibra vegetal de açai, o atraso térmico foi nulo, ou seja, não houve diferença no tempo em que a temperatura máxima foi atingida em ambas as faces da placa estudada. Observando-se a figura 17, 18, 19 e 20 pode se verificar que

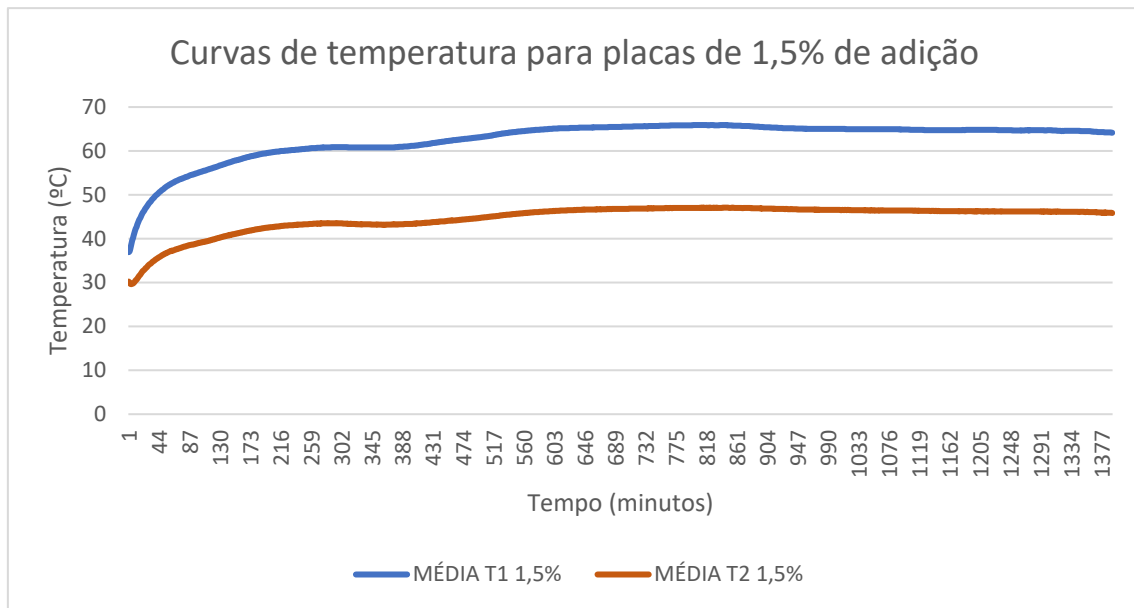
as faces (exposta e oposta a fonte de calor) atingiram a sua temperatura máxima ao mesmo tempo.

Figura 17 – Curvas de temperatura do gesso sem tratamento com fibra de açai



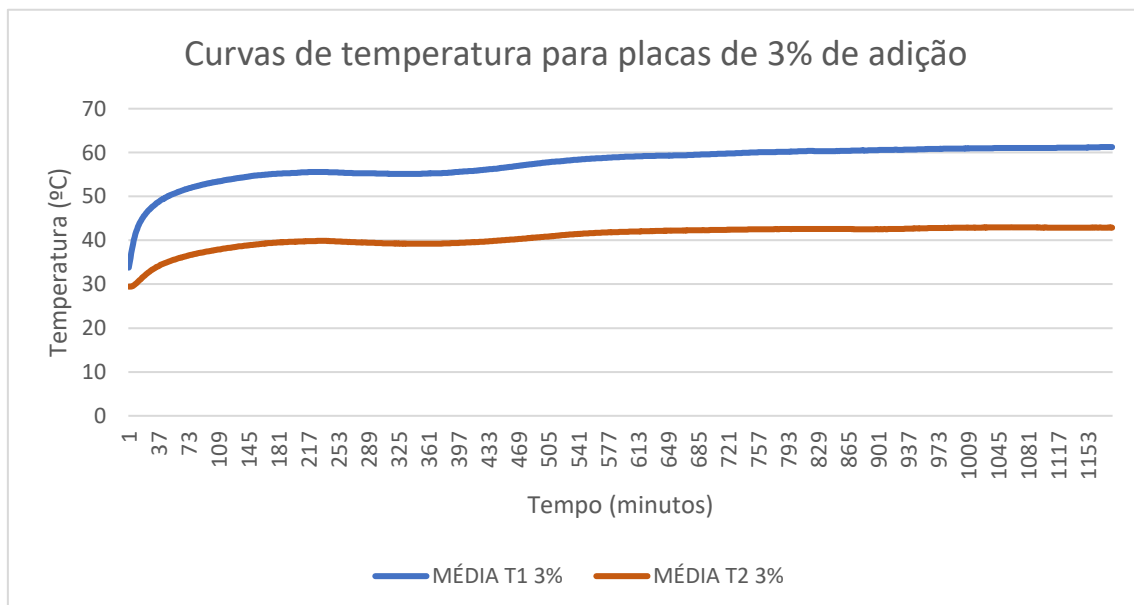
Legenda: T1 (temperatura da face exposta ao calor); T2 (temperatura da face oposta ao calor). Fonte: acervo do autor.

Figura 18 – Curvas de temperatura para o compósito de gesso com 1,5% de fibra de açai



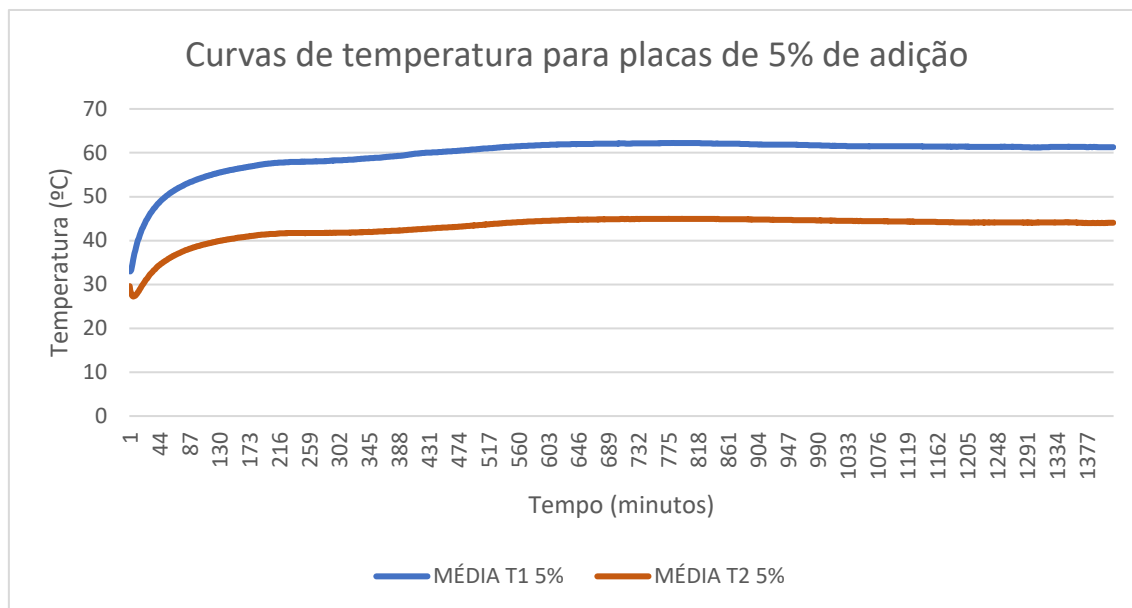
Legenda: T1 (temperatura da face exposta ao calor); T2 (temperatura da face oposta ao calor). Fonte: acervo do autor.

Figura 19 – Curvas de temperatura do compósito de gesso com 3% de fibra de açai



Legenda: T1 (temperatura da face exposta ao calor); T2 (temperatura da face oposta ao calor). Fonte: acervo do autor.

Figura 20 – Curvas de temperatura do compósito de gesso com 5% de fibra de aço



Legenda: T1 (temperatura da face exposta ao calor); T2 (temperatura da face oposta ao calor). Fonte: acervo do autor.

Outros estudos que utilizam materiais naturais adicionados ao gesso, como o de Pinto et al. (2022), analisaram parâmetros térmicos de compósitos de gesso reforçados com manta de sisal, com adição de 2 e 2,29%, verificando uma melhor capacidade do material de absorver energia até elevar a temperatura interna observando que quanto maior a adição de fibras, menor a condutividade térmica do material, ou seja, ele se comporta melhor termicamente. Enquanto que Silva et al. (2018), analisaram o desempenho térmico de compósitos de cimento Portland reforçados com fibra natural de coco, observando que os corpos de prova sem presença da fibra apresentaram maior facilidade na passagem de calor quando comparada aos corpos de prova com a presença de fibras de coco, obtendo melhores resultados na proporção de 10% de fibra.

Dentro desse viés, Lima (2022), analisou as propriedades térmicas de compósitos de gesso com incorporação de fibra de coco seco nas proporções de 0, 1,5, 3 e 5%, semelhantes a este trabalho, e observou que as curvas de temperaturas para as placas analisadas se apresentaram de forma semelhante, com adição da fibra e sem a adição, também não ocorreu variação estatística na condutividade térmica entre o compósito de gesso puro e os que utilizaram a fibra de coco como reforço, resultados semelhantes aos encontrados nesta pesquisa.

Rosa et al. (2019), analisaram compósitos de resina com adição de resíduo agroindustrial de sabugo de milho, destinados para isolamento térmico de residências, observando que os compósitos não apresentaram diferença estatística na análise térmica, apresentando média de condutividade térmica de 0,111 W/m.K, comprovando a necessidade de análise destes materiais e definição de sua melhor configuração. Silva (2022) estudou placas de matriz cimentícia reforçadas com fibra de sisal e caroá, individualmente, com adição de 1% para cada tratamento, obtendo resultado semelhante para ambas as fibras naturais, onde observou-se menor condutividade térmica comparado as placas sem adição de reforço.

A similaridade nas variações de temperatura entre compósitos reforçados com fibra e os sem reforço sugere que a adição de fibra de açaí não alterou significativamente o comportamento térmico do material, uma observação também confirmada na pesquisa de Almeida e Ferreira (2023), que investigaram os impactos de várias propriedades térmicas em compósitos.

Os compósitos do estudo em questão demonstraram viabilidade térmica de utilização, apresentando propriedades compatíveis aos materiais isolantes térmicos.

9 CONCLUSÃO

Os compósitos de gesso reforçados com fibra de açaí apresentaram menores resistência que o gesso sem adição de fibra, durante o ensaio de flexão. Neste caso, as fibras não apresentaram comportamento de reforço no compósito, agindo como carga de enchimento, não ocorrendo melhoria nas propriedades mecânicas do material estudado.

Com relação as propriedades térmicas, o tratamento com fibras não apresentou melhora significativa nos compósitos para as propriedades analisadas. Os resultados alcançados com e sem fibras foram similares. Nesse sentido, para análise térmica, foi observado que inserção das fibras não altera negativamente as propriedades do material, destacando se como uma alternativa diante da problemática da geração dos resíduos sólidos da indústria do fruto açaí, direcionando esse resíduo para a área de materiais de construção.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Analisar acusticamente os compósitos de gesso e fibra de açai, a partir de ensaio sonoro, afim de observar se a presença da fibra causa mudança na absorção sonora, visto que os materiais fibrosos são comumente utilizados para absorver o som.

Analisar compósito semelhante ao estudando as placas de gesso com a adição da fibra de açai em forma de manta, do tipo sanduíche (gesso + manta de fibra + gesso) como forma de melhorar as propriedades mecânicas e térmicas.

Analisar outras proporções de adição da fibra de açai.

REFERÊNCIAS

___NBR 12128– Gesso para Construção: Determinação das Propriedades Físicas da Pasta de gesso – terceira edição julho de 2019.

___NBR12142 – Concreto - determinação da resistência a tração na flexão de corpos de prova prismáticos – segunda edição novembro de 2010.

___NBR 13207 – Gesso Para Construção Civil. Esta Norma fixa as condições exigíveis para o recebimento do gesso a ser utilizado em fundição e revestimento. Primeira edição Novembro de 1994.

AGHAZADEH, E.; YILDIRIM, H. **Assessment the effective parameters influencing the sustainable materials selection in construction projects from the perspective of different stakeholders**. Materials Today: Proceedings, v. 43, p. 2443–2454, 2021.

ALMEIDA, A. V. DA C. et al. **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**. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, v. 12, n. 3, p. 59, 1 set. 2017.

ALMEIDA, K. S. DE; SOARES, R. A. L.; MATOS, J. M. E. DE. **Efeito de resíduos de gesso e de granito em produtos da indústria de cerâmica vermelha: revisão bibliográfica**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 25, n. 1, 2020.

AL-Ridha, A. S. D. et al. **Effect of Chopped Sisal fiber (CSF) on enhancing the compressive strength of Local Plaster of Paris (LPOP)**. Materials Today: Proceedings, v. 47, n. 10, p. 2575-2579, 2021.

ALVARENGA, B. L. et al. **Avaliação física e mecânica de compósitos de gesso reforçados com fibra de Bambusa tuldoides**. Matéria (Rio de Janeiro), v. 27, n. 2, 2022.

ANTUNES, A., FARIA, P., SILVA, V. et al., **“Rice husk-earth based composites: A novel bio-based panel for buildings refurbishment,”** Construction and Building Materials, v. 221, pp. 99-108, 2019.

ARAÚJO, A. L. A. de et al. **Incorporação de fibras do bagaço de cana-de-açúcar e do sisal na massa de gesso para melhoria das propriedades físico-mecânicas.** II CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, Campina Grande, 2017.

ARDANUY, M.; CLARAMUNT, J.; TOLEDO FILHO, R. D. **Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research.** Construction and Building Materials, v. 79, p. 115–128, mar. 2015.

ASSIS, J. E. S. DE et al. **Análise Técnica da Utilização da Fibra Natural do Coco na Construção Civil.** In: **Construção Civil: Engenharia e Inovação - Vol. 5.** [s.l.] Epitaya, 2023. p. 33–47.

AZZOUZI, D. et al. **Experimental study of the fibres content effect on the heat insulation capacity of new vegetable composite plaster-pea pod fibres.** Sustainable Materials and Technologies, v. 23, p. e00144, abr. 2020.

BARBOSA, A. DE M. et al. **Caracterização de partículas de açaí visando seu potencial uso na construção civil.** Matéria (Rio de Janeiro), v. 24, n. 3, 2019a.

BARBOSA, P. G.; PAULINO AGUILAR, M. T.; DO BOM CONSELHO SALES, R. **Conforto térmico do ambiente construído, eficiência energética e difusividade térmica.** Pensamentos em Design, v. 1, n. 1, p. 95–102, 6 jul. 2021.

BARBOSA, K. S. L.; SANTOS, W. S. T. dos; MENDES, B. H. A.; BANNA, W. R. E.; COSTA, D. da S.; SOUZA, J. A. da S.; COSTA, D. S. da. **Caracterização mecânica de compósitos poliméricos com fibras curtas de juta / Mechanical characterization of polymeric composites with short jute fibers.** Brazilian Applied Science Review, [S. l.], v. 4, n. 3, p. 1474–1481, 2020.

BORGES, A. P. S. N.; MOTTA, L. A. de C.; PINTO, E. B.. **Estudo das propriedades de concretos com adição de fibras vegetais e de polipropileno para uso em paredes estruturais.** Matéria (Rio de Janeiro), v. 24, p. e12364, 2019.

BORJA, E. **Argamassas de elevada fluidez para cimentação de poços de petróleo com incorporação de cinza de biomassa da cana de açúcar (CBC).** Materiais de Construção Sustentáveis. Vol. 1, p. 230-242. 2014.

BRAGA, J. D. S.; MACCITELLI, F.; ABREU e LIMA, V.; DIESEL, T. **O modelo dos cinco domínios do bem-estar animal aplicado em sistemas intensivos de produção de bovinos, suínos 20 e aves.** Revista Brasileira de Zootecias, v. 19, n. 2, p. 204-226, 2018

BRAIEK, A. et al. **Estimation of the thermophysical properties of date palm fibers/gypsum composite for use as insulating materials in building.** Energy And Buildings, v. 140, p.268-279, 2017.

BRESSIANI JÚNIOR, I. et al. **Fibras naturais e compósitos nas indústrias de mobilidade.** MIX Sustentável, v. 6, n. 4, p. 129–138, 7 ago. 2020.

CASAGRANDE, C.A., JOCHEM, L.F., ONGHERO, L., et al., **“Effect of partial substitution of superplasticizer by silanes in Portland cement pastes,”** Journal of Building Engineering, vol. 29, p. 101-226, Maio, 2020.

COSTA, J. M., & LIMA, P. R. **Efeito das fibras naturais no módulo de elasticidade de compósitos.** Materiais em Engenharia, p. 58 a 57, 2024.

COSTA, D. S. et al. **Laminados híbridos de fibras de bambu e sisal contínuas e alinhadas: caracterização mecânica e microestrutural.** Blucher Chemical Engineering Proceedings, v. 1, n. 2, p. 14258-14266, 2015.

CUNHA, P. W. S. **Estudo sobre as potencialidades de compósitos à base de gesso e fibras de coco seco para aplicação na construção civil.** Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2012.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL, Anuário Mineral Brasileiro, 2001.

DOREZ, G. et al. **Effect of cellulose, hemicellulose and lignin contents on pyrolysis and combustion of natural fibers.** Journal of Analytical and Applied Pyrolysis, v. 107, p. 323–331, maio 2014.

EBANDA, F.; ATEBA, Atangana. **Study of the thermal behavior of the plaster reinforced Vegetable fiber.** Int J Eng Sci Invent, v. 5, n. 9, p. 62-67, 2016.

EL-MAHLLAWY, M. S. **Characteristics of acid resisting bricks made from quarry residues and waste steel slag**. Construction and Building Materials, v. 22, n. 8, p. 1887–1896, ago. 2008.

FACHINELLO KREBS, L.; JOHANSSON, E. **Influence of microclimate on the effect of green roofs in Southern Brazil - A study coupling outdoor and indoor thermal simulations**. Energy and Buildings, v.241, p.12-36, 2021.

FAROOQ, F. et al. **Geopolymer concrete as sustainable material: A state of the art review**. Construction and Building Materials, v. 306, p. 124762, nov. 2021.

FERRAES, P. **Síntese de um compósito de gesso com fibra obtida da Calotropis procera para o uso como biomaterial**. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro, Bahia, 2017.

HUANG, J.-K.; YOUNG, W.-B. **The mechanical, hygral, and interfacial strength of continuous bamboo fiber reinforced epoxy composites**. Composites Part B: Engineering, v. 166, p. 272–283, jun. 2019.

IBGE. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Levantamento sistemático da produção agrícola**. IBGE, 2017 p.40-41.

IUCOLANO, F., CAPUTO, D., LEBOFFE, F. et al., **“Mechanical behavior of plaster reinforced with abaca fibers,”** Construction and Building Materials, v. 99, pp. 184-191, 2015.

KARECHE, A. et al. **Study on the Durability of New Construction Materials Based on Mortar Reinforced with Date Palm Fibers Wastes**. Waste and Biomass Valorization, v. 11, n. 7, p. 3801–3809, 9 jul. 2020.

LAVERDE, V. et al. **Use of vegetable fibers as reinforcements in cement-matrix composite materials: A review**. Construction and Building Materials, v. 340, p. 127729, jul. 2022.

LOPES, F. et al. Modificação das propriedades das fibras de curauá por acetilação. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, vol. 15, p. 316-321, 2011. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1415-43662011000300014>

LOPES, M. M.; CASAGRANDE, MDT. Estudo do Comportamento de um Solo Reforçado com Fibras de Açaí (Euterpe Oleracea). **Anais do Simpósio de**

Prática de engenharia geotécnica na região centro oeste (Geocentro 2019), 2019.

LOPES, F. P. D. **Estudos adicionais dos compósitos poliméricos reforçados por fibras de curauá.** Dissertação de Mestrado em Engenharia dos Materiais - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 92 f., 2011.

MACEDO, T. **Avaliação do desempenho térmico de forros produzidos com adição de resíduo EVA.** Dissertação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, p. 47, 2020.

MACIEIRA, R.P. **Produção de Compósito do Tipo Gesso-Polímero para Aplicação na Fabricação de Painéis Externos em Edificações.** Dissertação de Mestrado. Desenvolvimento de Processos Ambientais. UNICAP/PE, (2011).

MADHU, P.; SOWMYA DHANALAKSHMI, C.; MATHEW, M. **Multi-criteria decision-making in the selection of a suitable biomass material for maximum bio-oil yield during pyrolysis.** Fuel, v. 277, p. 118109, out. 2020.

MEDEIROS, D; **Análise de propriedades térmicas e mecânicas de compósito de gesso, sisal e papel.** Trabalho de conclusão de curso – Graduação em Engenharia Civil, Natal, p. 19, 2017.

MEDEIROS, M. A. **Blocos EVA de vedação: compatibilização entre aspectos físicos, mecânicos e térmicos.** Dissertação (Mestrado em Estruturas e Materiais) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, p. 134, 2018.

MANTOVANI, D. de P. **Estudo das propriedades mecânicas de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de hemp e biotratamento.** Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência de Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 109 f. Campos de Goytacazes, 2017.

MARENGO, V. A.; VERCELHEZE, A. E. S.; MALI, S. **Compósitos biodegradáveis de amido de mandioca e resíduos da agroindústria.** Química Nova, v. 36, n. 5, p. 680–685, 2013.

MESQUITA, A. de 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, 166 f., Tese de D.Sc, Universidade Federal do Pará, UFPA, Belém, PA, Brasil, 2013.

MIRANDA, C. S. et al. **Effect of surface treatment on properties of bagasse piassava fiber Attalea funifera Martius**. Química Nova, 2014.

MONTORO, S. R. **Influência dos parâmetros de processamento por RTM no volume de vazios em compósitos carbono/epóxi**. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica). Universidade Estadual Paulista, 142 f., Guaratinguetá, 2014.

MIRANDA, É. N. **Comparação de propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com fibras de juta e de sisal**. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Mecânica, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2023.

NASCIMENTO, C. M. **Compósito de gesso reforçado com fibra de coco e cortiça triturada**. 92f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

NASCIMENTO FILHO, W. B.; FRANCO, C. R. **Avaliação do potencial dos resíduos obtidos através do processamento agroindustrial no Brasil**. Revista Virtual de Química, vol.7, n. 6, p. 1968-1987, 2015.

NETO, F. L.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. Editora Blucher, 2021.

OLIVEIRA, A. S.; VILLELA, L. S.; VELOSO, M. C. R. A.; SILVA, D. W.; MENDES, L. M.; GUIMARÃES JUNIOR, J. B. **Compósitos com matriz de gesso reforçada com fibras de madeira de eucalipto**. Scientia Forestalis, v. 48, n. 127, e3260, 2020.

OLIVEIRA, J. S. **Avaliação do tratamento de fibras curtas de sisal em matriz cimentícia**. 2023. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2023.

PINTO, C. DEL P.; CESAR, S.; FERNANDES, R. **Influência das fibras de sisal no comportamento térmico dos compósitos com matriz de gesso**. The Journal of Engineering and Exact Sciences, v. 8, n. 4, p. 14149– 01e, 18 abr. 2022.

QUIRINO, M. G. Q., **Estudo de matriz polimérica produzida com resina natural e fibra da semente de açaí (Euterpe precatória)**, Dissertação de M.Sc., Universidade Federal do Amazonas, UFAM, Manaus, AM, Brasil, 2010.

RACKES, A. et al. **Avaliação do potencial de conforto térmico em escolas naturalmente ventiladas**. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 13, 2015.

RAHEEM, A. A.; IKOTUN, B. D. **Incorporation of agricultural residues as partial substitution for cement in concrete and mortar – A review**. Journal of Building Engineering, v. 31, p. 101428, set. 2020.

ROCHA, T.M.S., MIRANDA, L.F.R., PARCHEN, C.F.A., **“Influência da composição granulométrica das partículas de resíduos de madeira nas propriedades de compósitos minerais: parte 2: gesso-madeira,”** Ambiente Construído, v. 19, n. 4, pp. 195-206, 2019.

RACKES, A. et al. **Avaliação do potencial de conforto térmico em escolas naturalmente ventiladas**. ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, v. 13, 2015.

RICARDINO, I. E. F.; SOUZA, M. Costa; da S. N., Irineu Ferreira. **Vantagens e possibilidades do reaproveitamento de resíduos agroindustriais**. Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente, v. 1, n. 8, p. 55-79, 2020.

ROSA, F. S. da; GRIGOLETTI, G. de C.; LIMA, R. C. A. de. **Isolante térmico à base de sabugo de milho**. VII Encontro de Sustentabilidade em projeto. v.3, 2019.

SALES, C. G. **Fibra de curauá como reforço em matriz cimentícia para fabricação de telhas e placas de fibrocimento**. Dissertação (Mestrado)- Curso de Engenharia Civil, 87 f., Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

SANTOS, E. F. et al. Extrusão de compósitos de PP com fibras curtas de coco: efeito da temperatura e agentes de acoplamento. **Polímeros**, v. 20, p. 215-220, 2010.

SATA, V.; CHINDAPRASIRT, P. **Use of construction and demolition waste (CDW) for alkali-activated or geopolymer concrete**. In: Advances in Construction and Demolition Waste Recycling. [s.l.] Elsevier, 2020. p. 385–403.

SALAZAR, V. L. P., LEÃO, A. L., “**Aproveitamento da fibra de coco com látex para aplicação em as-sentos automobilísticos**”, In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, Porto Alegre, Brasil, 2000.

SILVA, E. J. DA et al. **Resistência à compressão de argamassas em função da adição de fibra de coco**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 18, n. 12, p. 1268–1273, dez. 2014.

Silva, L., Camões, A., & Vasconcelos, G. **Material compósito à base de gesso reforçado com fibras: caracterização mecânica**. Azurém: Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Minho, 2014.

SILVA, E. J. D., VELASCO, F. G., LUZARDO, F. M., MARQUES, M. L., MILIAN, F. M., & Rodrigues, L. B. **Compósito cimentício com elevado teor de fibra de coco tratada: propriedades físicas e durabilidade**. Revista Matéria (Rio de Janeiro), 2018.

SILVA, G. T. DE M. et al. **Resíduos de construção e demolição em tecnologia de concreto: Uma revisão**. Brazilian Journal of Development, v. 6, n. 7, p. 46883–46896, 2020.

SILVA, P. V. **Compósitos com fibra de sisal e caroá com licor pirolenhoso em matriz cimentícia com metacaulim**. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2022.

SILVA, A. B., et al. Impacto da granulometria nas propriedades mecânicas de compósitos de gesso. **Revista de Materiais de Construção**. p. 235-245, 2022.

SILVA, I., LIMA, R., RUZENE, D., SILVA, D DA. **Resíduos agroindustriais como biomassa alternativa para geração de energia distribuída em comunidades rurais**. Energias alternativas: tecnologias sustentáveis para o

nordeste brasileiro. Aracaju: associação acadêmica de propriedade intelectual, 189 –211, 2019.

SHIROMA, L., CAMARINI, G., BERALDO, A.L., **“Effect of wood particle treatment on the properties of gypsum plaster pastes and composites,”** *Revista Matéria*, v. 21, n. 4, pp. 1032-1044, Outubro. 2016.

SOOD, M.; DWIVEDI, G. **Effect of fiber treatment on flexural properties of natural fiber reinforced composites: A review.** *Egyptian Journal of Petroleum*, v. 27, n. 4, p. 775–783, dez. 2018.

SOUZA, F. R. A. DE et al. **Biopolímeros na indústria de alimentos: do aproveitamento de resíduos agroindustriais a produção de biopolímeros.** In: *Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos - Volume 4.* [s.l.] Editora Científica Digital, 2021. p. 370–388.

TAGORE, M. de P. B. **O aumento da demanda do açaí e as alterações sociais, ambientais e econômicas: o caso das várzeas de Abaetetuba, Pará.** 2017. 155f. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Pará, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

VELOSO, M. C. R. DE A. et al. **Produção e caracterização de compósitos à base de gesso reforçado com partículas de resíduo da agroindústria do cacau.** *Matéria* (Rio de Janeiro), v. 26, n. 1, 2021.

VILLELA, L. S., CASTRO, E. D. D., MESQUITA JÚNIOR, L., et al., **“Desempenho físico-mecânico de compósitos à base de gesso reforçados com embalagens multicamadas trituradas”,** *Revista Matéria*, v.25, n.3, pp. 1-11, Jan. 2020.

VO, L. T. T.; NAVARD, P. **Treatments of plant biomass for cementitious building materials – A review.** *Construction and Building Materials*, v. 121, p. 161–176, set. 2016.

WOICIECHOWSKI, A., NETO, C., VANDENBERGHE, L., NETO, D., SYDNEY, A., LETTI, L., KARP, S., TORRES, L., SOCCOL, C. (2020). **Lignocellulosic biomass: acid and alkaline pretreatments and their effects on biomass recalcitrance –conventional processing and recent advances.** *Bioresourse technology*, 304.

ZARAGOZA-BENZAL, A. et al. **New lightened plaster material with dissolved recycled expanded polystyrene and end-of-life tyres fibres for building prefabricated industry**. Case Studies in Construction Materials, v. 18, p. e02178, jul. 2023.

ZHANG, S.-Y. et al. **Mechanical Function of Lignin and Hemicelluloses in Wood Cell Wall Revealed with Microtension of Single Wood Fiber** | Zhang | BioResources. BioResources, 2013.