



Myrela Vieira de Araújo

**Compósitos cimentícios reforçados com
fibras do epicarpo do coco babaçu para
aplicação em placas cimentícias**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil

Dissertação Orientada pelo Professor Dr. Marcelo de Souza
Picanço e Dra. Audirene Amorim Santana

Belém – Pará – Brasil
2022

Universidade Federal do Pará
Instituto de Tecnologia
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



Myrela Vieira de Araújo

**Compósitos cimentícios reforçados com fibras do epicarpo do coco
babaçu para aplicação em placas cimentícias**

Dissertação de Mestrado

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre.

Orientador: Marcelo de Souza Picanço
Coorientadora: Audirene Amorim Santana

Belém
Agosto de 2022

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Myrela Vieira de Araújo.

TÍTULO: Compósitos cimentícios reforçados com fibras do epicarpo do coco babaçu para aplicação em placas cimentícias

GRAU: Mestre

ANO: 2022

É concedida à Universidade Federal do Pará permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Myrela Vieira de Araújo

Av. Augusto Correa, nº 1

Campus Universitário do Guamá

Laboratório de Engenharia Civil Belém, Pará.

CEP 66075-970

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP) de acordo com a ISBD Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará

V657c Vieira de Araújo, Myrela.

Compósitos Cimentícios reforçados com fibras do Epicarpo do Coco Babaçu
para aplicação em placas cimentícias / Myrela Vieira de Araújo. – 2022.
CXVIII, 118f. : il. color.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço.

Coorientadora: Profª. Dra. Audirene Amorim Santana.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Instituto de
Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Belém, 2022.

1. Fibra do epicarpo do coco babaçu. 2. Compósito cimentício. 3. Tratamento
físico-químico 4. Placa cimentícia.

I. Título

CDD 624.1833



COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS DO EPICARPO DO COCO BABAÇU PARA APLICAÇÃO EM PLACAS CIMENTÍCIAS

AUTORA:

MYRELA VIEIRA DE ARAÚJO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA À BANCA
EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA CIVIL DO INSTITUTO DE
TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO
PARÁ, COMO REQUISITO PARA OBTENÇÃO DO
GRAU DE MESTRA EM ENGENHARIA CIVIL NA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ESTRUTURAS E
CONSTRUÇÃO CIVIL.

APROVADO EM: 25 / 08 / 2022.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Orientador (UFPA)

Profa. Dra. Audirene Amorim Santana
Membro Externo (UFMA)

Prof. Dr. Adelson Bezerra de Medeiros
Membro Externo (UFPA)

Profa. Dra. Luciana de Nazaré Pinheiro Cordeiro
Membro Interno (UFPA)

Visto:

Prof. Dr. Marcelo de Souza Picanço
Coordenador do PPGEC / ITEC / UFPA

“Tudo posso naquele que me fortalece” (Filipenses 4,13)

AGRADECIMENTOS

Dedico esta pesquisa especialmente à minha família. Aos meus pais, Eugênia Rodrigues e Emídio Eugênio (in memoriam) por acreditarem em mim desde o princípio, nos meus projetos, pelo companheirismo, investimento e paciência. Ao meu irmão, meu exemplo, Raimundo Nonato Netto, por me incentivar a conhecer e me aprofundar na pesquisa científica desde o início da minha caminhada acadêmica na Engenharia Civil. Às minhas avós e madrinhas, Jovita Motta, Juliêta Vieira, Terezinha de Jesus e Raimunda Rodrigues, intercessoras de minha vida.

Agradeço aos meus orientadores Marcelo Picanço e Audirene Santana, pela confiança, acompanhamento, e por dividirem seus conhecimentos ao longo dessa pesquisa. Meus sinceros agradecimentos ao Laboratório de Concreto da Universidade Estadual do Maranhão; Laboratório de Engenharia Civil da Unidade de Ensino Superior Dom Bosco; Laboratório do Grupo de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais do Instituto Federal do Maranhão; Laboratório de Biomateriais do Instituto de Odontologia e Laboratório de Difração de Raios-X da Universidade Federal do Maranhão. Agradeço também ao professor Dr. Ernandes pelos estudos partilhados, aos laboratoristas Jurandir e Carlos pela disposição e auxílios para a realização da pesquisa.

Meus sinceros agradecimentos à agência de fomento do Maranhão, a Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão (FAPEMA) pelo auxílio na qualificação como pesquisadora no Estado, apoiando minha pesquisa científica e desenvolvimento tecnológico.

Aos meus amigos e companheiros acadêmicos em Belém, a quem tenho muita gratidão pelo apoio, Paulo Rafael, Mariana Meneses, Bruna Costa, Moisés Araújo, Luciano Reis, Rafael Brito, Felipe e Fernanda. Agradeço à amiga Yrlles, na qual compartilhei muitos momentos de trabalho e dúvidas, sendo essencial para que a pesquisa ocorresse. Às minhas amigas de infância e irmãs, Ana Paula Ferreira, Sarah Nina, Tainah Enes e Jade Garrido, por me acompanharem em todas as etapas da minha vida, sendo grandes torcedoras da minha felicidade. Agradeço também a Comunidade Católica Shalom, especialmente as minhas amigadas que nasceram pela fé, Laudelina, Regyna, Mayara, Bruno, João e Gustavo. Agradeço à aqueles que direta ou indiretamente foram fundamentais para a conclusão da pesquisa.

Por fim, minha gratidão e louvor maior é para Deus, que me sustentou durante todo o percurso, guiando-me através de sua palavra, me apresentando a graça da fé e esperança para superar os desafios, tornando possível a realização deste projeto muito importante para mim.

RESUMO

ARAÚJO, M. V. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras do epicarpo do coco babaçu para aplicação em placas cimentícias**. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém, 2022.

A procura de novos materiais para a construção civil fundamentado em fontes renováveis tem colaborado para o desenvolvimento sustentável. As fibras lignocelulósicas são possibilidades para o reforço de argamassas cimentícias, uma vez que são de baixo custo, fácil alcance, são renováveis, diferentemente das fibras artificiais. Porém, quando adicionadas à matriz cimentícia, alcançam baixa durabilidade e sofrem degradações. Dessa forma, a presente pesquisa teve como objetivo analisar as propriedades físicas, mecânicas, morfológicas e mineralógicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras do epicarpo do coco babaçu da espécie *Attalea Speciosa Mart. Ex Spreng in natura* e impregnadas em pasta de sílica ativa. O traço dos compósitos foi estabelecido através de um estudo piloto, utilizando o traço 1:3:0,62 e adição 1% de fibras com comprimento ≤ 25 mm. Foram moldadas três famílias de argamassa, sendo a primeira sem adição de fibras (REF), a segunda com adição de fibras *in natura* (AFST) e a terceira com adição de fibras tratadas (AFCT). As fibras do epicarpo do coco babaçu possuíam 1,398 g/cm³ de massa específica, 6,93% de teor de umidade e resistência à tração média de 141,9 MPa. Após 28 dias de cura úmida, as propriedades dos compósitos foram analisadas, alcançando para a resistência à tração na flexão após a adição de fibras *in natura* um aumento de 46,68% e para compósitos com fibras tratadas um decréscimo de 14,16%. Para a densidade aparente, ambas condições AFST e AFCT houve um decréscimo da propriedade e na absorção de água, ocorreu um acréscimo de 8,20% e 11,49%, respectivamente. No ensaio de permeabilidade, não houve formação de gotas em todas as amostras e a análise de termometria apresentou compatibilidade das fibras com o cimento. Através das micrografias das argamassas observou-se nas amostras AFST presenças de ceras que oferece proteção contra a penetrabilidade de água, enquanto que nas amostras AFCT houve a perda das ceras. Pelos difratogramas, verificou-se que a impregnação das fibras em pasta de sílica ocasionou na perda da calcita e portlandita, produzindo amostras com maior porosidade. Dessa forma, a adição das fibras *in natura* proporcionou melhorias nas propriedades dos compósitos, mas o tratamento em pasta de sílica ativa ocasionou no decréscimo das propriedades, não sendo adequada para uso.

Palavras-chave: Fibras do epicarpo do coco babaçu; Compósitos cimentícios; Sílica ativa; Propriedades mecânicas.

ABSTRACT

ARAÚJO, M. V. **Cementitious composites reinforced with babassu coconut epicarp fibers for application in cement slabs.** MSc Thesis – Civil Engineering. Federal University of Pará. Belém, 2022 (in Portuguese).

The search for new materials for civil construction based on renewable sources has contributed to sustainable development. Lignocellulosic fibers are possibilities for strengthening cementitious mortars, since they are low cost, easy to reach, and renewable, unlike artificial fibers. However, when added to the cement matrix, they reach low durability and undergo degradation. Thus, the present research aimed to analyze the physical, mechanical, morphological and mineralogical properties of cement composites reinforced with fibers from the epicarp of the babassu coconut of the species *Attalea Speciosa* Mart. Ex Spreng in natura and impregnated in silica fume paste. The composites trace was established through a pilot study, using the trace 1:3:0.62 and addition of 1% of fibers with length ≤ 25 mm. Three families of mortar were molded, the first without the addition of fibers (REF), the second with the addition of in natura fibers (AFST) and the third with the addition of treated fibers (AFCT). The babassu coconut epicarp fibers had a specific mass of 1.398 g/cm³, a moisture content of 6.93% and an average tensile strength of 141.9 MPa. After 28 days of wet curing, the properties of the composites were analyzed, reaching an increase of 46.68% for the flexural tensile strength after the addition of in natura fibers and for composites with treated fibers a decrease of 14.16%. For the apparent density, both AFST and AFCT conditions, there was a decrease in the property and in the water absorption, there was an increase of 8.20% and 11.49%, respectively. In the permeability test, there was no formation of droplets in all samples and the thermometry analysis showed fiber compatibility with the cement. Through the micrographs of the mortars, it was observed in the AFST samples the presence of waxes that offer protection against water penetration, while in the AFCT samples there was a loss of waxes. From the diffractograms, it was verified that the impregnation of the fibers in silica paste caused the loss of calcite and portlandite, producing samples with greater porosity. Thus, the addition of fibers in natura provided improvements in the properties of the composites, but the treatment in silica fume paste caused a decrease in properties, not being suitable for use.

Keywords: Fibers from the babassu coconut epicarp; Cement composites; Active silica; Mechanical properties.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Classificação das fibras	6
Figura 2 – Formação estrutural das fibras vegetais.	9
Figura 3 – Reprodução das unidades que compõe a lignina.....	11
Figura 4 – Composição química da pectina.....	11
Figura 5 – Palmeira da família botânica Arecaceae	13
Figura 6 – Componentes do coco babaçu.....	14
Figura 7 – Quebradeiras de coco babaçu praticando sistema de ajuda mútua para extração das amêndoas	15
Figura 8 – Fibras do epicarpo do coco babaçu: antes (A) e após (B) o beneficiamento	16
Figura 9 – Esquema de aplicações dos componentes do coco babaçu.....	18
Figura 10 – Comportamento de um compósito	21
Figura 11 – Placa cimentícia comercial.....	27
Figura 12 – Plano experimental da dissertação.	28
Figura 13 – Curva granulométrica do agregado miúdo.....	31
Figura 14 – Fibra do epicarpo do coco babaçu.....	32
Figura 15 – Distribuição de tamanho das partículas.....	33
Figura 16 – Determinação da massa específica.....	34
Figura 17 – Microscópio eletrônico de varredura Hitachi modelo TM3030.....	37
Figura 18 – Ensaio de tração na fibra.....	39
Figura 19 – Tampo da mesa, parede do molde troncônico e soquete.....	40
Figura 20 – Índice de consistência da argamassa	40
Figura 21 – Fibras do epicarpo do coco babaçu.....	41
Figura 22 – Corpos de prova	42
Figura 23 – Faces internas de cada corpo de prova submetidos ao ensaio de resistência à tração das misturas.....	43
Figura 24 – Materiais para a mistura	44
Figura 25 – Argamassas cimentícias	45
Figura 26 – Placa cimentícia	46
Figura 27 – Pesagem da placa cimentícia.....	47
Figura 28 – Ensaio de permeabilidade em placa cimentícia	49
Figura 29 – Sistema utilizado para armazenar as amostras para o ensaio de termometria.....	50

Figura 30 – Moinho de bolas.....	52
Figura 31 – Curva da absorção de água das fibras do epicarpo do coco babaçu após duas horas	54
Figura 32 – Curva da absorção de água das fibras do epicarpo do coco babaçu.....	55
Figura 33 – Micrografia da fibra do epicarpo do coco babaçu.....	60
Figura 34 – Micrografia da fibra do epicarpo do coco babaçu impregnada em pasta de sílica ativa	60
Figura 35 – Fibras do epicarpo do coco babaçu	64
Figura 36 – Placas cimentícias.....	64
Figura 37 – Resistência à flexão dos compósitos cimentícios.....	65
Figura 38 – Média da resistência à tração na flexão dos compósitos cimentícios.....	66
Figura 39 – Comparações múltiplas através do teste de Tukey para os resultados de resistência à tração na flexão.....	68
Figura 40 – Densidade aparente dos compósitos cimentícios	69
Figura 41 – Média da densidade aparente dos compósitos cimentícios	70
Figura 42 – Comparações múltiplas através do teste de Tukey para o resultados de densidade aparente.....	72
Figura 43 – Absorção de água dos compósitos cimentícios.....	73
Figura 44 – Média da absorção de água dos compósitos cimentícios	74
Figura 45 – Comparações múltiplas através do teste de Tukey para o resultados de absorção de água.....	76
Figura 46 – Face inferior da placa cimentícia de referência.....	77
Figura 47 – Face inferior da placa cimentícia com reforço de fibras <i>in natura</i>	78
Figura 48 – Face inferior da placa cimentícia com reforço de fibras com tratamento.....	78
Figura 49 – Efeito da mistura sobre o índice de inibição	80
Figura 50 – Curvas de evolução da temperatura das reações de hidratação da mistura REF ..	80
Figura 51 – Curvas de evolução da temperatura das reações de hidratação da mistura AFST.....	80
Figura 52 – Curvas de evolução da temperatura das reações de hidratação da mistura AFCT.	81
Figura 53 – Micrografias dos compósitos após 28 dias.....	82
Figura 54 – Difratomogramas das aragamassas.....	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Classificação das fibras vegetais quanto a sua morfologia.....	8
Tabela 2 – Teores dos compostos químicos, em porcentagem.....	12
Tabela 3 – Propriedades mecânicas das fibras	16
Tabela 4 – Características do cimento CP-IV 32 RS.....	29
Tabela 5 - Análise química do cimento CP-IV 32 RS.....	30
Tabela 6 – Características do agregado miúdo	31
Tabela 7 – Composição da sílica ativa	32
Tabela 8 – Variáveis utilizadas para confecções de argamassas cimentícias.....	41
Tabela 9 – Formação de cada mistura	42
Tabela 10 – Definições da argamassa cimentícia	43
Tabela 11 – Definições das placas cimentícias para cada ensaio.....	45
Tabela 12 – Índice de inibição para classificação de compatibilidade.....	51
Tabela 13 - Massa específica de fibras vegetais.....	53
Tabela 14 – Absorção de água das fibras do epicarpo do coco babaçu.....	54
Tabela 15 – Absorção de água de fibras vegetais.....	56
Tabela 16 – Teor de umidade de fibras vegetais	56
Tabela 17 – Variáveis de análise do diâmetro da fibra do epicarpo do coco babaçu	57
Tabela 18 – Diâmetro médio de fibras lignocelulósicas.....	58
Tabela 19 – Composição química da fibra do epicarpo do coco babaçu.....	58
Tabela 20 – Composição química de fibras vegetais.....	59
Tabela 21 – Variáveis de análise da resistência à tração da fibra do epicarpo do coco babaçu.....	61
Tabela 22 – Comparativo da resistência à tração de fibras vegetais	62
Tabela 23 – Resultado da resistência à tração do estudo piloto	62
Tabela 24 – Variáveis de análise da resistência à tração na flexão	66
Tabela 25 – Resistência à tração na flexão de amostras com fibras vegetais.....	67
Tabela 26 – Análise de Variância para o ensaio de resistência à tração na flexão.....	67
Tabela 27 – Tabela de teste Tukey.....	68
Tabela 28 - Variáveis de análise da densidade aparente.....	70
Tabela 29 – Densidade aparente de amostras com fibras vegetais	71

Tabela 30 – Análise de Variância para o ensaio de densidade aparente	71
Tabela 31 – Tabela de teste Tukey	72
Tabela 32 – Variáveis de análise da absorção de água	74
Tabela 33 – Absorção de água de amostras com fibras vegetais.....	75
Tabela 34 – Análise de Variância para o ensaio de absorção de água	75
Tabela 35 – Tabela de teste Tukey.....	76
Tabela 36 - Parâmetros do ensaio de permeabilidade.....	78

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AFCT	Argamassa com adição de fibras com tratamento
AFST	Argamassa com adição de fibras sem tratamento
ASTM	American Society for Testing and Materials.
DRX	Difratometria de Raios-x
GPC	Grace Construction & Packaging
MEV	Microscopia eletrônica de varredura
NBR	Norma Brasileira
NM	Norma Mercosul
REF	Argamassa de referência
TAPPI	Technical Association of the Pulp and Paper Industry

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

Ca(OH) ₂	Hidróxido de cálcio
CO ₂	Dióxido de carbono
NaOH	Hidróxido de sódio
CP	Cimento Portland
pH	Potencial hidrogeniônico
MPa	Megapascals
GPa	Gigapascals
g	Gramas
cm	Centímetros
mm	Milímetros
N	Newtons
IC	Índice de cristalinidade
TI	Teor de Lignina
E	Módulo de Elasticidade
°C	Graus Celsius

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Considerações Iniciais	1
1.2. Justificativa.....	2
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo geral	5
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. Fibras	6
2.1.1. Fibras vegetais	7
2.1.2. Composição química	10
2.2. Fibra vegetal do epicarpo do coco babaçu.....	12
2.2.1. Características físicas	12
2.2.2. Colheita do coco babaçu e extração das fibras.....	14
2.2.3. Propriedades mecânicas.....	16
2.2.4. Aplicações	17
2.3. Materiais compósitos.....	18
2.3.1. Compósitos de matriz cimentícia.....	18
2.3.2. Fibras como reforço em compósitos.....	19
2.3.3. Comportamento mecânico dos compósitos com fibras.....	20
2.4. Durabilidade de compósitos com fibras vegetais.....	22
2.5. Tratamento superficiais.....	24
2.5.1. Tratamento nas fibras.....	24
2.5.2. Tratamento nas matrizes.....	25
2.6. Produção de elementos estruturais sem amianto.....	26
2.6.1. Placas cimentícias.....	26
3. PROGRAMA EXPERIMENTAL.....	28
3.1 Materiais aplicados.....	29
3.1.1. Cimento	29
3.1.2. Agregado miúdo	30
3.1.3. Fibra do epicarpo do coco babaçu	31

3.1.4. Sílica ativa	32
3.1.5. Aditivo superplastificante.....	33
3.2. Metodologia.....	34
3.2.1. Caracterização da fibra do epicarpo do coco babaçu	34
3.2.1.1. Massa específica	34
3.2.1.2. Teor de umidade.....	35
3.2.1.3. Absorção de água.....	35
3.2.1.4. Diâmetro médio.....	36
3.2.1.5. Composição química das fibras	36
3.2.1.6. Análise morfológica.....	37
3.2.1.7. Resistência à tração.....	38
3.2.2. Produção das matrizes cimentícias.....	39
3.2.2.1. Estudo Piloto.....	39
3.2.2.2. Preparação das argamassas.....	43
3.2.2.3. Moldagem e desmoldagem das placas cimentícias.....	44
3.2.3. Ensaio nas placas cimentícias.....	45
3.2.3.1. Ensaio de resistência à tração na flexão.....	46
3.2.3.2. Densidade aparente.....	47
3.2.3.3. Absorção de água.....	48
3.2.3.4. Permeabilidade	48
3.2.3.5. Termometria.....	49
3.2.4. Análise mineralógica e morfológica.....	51
3.2.4.1. Difractometria de Raios-x (DRX).....	51
3.2.4.2. Microscopia eletrônica de varredura (MEV).....	52
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	53
4.1. Caracterização da fibra do epicarpo do coco babaçu.....	53
4.1.1. Massa específica.....	53
4.1.2. Absorção de água.....	54
4.1.3. Teor de umidade.....	56
4.1.4. Diâmetro das fibras.....	57
4.1.5. Composição química das fibras.....	58
4.1.6. Análise morfológica.....	59
4.1.7. Resistência à tração.....	61

4.2. Produção das matrizes cimentícias.....	62
4.2.1. Estudo Piloto.....	62
4.2.2. Preparação, moldagem e desmoldagem das placas cimentícias.....	63
4.3. Ensaio nas placas cimentícias.....	65
4.3.1. Ensaio de resistência à tração na flexão.....	65
4.3.2. Densidade aparente.....	69
4.3.3. Absorção de água.....	73
4.3.4. Permeabilidade.....	77
4.3.5. Termometria.....	79
4.4. Análise morfológica e mineralógica	81
4.4.1. Microscopia eletrônica de varredura.....	81
4.4.2. Difractometria de Raios-X.....	83
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	86
5.1 Conclusões.....	86
5.2 Sugestões de trabalhos futuros.....	87
REFERÊNCIAS.....	88

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações Iniciais

Na construção civil, o cimento é um dos produtos mais utilizados constituído por propriedades ligantes, produzidos para variadas finalidades. Em matrizes cimentícias, por exemplo, na composição do concreto, o cimento é um importante componente, uma vez que em contato com a água, configura uma pasta fluida que envolve os agregados, desenvolvendo um material resistente. Estudos têm sido produzidos com materiais à base de cimento com o propósito de fornecer novas tecnologias, através do aperfeiçoamento de métodos existentes e introduzindo novos materiais.

As matrizes cimentícias possuem boa resistência a tensões compressivas, porém, têm baixa resistência a tensões de tração. Com a finalidade de solucionar essa deficiência das matrizes cimentícias, são usados materiais alternativos como reforço de compósitos cimentícios, por exemplo, a adição de fibras, pois confere benefícios nas propriedades mecânicas e comportamento dúctil. Muitas variedades de compósitos cimentícios reforçados com fibras que incorporam fibras metálicas, poliméricas, de carbono, vidro e resíduos de pneus foram desenvolvidos com sucesso e aplicados efetivamente à infraestrutura, devido aos seus benefícios de limitar a propagação de fissuras e o alargamento através da ponte de fibra (YOO *et al.*, 2018).

Atualmente, existe um interesse mundial crescente no uso de materiais renováveis naturais para substituir polímeros sintéticos ou melhorar as propriedades dos materiais atuais. As fibras naturais oferecem uma grande oportunidade a esse respeito (SOUZA *et al.*, 2015). Existem três tipos de fibras naturais disponíveis para reforço: de origem animal, de origem mineral e à base de plantas. As fibras animais incluem seda, lã e fibra capilar. As fibras minerais compreendem amianto, volastonita e paligorskita. Finalmente, as fibras vegetais incluem algodão, juta, linho, curauá, sisal, bagaço, etc (ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2016). O uso racional de fibras vegetais pode ser uma solução alternativa para a produção de materiais duráveis e sustentáveis (SAVASTANO *et al.*, 2009).

Nos últimos anos, novas tecnologias surgiram usando fibras lignocelulósicas, permitindo o uso de compósitos com menor impacto ambiental e baixo custo de energia, permitindo a substituição parcial de fibras sintéticas (SANTOS *et al.*, 2014; PACHECO-TORGAL *et al.*, 2011; TEIXEIRA *et al.*, 2012; TAN *et al.*, 2011). Em comparação com as

fibras sintéticas, as fibras vegetais são biodegradáveis, abundantes, provenientes de fontes renováveis, possuem baixo custo, baixo risco à saúde, além de trazerem benefícios econômicos para regiões onde seu cultivo é relevante, contribuindo para o rápido desenvolvimento da infraestrutura do país (SANTOS, 2016).

Na construção civil, segundo Melo Filho (2012), as fibras vegetais são usadas em matrizes cimentícias na elaboração de elementos de cobertura e revestimento, chapas de madeira aglomerada, telhados verdes, reforço e reabilitação de paredes de alvenaria e componentes habitacionais. No Brasil, o babaçu é uma das espécies mais estudadas pela sua ampla utilidade. O babaçu é uma palmeira predominante nas regiões norte, nordeste e centro-oeste do Brasil e da casca do seu fruto são produzidas as fibras (ARAÚJO *et al.*, 2016; BARROQUEIRO *et al.*, 2011).

O babaçu pertence à família *Arecaceae*, um dos mais importantes recursos florestais não madeireiros que entre as espécies referentes a essa família, ressalta-se a *Attalea speciosa*, presente em várias partes da América do Sul, como na Bolívia, região oriental da Amazônia e entre os biomas da floresta tropical e o semiárido do nordeste do Brasil. O fruto dessa espécie é denominado de coco babaçu, sendo coletada através do método extrativista e suas fibras são obtidas do epicarpo do fruto, podendo ser aproveitadas (LIMA *et al.*, 2020).

Contudo, uma grande desvantagem no uso de fibras lignocelulósicas é sua durabilidade na matriz de cimento alcalino (TEIXEIRA *et al.*, 2019). Uma das principais razões para a deterioração da fibra natural à base de plantas nos compósitos cimentícios é a dissolução de lignina e hemicelulose ligando células de fibras individuais por poros de solução alcalina (TOLÊDO, 2000). A resistência e tenacidade dos compósitos diminuem com o contato das fibras vegetais com ambiente alcalino.

Para a melhoria da durabilidade do compósito, são realizados tratamentos físicos e químicos nas fibras vegetais com o propósito de reduzir a alta absorção. O primeiro abrange a ação de temperatura e umidade, pois desenvolve o enrijecimento da fibra. Os tratamentos químicos inclui a utilização de substâncias bloqueadoras e repelentes a água na superfície ou no interior das fibras vegetais (SANTOS, 2015).

1.2. Justificativa

No século vinte, o consumo da fibra de amianto no Brasil era muito usual, sendo cerca de 90% do seu uso destinado para a indústria da construção civil (ABREA, 2018). Porém, com

as informações de constantes doenças profissionais relacionadas ao seu uso, foi proibida a utilização e comercialização desse material. Esse acontecimento possibilitou a produção de pesquisas para obter um material com propriedades semelhantes ao amianto, assegurando sua substituição.

As fibras poliméricas tornou-se uma alternativa para a confecção de elementos que antes empregavam o amianto. Atualmente, devido ao seu desempenho comprovado, o uso de fibras sintéticas em compósitos de cimento está se tornando cada vez mais popular. A literatura de pesquisa em cimento está repleta de estudos que mostram que a ductilidade, resistência à tração, resistência à fadiga, resistência ao impacto e energia absorvida de materiais à base de cimento pode ser melhorado significativamente através da adição de aço e fibras de polímero (ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2016). Contudo, essas fibras geram impactos ambientais e seu custo é alto.

Na indústria da construção civil, a busca pela sustentabilidade promove o uso de recursos renováveis nos materiais de construção. Desde a década de 60, foram desenvolvidos em todo o mundo numerosos e diferentes materiais cimentícios avançados, incluindo concreto reforçado com fibras vegetais, concreto ecológico, contendo materiais cimentícios suplementares (ou seja, cinzas, escória granulada de alto-forno moída e fumo de sílica), concreto geopolimérico e concreto autocompactante (YOO *et al.*, 2017). Muitos estudos indicam que a adição de fibras vegetais em compósitos cimentícios mostra-se eficiente, conferindo melhoria nas propriedades mecânicas.

As fibras vegetais, comparadas às fibras sintéticas, são de baixo custo, de fácil obtenção, muito disponíveis, mais fáceis de manusear, têm boas propriedades mecânicas, não geram quantidades excessivas de resíduos, empregam tecnologias relativamente simples e requerem menos energia no processo de produção, além de serem de fontes renováveis (DITTENBER; GANGARAO, 2012). Oliveira (2017) desenvolveu um estudo utilizando tecido de fibras vegetais em compósitos cimentícios para confecção de placas e telhas cimentícias, o que ocasionou em resultados satisfatórios quanto a caracterização mecânica dos compósitos, na qual as fibras desempenharam as propriedades requeridas o suficiente.

Uma fibra vegetal brasileira com potencial para o uso e recentemente estudada como reforço de compósitos à base de cimento é o epicarpo do coco babaçu (*Attalea speciosa*). O coco babaçu é um fruto pertencente à família das palmeiras composta por sementes oleaginosas que podem ser ingeridas e das quais se retira um óleo utilizado como remédios e alimentação, cooperando para a economia de muitos estados.

Muitas características e circunstâncias podem influenciar o desempenho das fibras do epicarpo do coco babaçu, por exemplo, quando as fibras naturais compostas são expostas a um ambiente alcalino e à umidade, influenciando na mineralização e degradação das fibras na matriz do cimento. A mineralização é causada pela precipitação de hidróxido de cálcio em células de fibra e em superfície da fibra. Degradação de celulose, hemicelulose e lignina ocorre devido ao cálcio e adsorção de íons hidroxila (ZUKOWSKI, 2018). Além disso, outra característica que prejudica a interação fibra-matriz é a absorção de água da fibra, pois ocasiona em microfissuras na zona de transição entre a fibra e a matriz, devido a extensa variação dimensional.

Muitos estudos realizados apresentaram tratamentos para as fibras com a finalidade de melhorar a sua união com a matriz de cimento mediante as alterações químicas, modificando a superfície das fibras utilizando por exemplo, a hornificação, lavagem com soluções alcalinas, impregnação de polímeros, acetilação e tratamentos térmicos. Pinto (2019) desenvolveu em sua pesquisa na Universidade Federal do Pará argamassas cimentícias reforçadas com fibras de curauá tratadas com a impregnação de sílica ativa, obtendo efeitos favoráveis para as propriedades dos compósitos avaliados, como o aumento da resistência à tração e flexão.

Esses tratamentos citados são competentes quanto ao objetivo de modificar a superfície das fibras, porém, não são claros todos os efeitos dos tratamentos sobre a fibra, suas características à longo prazo e composição química, necessitando de mais conhecimentos que determinem de uma maneira mais extensiva a sua melhoria, suas propriedades na matriz e a interface entre elas, para compreender o comportamento mecânico do compósito.

Dessa forma, a presente pesquisa propõe confeccionar placas cimentícias para aplicação em elementos de vedação vertical interno, desenvolvendo compósitos cimentícios reforçados com fibras do epicarpo do coco babaçu, submetendo as fibras ao tratamento prévio com impregnação em sílica ativa, um material que melhora propriedades como resistência e durabilidade de produtos à base de cimento.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo geral

Estudar o comportamento mecânico, morfológico e mineralógico dos compósitos cimentícios reforçados com fibras do epicarpo do coco babaçu submetidos ao tratamento físico-químico.

1.3.2. Objetivos específicos

- Executar a caracterização física e mecânica das fibras do epicarpo do coco babaçu (*Attalea Speciosa Mart. ex Spreng*) *in natura*;
- Realizar o estudo piloto a fim de definir as características das fibras do epicarpo do coco babaçu como reforço;
- Confeccionar placas cimentícias reforçados com fibra vegetal;
- Determinar a eficácia do uso como reforço da fibra *in natura* e tratadas em pasta de sílica ativa através dos resultados das propriedades físicas e mecânicas das placas cimentícias;
- Avaliar o tratamento da fibra com sílica ativa na mineralogia das argamassas cimentícias;
- Verificar através da avaliação morfológica da interface fibra-matriz, as impressões de danificação das fibras do epicarpo do coco babaçu.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Fibras

Nas primeiras civilizações, já havia diversas atividades relacionadas ao uso de fibras, sendo integrante de muitos compósitos, como os cerâmicos, poliméricos e metálicos. Entretanto, estudos procuram recentemente a utilização de fibras na construção civil como reforço de matriz cimentícia. As fibras têm por finalidade acrescentar propriedades que agregam mais resistência ao grupo de compósitos, tornando-os mais dúcteis e menos frágeis (MARQUES, 2015). As fibras são elementos finos, descontínuos e longos na qual seu arranjo, a relação comprimento-diâmetro, concentração e distribuição desenvolvem uma influência considerável sobre as propriedades dos compósitos, como a resistência.

Há variadas espécies de fibras a serem usadas como reforço, classificadas em orgânicas e inorgânicas (figura 1). As fibras orgânicas naturais são classificadas em animais, minerais e vegetais, caracterizadas por apresentarem ligações proteicas, cristalinas e celulósicas, respectivamente. As inorgânicas são compostas por uma estrutura que sofre alterações físicas e químicas em procedimentos de alta temperatura com objetivo de formar um material com propriedades físicas e mecânicas de alta resistência térmica e elevado desempenho.

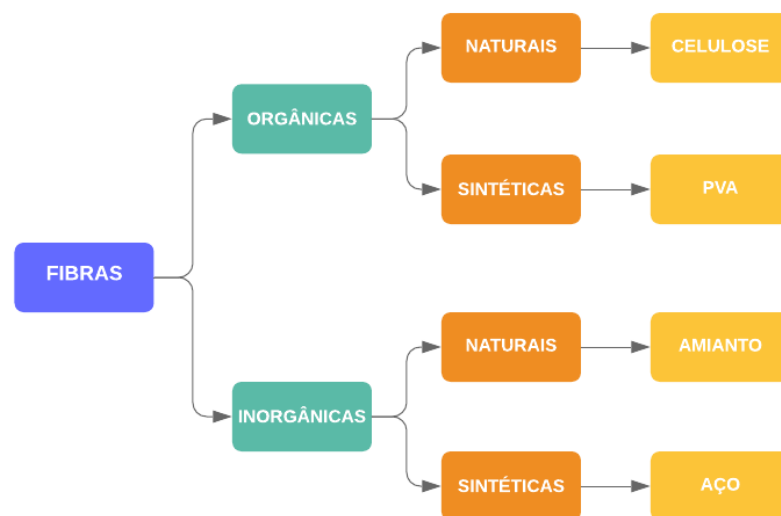


Figura 1: Classificação das fibras. Fonte: ZHU et al., 1994.

2.1.1. Fibras vegetais

As fibras vegetais na construção são utilizadas desde o princípio da civilização, quando os Persas aplicavam as fibras vinculada ao solo com a finalidade de construir habitações com paredes de agradável aparência estética e bom isolamento térmico (GHAVAMI; TOLÊDO; FILHO, 1991).

A fibra é um conjunto de estruturas bem específicas que apresentam elevada resistência à tração, proteção contra ataques externos, ótima interação entre os elementos e geometrias específicas que maximizam as propriedades do vegetal. Uma simples fibra pode ser resultado de uma bioengenharia, onde inúmeros fatores físicos e químicos se somam para formá-la (FORNARI JUNIOR, 2017). Segundo Rodrigues (2015), a fibra vegetal é determinada como um corpo flexível, cilíndrico, pequeno e com seção transversal reduzida.

As fibras vegetais são, por si mesmas, materiais compósitos naturais por serem compostas por numerosas fibras individuais (fibrocélulas) unidas pelas lamelas médias. Cada fibrocélula é composta por quatro partes principais, sendo elas a parede primária, a parede secundária, a parede terciária e o lúmen (SILVA *et al.*, 2010; FIDELIS *et al.*, 2013; FERREIRA *et al.*, 2017).

Existem seis categorias de fibras vegetais, segundo Staiger e Tucker (2008): fibras provenientes das folhas (sisal e curauá), liberianas (malva, juta, linho e kenaf), fibras do núcleo (cânhamo), fibras da casca (coco babaçu, trigo e arroz), fibras provenientes das sementes (algodão) e fibras provenientes da madeira e raízes.

Existem outras classificações das fibras vegetais quanto sua morfologia, como pode ser vista na (tabela 1), divididas em quatro classes, sendo elas fibras das folhas, do talo ou tronco, do caule e do fruto (Cook 1980 *apud* Tolêdo Filho, 1997). A primeira tem sua origem em plantas monocotiledôneas e produzem filamentos contínuos através do comprimento da folha (TOLÊDO FILHO, 1997). A segunda possui origem em plantas dicotiledôneas e suas fibras ocorrem no floema e podem ser obtidas colocando-se os talos em tanques de água quente ou deixando-os espalhados no chão para permitir que a ação das bactérias dissolva o material que envolve as fibras, seguidas por secagem das fibras (SANTIAGO, 2011).

As fibras oriundas do caule, são grossas, rígidas e curtas. A sua extração na forma de polpa, como apresenta as fibras de bambu, ocorre com o processamento de partes da madeira em soluções, levadas a tratamentos mecânicos. As fibras provenientes do fruto, como o algodão, estabelecem um revestimento protetor dos caules, folhas e sementes.

Tabela 1: Classificação das fibras vegetais quanto a sua morfologia. Fonte: AUTORA, 2021.

Origem morfológica	Nome usual	Nome científico
Folhas	Abacá	<i>Musa sisalana</i>
	Abacaxi	<i>Ananas comosus</i>
	Banana	<i>Musa sapientum</i>
	Curauá	<i>Ananas erectifolius</i>
	Henequén	<i>Agave comosus</i>
	Sisal	<i>Agave sisalana</i>
Talo ou tronco	Juta	<i>Corchorus capsularis</i>
Caule	Rami	<i>Boehmeria nivea</i>
	Bagaço da cana	<i>Saccharum spp.</i>
	Bambu	<i>Bambusa spp.</i>
	Cânhamo	<i>Cannabis sativa</i>
	Linho	<i>Linum usitatissimum</i>
Fruto	Coco	<i>Cocos nucifera</i>

As fibras vegetais também podem ser classificadas conforme sua aplicação, como primárias e secundárias. A primeira são gêneros cultivados com a finalidade da extração das fibras, enquanto as secundárias são estabelecidas para outros objetivos e suas fibras compreendem em um subproduto, por exemplo, o coco e óleo de palma.

A estrutura física das fibras vegetais precisa resistir aos diferentes problemas impostos pela natureza e solicitações dos mais diferentes padrões, como ventos, seca e umidade. Existem três estados prioritários que a fibra vegetal é sujeita e deve atender simultaneamente, são elas as solicitações de tração, flexão e alongamento. Para isso, a fibra vegetal apresenta três microestruturas peculiares, sendo elas a composição principal, rígida e linear, um anexo secundário, semirrígido e interligante e uma substância fixa e moldável (FORNARI JUNIOR, 2017).

A formação estrutural das fibras vegetais é composta por três macromoléculas. A primeira é a celulose, responsável pela área física mais resistente do vegetal e pela sua configuração alongada e estrutural. A segunda é a hemicelulose, responsável por conservar ligadas as cadeias celulósicas. O último elemento que compõe a formação estrutural das fibras e a de menor peso estrutural é a lignina. Ela preenche os locais vazios deixados pela celulose e hemicelulose. As três macromoléculas interagem entre si de forma equilibrada com o objetivo de conseguir as melhores propriedades das fibras vegetais. Na figura 2 pode ser visualizada a estrutura das fibras vegetais.

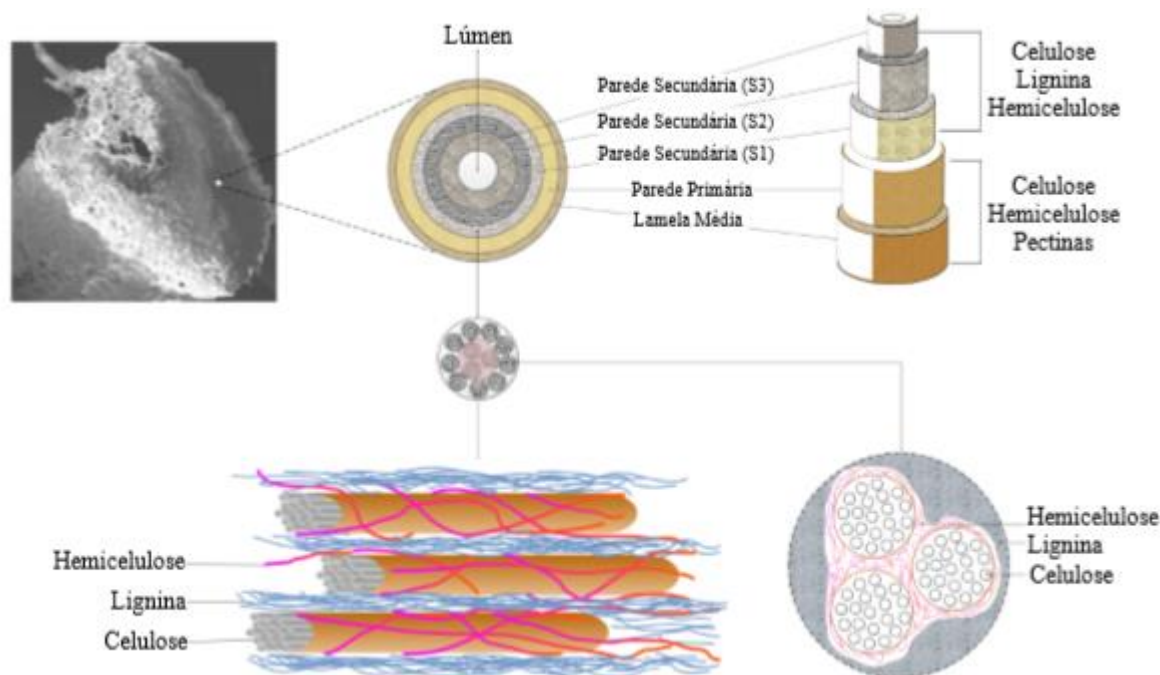


Figura 2: Formação estrutural das fibras vegetais. Fonte: Adaptado WEI, 2014.

O emprego vantajoso de fibras vegetais depende de suas propriedades estruturais e mecânicas, que são geralmente influenciadas pelo local de origem, condições climáticas, idade das plantas e dos métodos de extração que são usados (KABIR; LAU; CARDONA, 2012). As fibras vegetais oferecem benefícios por serem biodegradáveis, atóxicas, de fontes renováveis e por apresentarem baixo custo, o que condiz com os atuais esforços de proteção ao meio ambiente (MARTIN, 2009). A grande vantagem que as fibras vegetais proporcionam como reforço de um material frágil é o comportamento do material compósito quanto a tenacidade e a resistência à tração. Elas diminuem a fissuração da matriz e viabilizam esses compósitos como material de construção (AGOPYAN; SAVASTANO JR.; JHON, 2005; LOPES, 2011).

Contudo, existem limitações ao uso das fibras vegetais, dentre elas a ausência de uniformidade das propriedades, que dependem de muitos fatores como região do plantio, origem, absorção de umidade, produzindo o inchaço das fibras. Além disso, a durabilidade das fibras vegetais, principal problema estudado por muitos pesquisadores, são bastante cometidas pela ação dos microrganismos.

Segundo o Sindifibras – Sindicato das Indústrias de Fibras Naturais da Bahia, grande parte da produção brasileira de fibras vegetais é voltada para a confecção de artesanatos, tecidos, além de serem encaminhadas à exportação para todos os países da Europa, para os Estados Unidos e Japão. A indústria automobilística também produz compósitos de fibras

vegetais para a confecção de peças de acabamento, painéis de porta, prateleiras sob encomendas, assentos, encostos e revestimentos da cabine (BEDIN, 2014).

Alguns estudos mostraram que a incorporação de fibras naturais à base de plantas na construção civil é viável e também podem reduzir os custos de manuseio de materiais e a transferência de calor nos edifícios (ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2016). Além disso, Sarsby (2007) afirma que fibras naturais à base de plantas bem projetadas, como fibra de coco, sisal e linho, podem registrar desempenho superior aos dos geotêxteis sintéticos na separação transitória de sub-solo e sub-base na construção de estradas, controle de erosão e aterro suporte.

2.1.2. Composição química

As fibras vegetais são estabelecidas essencialmente por celulose, hemicelulose, lignina e pectina. Entre elas, a celulose é o principal elemento que consiste em um polímero que está presente na estrutura da maioria dos vegetais e é considerado o mais abundante na crosta terrestre, seguido pela hemicelulose. A celulose é um polímero natural de cadeia longa, também denominada de macromolécula ou grau de polimerização, a qual apresenta um comprimento grande. Devido exatamente ao seu longo tamanho, apresenta variações com relação ao comprimento da cadeia comparado às demais macromoléculas (FORNARI JUNIOR, 2017).

Embora a estrutura química da celulose seja a mesma para diferentes fibras naturais, há variação no grau de polimerização, o qual afeta as propriedades mecânicas das fibras (MOHANTY, 2005). O teor de celulose é o principal constituinte responsável pela resistência. A estrutura cristalina dos polímeros está relacionada à organização das cadeias poliméricas e afeta as propriedades mecânicas como rigidez e resistência. Quanto maior o grau de cristalinidade, melhor o alinhamento das cadeias e, portanto, maior a resistência (CANEVAROLO, 2013).

A hemicelulose é um polissacarídeo de natureza amorfa, cujo as principais moléculas de açúcares encontrados nela são: glicose, xilose, arabinose, manose, ácido glucômico, galactose, dentre outros. O estado amorfo promove a hemicelulose maior liberdade para se estabelecer à estrutura e simultaneamente tornar-se mais flexível para absorver possíveis solicitações. A hemicelulose possui a função de interligar sítios de feixes rígidos e posicionar as longas estruturas que são responsáveis pela resistência mecânica do vegetal (FORNARI JUNIOR, 2017).

A lignina é uma macromolécula polifenólica amorfa, disposta em três unidades, sendo elas a *p*-hidroxifenila, siringila e guaiacila (figura 3). Mediante a sua composição química, a sua função é preservar a união da estrutura, preenchendo os espaçamentos entre as microfibras celulósicas e enrijecer as paredes celulares. Suas características químicas, como apresentar caráter hidrofílico e grupos hidrolisáveis, ocasionam em um desenvolvimento da resistência mecânica e microbiológica contra bactérias e fungos.

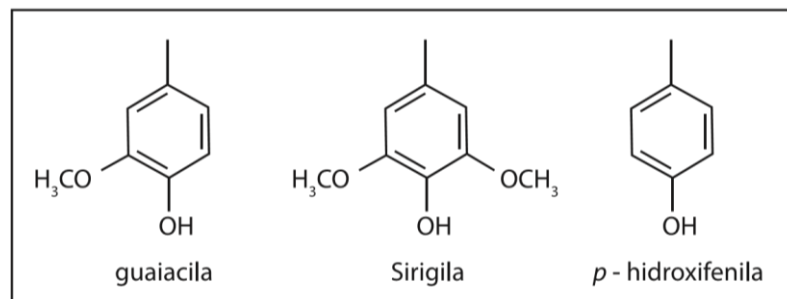


Figura 3: Reprodução das unidades que compõe a lignina. Fonte: FORNARI JUNIOR, 2017.

A pectina é um polissacarídeo ramificado que apresenta alargamento da cadeia principal que são operadas pela planta para conservar a água, desenvolvendo um gel através das reações químicas. A dimensão de pectina no tecido vegetal celulósico é baixa, com 1% em comparação aos outros elementos. A (figura 4) abaixo ilustra a estrutura química da pectina e a (tabela 2) apresenta o teor de holocelulose (celulose + hemicelulose) e lignina de algumas fibras vegetais.

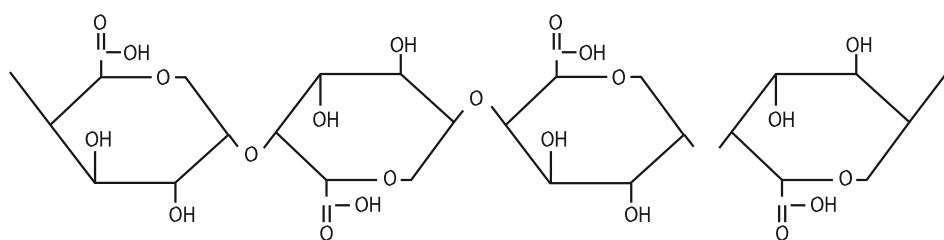


Figura 4: Composição química da pectina. Fonte: FORNARI JUNIOR, 2017.

Tabela 2: Teores dos compostos químicos, em porcentagem. Fonte: SATYANARAYANA, 2018; CASTRO, 2014; ARANTES, 2020.

Fibra	Holocelulose (%)	Lignina Insolúvel (%)
Epicarpo do Coco Babaçu	48	30
Curauá	93	5
Algodão	90	-
Abacaxi	93	12
Palha de arroz	51-70	12 - 16
Bagaço da cana-de-açúcar	71	23

2.2. Fibra vegetal do Epicarpo do Coco Babaçu

2.2.1. Características físicas

O coco babaçu é o fruto de uma palmeira também denominada de babaçu, da família botânica *Arecaceae* (figura 5), presente em muitas regiões tropicais úmidas da América, Ásia, Madagascar, Oceania e Austrália. A família *Aracaceae* apresenta aproximadamente 200 gêneros e 2800 espécies distribuídas pelo mundo (PÉREZ *et al.*, 2012). No Brasil, seu uso é bastante difundido na Amazônia, na Mata Atlântica, no Cerrado e na Caatinga. Entre todas as espécies, as mais propagadas nessas regiões são *Attalea phalerata* e *Attalea speciosa*.

A ocorrência do babaçu no território brasileiro envolve cerca de 196 mil km², incluindo os estados do Maranhão, Tocantins e Piauí (CARRAZZA; ÁVILA; SILVA, 2012). A região compreendida por esses estados é vista como a maior concentração de palmeiras de babaçu e fonte da maior produção extrativista vegetal, sendo conhecida como Mata dos Cocais. A ocorrência do babaçu nesses estados é justificada pela tolerância a climas com temperaturas elevadas e constantes e precipitações pluviométricas acima de 1.000 mm anuais, condições verificadas, especialmente, nas regiões de cerrado, cocais e baixadas (SILVA, 2006).



Figura 5: Palmeira da família botânica *Arecaceae*. Fonte: ARANTES, 2020.

O babaçu pode ocorrer isoladamente nas florestas ou em áreas abertas, sendo mais frequentemente encontrado em áreas degradadas onde é considerada uma espécie pioneira e dominante (SILVA *et al.*, 2012). Segundo Coelho *et al.* (2002), a zona dos babaçuais é uma formação de transição entre a floresta amazônica, mata atlântica, caatinga e cerrado, sendo o Estado do Maranhão o maior produtor e responsável por 74% da produção total.

O babaçu pode medir entre 10-30 metros de altura com caule entre 20-50 cm de diâmetro. Os babaçuais produzem frutos de cor de marrom, formato elipsoidal com sementes oleaginosas e comestíveis. A palmeira produz frutos a partir do oitavo ano e alcança a produção completa após 15 anos. O coco desenvolvido pelo babaçu desprende-se de forma espontânea após atingir o estado maduro (CARRAZZA; ÁVILA; SILVA, 2012; SIRAKOV *et al.*, 2019).

Entre as espécies da família, a *Attalea Speciosa* Mart. *ex Spreng* evidencia-se por ser uma das palmeiras mais numerosas da Amazônia, sendo muito importante na subsistência de muitas comunidades tradicionais, uma vez que todas as suas partes são aproveitáveis. As áreas utilizáveis do fruto são quatro (figura 6), sendo elas o epicarpo (12,6%), mesocarpo (20,4%), amêndoas (8,7%) e endocarpo (58,4%).

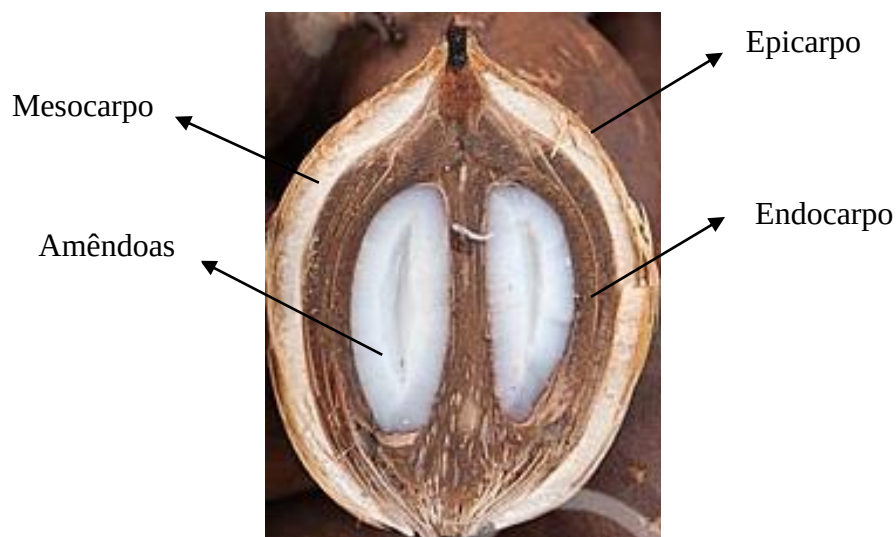


Figura 6: Componentes do fruto do babaçu. Fonte: TYBA, 2009.

O epicarpo corresponde a camada externa de caráter rígido e fibroso. O endocarpo caracteriza-se como a área de maior resistência, representando mais de 50% do fruto. O mesocarpo é a camada que se encontra entre o epicarpo e o endocarpo, rica em amido. A última área que constitui o fruto do babaçu são as amêndoas, podendo a quantidade variar de 1 a 8, com média de 3 a 4 amêndoas por coco (ROCHA; JÚNIOR, 2016).

2.2.2. Colheita do coco babaçu e extração das fibras

Os babaçuais crescem espontaneamente e em abundância na região Amazônia, e de ocorrência natural na Mata Atlântica, no Cerrado e na Caatinga. Em locais de produção, o período chuvoso é a melhor tempo para o plantio, sendo usual plantar e manejar o babaçu. A muda cresce em 4 à 6 meses e é transplantada quando alcançam 5 à 8 cm. O seu crescimento é demorado, a frutificação ocorre após oito anos de plantio, completando toda produção aos 15 anos (CARRAZZA; ÁVILA; SILVA, 2012).

A coleta do coco babaçu é realizada logo que os frutos maduros caem ao chão. A extração do cacho maduro inteiro não é um hábito aconselhável, uma vez que afeta as aplicabilidades ecológicas e o rendimento da planta. Dependendo da finalidade das áreas utilizáveis do fruto, a coleta pode ser executada de formas diferentes. Por exemplo, para a produção de carvão, sugere-se coletar somente os cocos velhos, ou seja, os que não foram coletados no ano antecedente. Porém, para o desenvolvimento do mesocarpo na alimentação

humana, apenas os cocos recém maduros devem ser coletados (CARRAZZA; ÁVILA; SILVA, 2012).

Os cocos recolhidos para reaproveitamento são comumente instalados em quintais ou aglomerados em sacolas plásticas. Este hábito possibilita o contato dos cocos com a terra, com o abafamento dentro dos sacos e em casos de locais abertos, os cocos entram em contato com a chuva, ocasionando em todos os casos um armazenamento de umidade. Esse excesso de umidade ocasiona em problemas da remoção da amêndoa, proporcionando o depósito de larvas nos cocos. As configurações corretas são colocar os cocos em locais cobertos, elevados do chão e ventilados por intervalo de um ano.

Após a coleta, é feita a quebra do coco para a retirada das amêndoas para a indústria, desenvolvidas por mulheres conhecidas por “quebradeiras” de coco (figura 7). A casca do coco babaçu ou epicarpo, material residual da extração, é utilizada para a produção das fibras (figura 8). Nesse processo, inicialmente os epicarpes são lavados com água corrente e sabão para a remoção de sujidades como areia e barro. Em seguida, são colocados em secagem ao sol por um período de 2 dias, sendo assim maceradas em um liquidificador industrial, separando as fibras de outros elementos que constitui o fruto do babaçu (FRANCO, 2010).



Figura 7: Quebradeiras de coco babaçu praticando sistema de ajuda mútua para extração das amêndoas. Fonte: AMAZONIA LATITUDE, 2019.



Figura 8: Fibras do epicarpo do coco babaçu, antes (A) e após (B) o beneficiamento. Fonte: RODRIGUES, 2019.

2.2.3. Propriedades mecânicas

O epicarpo do coco babaçu, por possuir natureza fibrosa e lignocelulósica, tem sido explorado em pesquisas científicas como reforço em materiais compósitos, influenciando nas propriedades físicas e mecânicas (SOUSA, 2016). A grande e avançada quantidade das fibras do coco babaçu presentes na região brasileira permite o emprego das fibras para variados propósitos, como sua adição em matrizes de cimento Portland, uma vez que aprimora as propriedades mecânicas dos compósitos cimentícios (SAVASTANO JUNIOR 2000). As propriedades mecânicas de algumas fibras naturais são detalhadas na tabela 3 abaixo, não sendo encontrada na literatura propriedades mecânicas da fibra do epicarpo do coco babaçu, mas somente de compósitos na qual a fibra foi utilizada como reforço.

Tabela 3: Propriedades mecânicas das fibras. Fonte: FARUK *et al.*, 2012.

Fibra	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)	Densidade (g/cm³)
Linho	345-1035	27.6	1.5
Juta	393-773	26.5	1.3
Rami	560	24.5	1.5
Bambu	140-230	11-17	0.6-1.1
Sisal	511-635	9.4-22	1.5
Curauá	500-1150	11.8	1.4
Abacaxi	400-627	1.44	0.8-1.6
Coco	175	4-6	1.2

Segundo o estudo de Silva *et al.*, 2020 que desenvolveu concreto reforçado com fibra do epicarpo do coco babaçu, a resistência à tração do concreto obteve melhoras com a adição das fibras em relação com concreto convencional, uma vez que diminuiu as tensões da ponte desenvolvidas ao longo da matriz e retardou a ruptura. Uma outra finalidade aos epicarpos do coco babaçu são nas produções de painéis particulados que colabora na indústria de base florestal. O estudo visando sua aplicação comprovou desempenho mecânico satisfatório (MACHADO *et al.*, 2017; LIMA *et al.*, 2006).

2.2.4. Aplicações

Os babaçuais possuem uma capacidade produtiva de aproximadamente 15 milhões t/ano, sendo de fato, utilizados apenas 30% do valor calculado (LIMA *et al.*, 2006). As quatro áreas que compõe o fruto podem ser aproveitadas, destacando-se como uma das melhores fontes alternativas de energia renovável, sendo o mesocarpo empregado para fabricação de álcool, o endocarpo para a produção de carvão e gases, a amêndoa para desenvolvimento de óleo, podendo ser operados em motores a diesel e o epicarpo com potencial de ser utilizado como combustível primário (NASCIMENTO, 2004).

Dentre os produtos adquiridos por meio do coco babaçu, o biodiesel possui destaque, uma vez que representa uma importante alternativa na substituição de combustíveis fósseis por combustíveis resultante de recursos renováveis, fazendo parte assim do projeto Nacional Probi biodiesel do Ministério da Ciência e Tecnologia, MTC, lançado no ano de 2002 (FILHO, 2013; LIMA *et al.*, 2007).

O componente do fruto de maior interesse comercial é a amêndoa, apresentando aplicação na indústria alimentícia, farmacêutica, química, veterinária e cosmética. O endocarpo é empregado como carvão, pois possui qualidade elevada ao carvão de madeira e o mesocarpo é aplicado para o desenvolvimento de farinhas amiláceas “in natura”, amido, glucose e álcool etílico (CINELLI *et al.*, 2014; ARANTES, 2020).

O epicarpo é utilizado como adubo orgânico, xaxim, carvão e estofados, sendo suas fibras recentemente estudadas como reforço de materiais compósitos de matrizes cimentícias. Apesar de possuir variadas aplicações, o epicarpo do coco babaçu ainda é rejeitado em grande quantidade, muitas vezes devido ao extenso volume, que prejudica o armazenamento (CARRAZZA; ÁVILA; SILVA, 2012). Na (figura 9) contém aplicações dos componentes do coco babaçu.

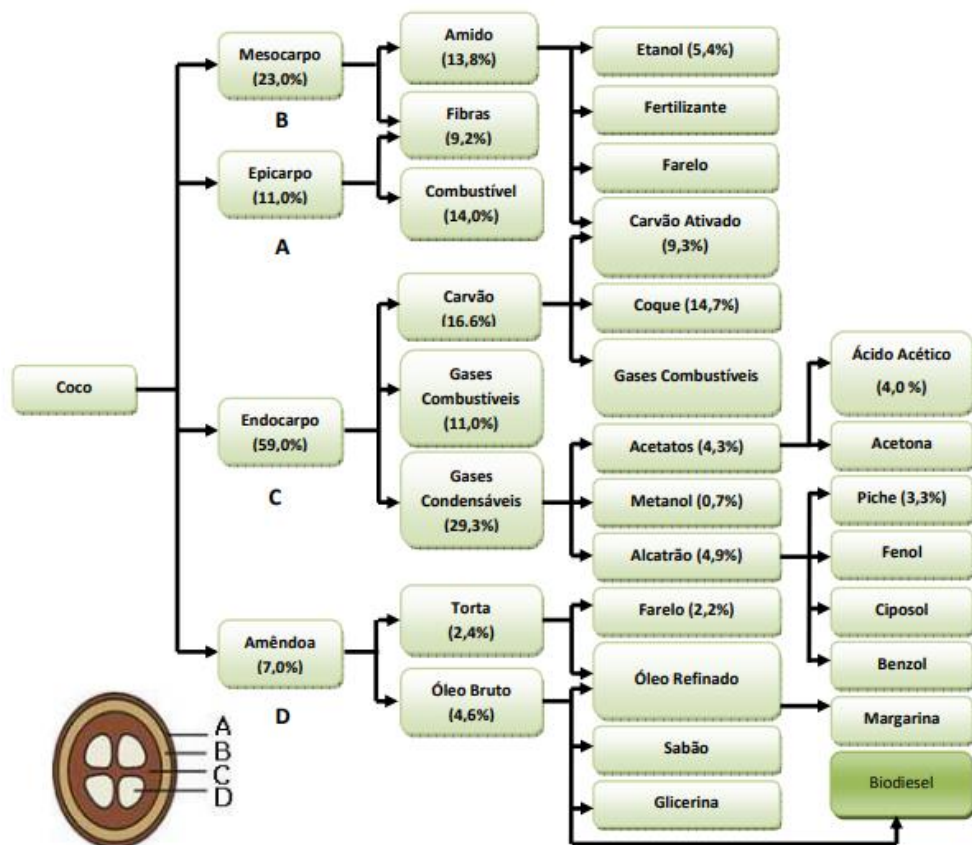


Figura 9: Esquema de aplicações dos componentes do coco babaçu. Fonte: SANTOS, 2008.

2.3. Materiais compósitos

2.3.1. Compósitos de matriz cimentícia

O compósito é definido como um material estabelecido por duas ordens chamadas de matriz e carga. As duas classes exercem funções específicas no material. A primeira penetra a carga de forma uniforme, distribuindo-a regularmente e pode ser determinada apenas por um material no maior número dos casos, porém, ela pode ser formada por dois ou mais materiais. A carga pode ser classificada em carga de reforço ou carga de enchimento. A primeira exerce a função de ajudar na resistência do novo material, enquanto a segunda opera como expansão do volume.

A maioria dos compósitos é desenvolvida visando à melhoria das propriedades mecânicas, como rigidez, resistência e tenacidade, mas com o diferencial de menor peso, ao ser feita a comparação com estruturas convencionais (HAMOUDA; SEYAM; PETERS, 2015). Às

vezes é explorado combinadamente com outras propriedades, como resistência às condições ambientais e a altas temperaturas. Sendo assim, a análise dos compósitos normalmente é concentrada nas propriedades mecânicas.

A matriz cimentícia utilizada em compósitos é constituída basicamente de cimento Portland e água podendo conter agregados finos, superplastificantes e aditivos (TIAN *et al.*, 2017). A matriz cimentícia pode ser classificada em argamassa e concreto, diferenciando-as apenas na adição do agregado graúdo. A grande vantagem da matriz cimentícia é o fato de ser um material de construção que pode ser produzido com uso de equipamentos simples e pode ser moldado adquirindo qualquer forma.

Materiais à base de cimento apresentam boa resistência à compressão, embora sejam frágeis sob certas tensões e cargas de flexão (HALVAEI *et al.*, 2014). Esse comportamento envolve desempenho de baixa tenacidade, que é relacionado ao colapso do material quando sua resistência à flexão é excedido (BALLESTEROS *et al.*, 2019). Neste ponto, a adição de fibras de reforço dentro da matriz do compósito é essencial para abordar esta tendência (SHOKRIEH *et al.*, 2015).

2.3.2. Fibras como reforço em compósitos

Segundo Tessaro *et al.* (2015), desde a origem da civilização antiga houve o uso das fibras como reforço de matrizes que utilizavam palha e capim na confecção de tijolos de barro cru, conhecidos como adobe. Especialmente as fibras vegetais, o seu emprego hoje em compósitos pode apresentar o papel de cargas de enchimento ou de reforço (FORNARI JUNIOR, 2017) e a sua adição pode ser realizada no formato moído ou natural alongada. A última atribui um elevado reforço ao compósito, desenvolvendo uma boa união entre a superfície da fibra e a matriz. No entanto, o uso das fibras como reforço de compósitos cimentícios possuem baixa porcentagem do concreto produzido no mundo, sendo suas particularidades conhecidas recentemente como reforço de materiais frágeis.

Segundo Santos (2013) um dos desafios na confecção dos compósitos à base de cimento consiste em ter uma boa adesão entre a fibra e a matriz, uma vez que a fibra exerce um papel importante nas propriedades dos compósitos cimentícios, pois é ela que vai reger a transferência de tensão para as outras partes, na sua atuação como reforço. Ancoragem e fricção, que dependem de ligações químicas ou fenômenos físicos, ou uma combinação de ambos os

fatores, afetam principalmente a adesão da interface fibra-matriz (ASASUTJARIT *et al.*, 2007; ANDRZEJ, 2009).

A introdução de fibras pode agir de duas maneiras em compósitos à base de cimento: como reforço primário, para melhorar as propriedades de flexão e tração dos compósitos e como reforço secundário, para evitar a criação e propagação de fissuras na matriz de cimento por ponte sobre as microfissuras. Dessa forma, a aplicação de fibras em materiais cimentícios é acompanhada de resultados desejáveis como diminuição da criação de fissuras e propagação de fissuras, aumento da tenacidade e ductilidade da matriz, aumento da capacidade de absorção de energia e aumento da resistência à tração e flexão (SILVA NETO, 2018).

2.3.3. Comportamento mecânico dos compósitos com fibras

As características mecânicas de um compósito reforçado com fibras não dependem somente das propriedades da fibra, mas também do grau segundo o qual uma carga aplicada é transmitida para as fibras pela fase matriz, o qual é determinado pela magnitude da ligação interfacial entre as fases fibra-matriz (CARDOSO, 2014). Para promover uma elevada adesão dela, é necessário um tratamento em algumas particularidades que a compõe, pois seu desempenho é influenciado por exemplo, pelo comprimento da fibra, morfologia, diâmetro. Além disso, reduzir a disposição da absorção de água melhora a interação, uma vez que as fibras sofrem variações dimensionais na presença ou falta de água.

Estudos experimentais mostram que o reforço com fibras eleva a versatilidade da argamassa, superando suas características de fragilidade, possibilitando um trabalho no estágio pós-fissurado (TEIXEIRA, 2015). Para o fibrocimento, a adição de fibras tem duas consequências. A primeira é redução dos eventos de trincas e sua propagação em todo material e o segundo resultado é a diminuição das tensões da ponte geradas ao longo da matriz, que permite um colapso final progressivo (BALLESTEROS *et al.*, 2019). O uso de fibras vegetais também traz um desempenho mecânico notável do composto sob tensões de flexão, verificado na (figura 10) (TIAN *et al.*, 2016).

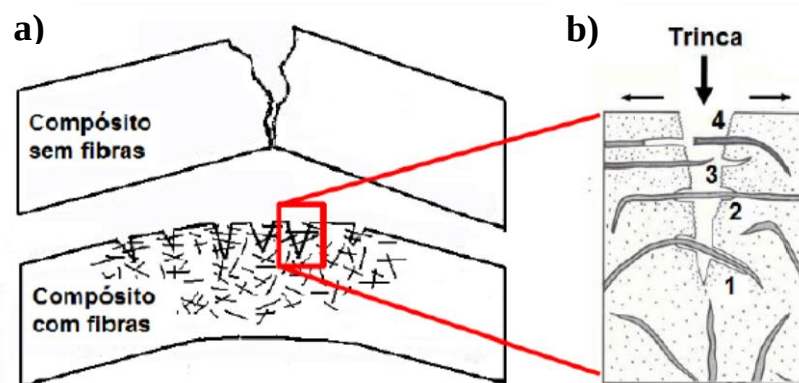


Figura 10: Comportamento de um compósito. Fonte: FARRAPO, 2015.
 Legenda: a) Com e sem fibras quando submetido à flexão; b) caminhamento da trinca: 1- deslocamento; 2 - interceptação; 3 - arrancamento; 4 - fratura da fibra.

Existem alguns fatores que interferem no comportamento mecânico das fibras, por exemplo, o diâmetro e comprimento da fibra. Tomczak *et al.* (2007) observaram que para diferentes diâmetros das fibras de curauá (0.026mm - 0.064mm), houve uma mudança nos resultados da resistência à tração e o módulo de elasticidade, principalmente uma diminuição das propriedades com o aumento do diâmetro das fibras. Com fibras de mesma amplitude, e comprimentos variados (5 e 25 mm), o módulo de elasticidade aumentou para o de maior comprimento, porém, a resistência à tração diminuiu. Fibras com pequenos ângulos microfibrilares geralmente apresentam maior resistência e rigidez, enquanto fibras com maiores ângulos proporcionam comportamento dúctil (DEFOIRDT *et al.*, 2010).

De acordo com Silveira (2018), o módulo de elasticidade é proporcional ao teor de celulose e inversamente proporcional ao ângulo microfilar. Fidelis *et al.* (2013) observaram que à medida que a área interna dos lúmens diminui e a espessura da parede celular secundária aumenta, a resistência à tração e o módulo de Young da fibra aumentam. Na resistência à compressão, a adição de fibras apresenta pequenos aumentos, sem resultados consideráveis (YOUSEFIEH *et al.*, 2017). Isso ocorre devido as fibras serem macias e a resistência à compressão do vegetal é influenciada pela rigidez dos componentes (SELLAMI *et al.*, 2013). Quanto a tenacidade, o emprego de fibras curtas uniformemente distribuídas e aleatoriamente orientadas pode melhorá-la e limitar o início e propagação das microfissuras na matriz (WEI; MEYER, 2015).

2.4. Durabilidade de compósitos com fibras vegetais

As dificuldades do emprego das fibras vegetais como reforço em matrizes cimentícias está associado a durabilidade do compósito. A redução da resistência desses compósitos no decorrer do tempo está relacionada a alcalinidade da matriz. As fibras vegetais apresentam baixa durabilidade em um ambiente alcalino de uma matriz de cimento Portland, pois suas partículas se dissolvem na água liberando bastante álcalis, que são posteriormente precipitados na superfície ou no interior das fibras produzindo a destruição da hemicelulose e lignina que permitem as fibras ficarem mais mineralizadas e frágeis, diminuindo sua resistência (OLIVEIRA, 2017; GOMES; SAVASTANO, 2014; PIZZOL *et al.*, 2014; MELO FILHO *et al.*, 2013; SAVIJA; LUKOVIC, 2016).

Tolêdo Filho *et al.* (2000) investigaram a perda de força das fibras de sisal e coco imersas em substâncias de soluções alcalinas, bem como a durabilidade de argamassas de cimento que incluíam essas fibras quando expostas a condições de intempéries. Eles observaram que as fibras imersas perderam completamente sua flexibilidade enquanto que na argamassa os compósitos sofreram perda significativa de tenacidade.

Um outro processo que causa a mineralização das fibras são a presença de cristais de hidróxido de cálcio provenientes da hidratação do cimento. Eles migram para paredes, lúmens e vazios das fibras, ocasionando o ataque alcalino das fibras, diminuindo a resistência do material. A degradação é ainda maior pela despolimerização induzida por hidrólise alcalina de fibras, em que moléculas de glicose ligadas são interrompidas e o comprimento da cadeia molecular é reduzido (TOLÊDO FILHO, 2000; MÁRMOL, 2013). Os compósitos cimentícios também podem sofrer sérias reduções de resistência e tenacidade como resultado do enfraquecimento natural das fibras por uma combinação de ambos os mecanismos, ataque alcalino e mineralização (WEI; MEYER, 2015).

Um elemento que também pode afetar a durabilidade do compósito é o pH. Isso porque o pH da solução ao longo da cura do cimento percorre um valor acima de 12, enquanto que o material vegetal possui pH ácido. Assim, o pH é afetado, modificando a estabilidade dos elementos durante a hidratação, ocasionando em uma implicação negativa na cura, solubilidade e estabilidade da hidratação do cimento (WEBER, 2018). Estudos realizados com fibra de sisal e coco expostos a soluções alcalinas e posteriormente sujeitos às avaliações de resistência à tração, afirmam que as fibras conseguiam conservar sua flexibilidade e resistência em concreto carbonatado no qual o valor do pH era 9 ou menos (MERTA *et al.*, 2017).

Segundo Silva e Aquino (2008), a alta absorção de umidade também provoca consequências ruins quanto a durabilidade do compósito. Isso ocorre devido a sua natureza hidrofílica que ocasiona em inchamento, danificando a estabilidade do compósito quando presente em locais úmidos. Devido a essa característica natural das fibras, pode haver também um problema com a adesão interfacial da fibra com a matriz para os polímeros, uma vez que são hidrofóbicos. Além disso, o movimento da umidade pode resultar em mineralização da fibra, levando à deposição de hidróxido de cálcio no lúmen e vazios de células de fibra, conforme relatado para fibra de coco em matriz de cimento sujeita a 25 ciclos de umedecimento e secagem (TOLEDO FILHO *et al.*, 2000).

A absorção de umidade das fibras naturais está relacionada com o teor de hemicelulose que ela contém. Quanto maior a proporção, maior será a absorção de água. O teor de umidade da fibra influencia o grau de cristalinidade, orientação cristalina, porosidade das fibras, resistência à tração, comportamento ao inchaço e aumento do desenvolvimento de biodegradação por ataque microbiano (METHACANON *et al.*, 2010; JOHN; THOMAS, 2008).

Melo Filho, Silva e Toledo Filho (2013) declaram que o compósito sofre redução na resistência e tenacidade quando experimentam o processo de envelhecimento em ambientes úmidos.

A ligação interfacial entre a fibra e matriz de concreto também é considerada um fator adicional, que afetam as propriedades mecânicas do compósito, consequente a durabilidade do mesmo, sendo o arrancamento das fibras o principal mecanismo de falha. A ligação interfacial em compósitos de fibra à base de cimento pode ser afetada por várias variáveis, como a relação água / cimento, porosidade, forma da fibra, morfologia e compactação (WEI, 2014).

A durabilidade da fibra natural (composta de celulose, lignina e hemicelulose) depende da durabilidade dos constituintes expostos a tensão. No caso de condições meteorológicas naturais, a maior parte dos fatores de tensão são uma combinação de variações de temperatura e umidade, evaporação superficial, precipitação, pressão do vento e insolação. A radiação ultravioleta parece ter uma influência sobre a fibra principalmente durante o processo de produção porque as fibras secam ao ar livre expostas ao sol (ZUKOWSKI *et al.*, 2018).

Prejuízos nas fibras podem também ser provocados por ataques biológicos. Bactérias e fungos podem se desenvolver e agredir as fibras em seu estado natural quando armazenadas em locais sem ventilação ou úmido, assim como no compósito, quando a umidade e secagem ocorrem em clima quente (ZUKOWSKI *et al.*, 2018).

2.5. Tratamentos superficiais

Com a finalidade de melhorar a durabilidade dos compósitos, tratamentos vêm sendo realizados nas fibras, a fim de remover impurezas na superfície e melhorar a estabilidade volumétrica da fibra e a transferência de tensões fibra-matriz (SILVEIRA, 2018). Os tratamentos podem ser de carácter físico ou químico. O primeiro é utilizado comumente para possibilitar a estabilidade dimensional da fibra e alteração estrutural e o segundo é usado com a finalidade de resguardar as fibras dos meios que serão implantadas e aprimorar sua adesão.

Tratamentos com silano, acetilação, polpação e hornificação tem sido explorada pelos pesquisadores. A hornificação mostrou por meio dos estudos de Ferreira *et al.* (2014) que as fibras secas e re-umedecidas alternadamente para diminuir irreversivelmente sua retenção de água, melhoram a ligação de fibrocimento e a durabilidade da fibra na matriz de cimento.

O pré-tratamento em fibras também tem existido, por exemplo, a aplicação de álcalis que remove as substâncias naturais e impurezas artificiais e decompõem o feixe de fibras em fibras menores, aumentando a área efetiva da superfície (ONUAGULUCHI; BANTHIA, 2016). Outros estudos de modificação também foram desenvolvidos por outros pesquisadores com o objetivo de diminuir a fragilização do compósito, como a imersão das fibras em uma pasta de sílica ativa antes da sua adição na argamassa de cimento (TOLÊDO FILHO *et al.*, 2009).

2.5.1. Tratamentos nas fibras

Para impossibilitar a degradação da fibra, é preciso modificar sua propriedade hidrofílica para hidrofóbica. Os tratamentos atribuídos a isso são classificados em físicos e químicos. O primeiro aprimora as características das fibras como, módulo de elasticidade e resistência e reduz a possibilidade de retração e deslocamento da fibra no compósito (PINTO, 2019).

Entre os tratamentos físicos existe a hornificação, na qual as fibras são sujeitas a ciclos de molhagem e secagem e suas paredes celulares entram em colapso, resultando na diminuição do lúmen e mudanças nas paredes fibrocelulares (FERREIRA, 2012). No final, de acordo com Luo *et al.* (2011), a hornificação promove uma forte ligação entre as fibrilas através da ligação de hidrogênio que resulta em uma melhor celulose. Essas ligações promovem encolhimento na estrutura da fibra, reduzindo a elasticidade da parede celular e altera a distribuição do tamanho dos poros (BALLESTEROS *et al.*, 2019).

No que diz respeito ao tratamento químico, sua função é preservar a degradação das fibras resultante da composição química do cimento e expandir a relação fibra com a matriz (WEI, 2014). Segundo Merta *et al.* (2017), o procedimento mais comum para esse tipo de tratamento é mergulhar as fibras em diferentes agentes químicos antes de adicioná-la à matriz, por exemplo, o tratamento alcalino realizado com hidróxido de sódio (NaOH) que eliminam parcialmente a hemicelulose e a lignina, resultando em uma crescente fração de celulose, principal responsável pela resistência mecânica da fibra (KIM; NETRAVALI, 2010).

O tratamento alcalino também remove parcialmente os grupos hidroxila hidrofílicos das fibras naturais, o que melhora suas propriedades de remoção de umidade (MERTA *et al.*, 2017). Ao usar o tratamento alcalino, a superfície das fibras torna-se mais ásperas, influenciando positivamente a durabilidade de todo o compósito (WEYENBERG *et al.*, 2003; TAALLAH; GUETTALA, 2016).

Também há tratamentos em que são colocados recobrimentos na fibra vegetal como resinas e polímeros que formam um filme que impede o contato da fibra com os produtos da hidratação, protegendo-a. Os polímeros utilizados podem ser de origem natural ou sintética. Os naturais são usados em matrizes de biocompósitos e podem ser processados na presença de plastificante, similarmente aos polímeros sintéticos convencionais (SANTOS, 2015).

2.5.2. Tratamentos nas matrizes

Em materiais cimentícios, um tratamento possível e promissor para reduzir a alcalinidade da matriz e diminuir o teor do hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2), principal elemento que provoca a elevada alcalinidade do cimento, é através da substituição parcial do cimento por subprodutos industriais como escórias, cinzas volantes, sílica ativa (SANTANA, 2016; MERTA *et al.*, 2017).

Mohr *et al.* (2007) relataram que misturas binárias e ternárias de escória, metacaulim e sílica ativa foram eficazes na redução da degradação de compósitos de cimento reforçado com fibra de celulose expostos a ciclos úmido-seco.

Segundo Silva *et al.* (2010b), substituir o cimento Portland por 30% de metacaulim e 20% de resíduos de tijolos de argila triturados resulta em uma matriz livre de hidróxido de cálcio aos 28 dias de idade. Após seis meses de envelhecimento em imersão em água quente, os compósitos reforçados com fibra de sisal desenvolveram resistência à flexão 3,8 vezes maior e tenacidade 42,4 vezes maior em comparação aos compósitos com apenas cimento Portland.

2.6. Produção de elementos estruturais sem amianto

Na construção civil, os materiais cimentícios vêm ultrapassando as adversidades ambientais, resultante do consumo de recursos naturais e produção de resíduos, através da substituição de seus principais elementos por materiais reutilizáveis, por exemplo, o fibrocimento. Esse material é formado por cimento, amianto e água, amplamente empregada na confecção de telhas (HENRIQUES *et al.*, 2014). O amianto é uma fibra mineral que tem o propósito de reforçar a matriz frágil, disponível em uma concentração de aproximadamente 10% em massa no compósito cimentício. Esse material é o mais importante da composição, mas resulta em altos prejuízos à saúde, incentivando a substituição do mesmo por agregados minerais, fibras vegetais e poliméricas (NETO *et al.*, 2010; ARTIGAS, 2013).

À vista disso, muitos materiais estão sendo avaliados como possibilidade de substituir o amianto, como as fibras originárias do refino da polpa Kraft de sisal em conjunto com fibras de polipropileno, estudadas através da pesquisa de Tonoli (2006), além do uso da fibra do bagaço de cana de açúcar, pesquisada por Teixeira (2010).

Segundo Tonoli *et al.* (2010), o uso de compósitos reforçados com fibras vegetais em telhas, chapas planas e elementos pré fabricados representam significantes contribuições para a infraestrutura nos países em desenvolvimento.

2.6.1. Placas cimentícias

As placas são produzidas na maior parte dos casos por cimento, fibras sintéticas ou naturais e areia. Suas dimensões são diversificadas e depende de qual será seu desempenho, apresentando muitos tamanhos e espessuras, que varia em regra entre 16 e 36 mm, podendo ter espessura aumentada, dependendo da sua aplicação (KHORAMI *et al.*, 2016). Quanto ao seu uso, as placas são aplicadas para divisórias internas, forros, revestimento externo, com benefícios variados como menor peso em comparação a uma alvenaria tradicional, elevado desempenho acústico, facilidade na fabricação e manuseio e baixa manutenção em comparação a outros produtos.

As placas que compreendem cimento Portland na composição são chamadas de cimentícia, verificada na (figura 11). O seu uso em maior escala começou depois do desenvolvimento de tecnologia e progresso da construção a seco. As placas cimentícias com reforço podem ser formadas por argamassa com uma trama, conferindo elevada resistência à

placa, permitindo que obtenha dimensões superiores, uma vez que a trama, estabelecida com fios de 0,20 a 0,50 mm, caracteriza a parte mais resistente da estrutura. A ABNT NBR 15498:2016 é a norma brasileira específica que determina os critérios de análise das placas cimentícias com uso de reforço (AZEVEDO, 2018; GAVA, 2003).



Figura 11: Placa cimentícia comercial. Fonte: SPECK, 2014.

3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental foi dividido em três etapas, conforme a figura 12 abaixo. A primeira etapa foi a caracterização dos materiais; a segunda a produção das placas cimentícias e por último os ensaios físicos, mecânicos, microestruturais e mineralógicos que as placas foram submetidas.

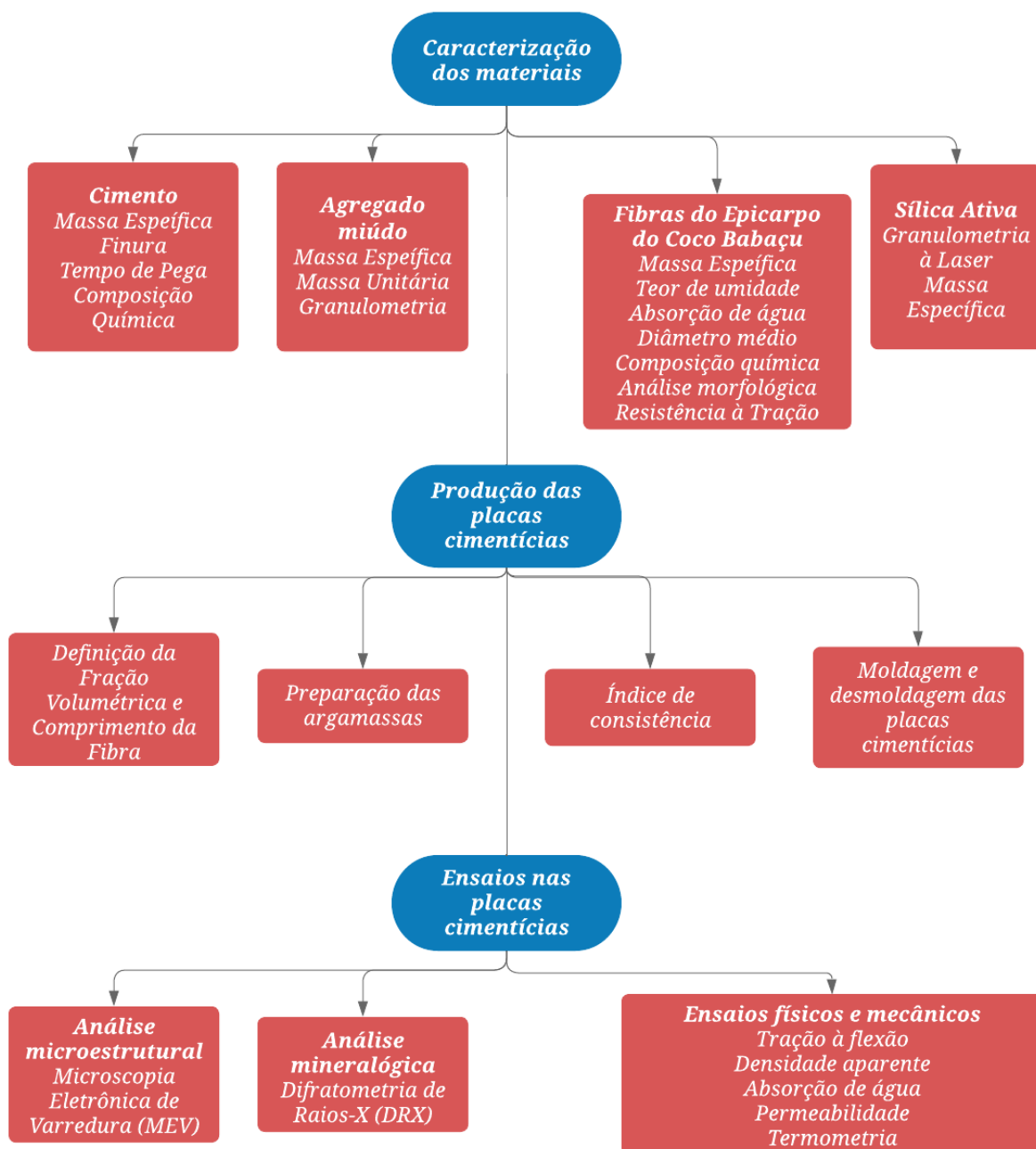


Figura 12: Plano experimental da dissertação. Fonte: AUTORA, 2022.

3.1. Materiais aplicados

Os materiais empregados para a elaboração dos compósitos cimentícios, suas especificações e características estão abordados nesse tópico, visando uma melhor compressão do compósito em estudo.

3.1.1. Cimento

Para o desenvolvimento do estudo, o cimento utilizado foi do tipo CP-IV RS que confere as argamassas particularidades especiais, uma vez que as adições presentes no cimento o fazem ter baixa permeabilidade e resistência a ambientes quimicamente agressivos, aumentando a estabilidade e durabilidade da argamassa e do concreto. O cimento Portland pozolânico possui baixo calor de hidratação, proporcionando um aumento da resistência à compressão em idades avançadas, além de apresentar menor teor de álcalis em comparação aos outros cimentos, ocasionando em uma matriz de menor alcalinidade.

O cimento foi ensaiado conforme os requisitos solicitados pela ABNT NBR 16697 (2018) (Cimento Portland – Requisitos). As características do cimento tipo CP IV podem ser observados na tabela 4. As propriedades estão de acordo com os requisitos estabelecidos pela norma.

Tabela 4: Características do cimento CP-IV 32 RS. Fonte: Autora, 2022.

Propriedade	CP-IV	Norma
Massa específica	2,96 g/cm ³	NBR 16605 (2017)
Finura (peneira #200)	0,9%	NBR 11579 (2013)
Finura (peneira #325)	9,1%	NBR 12826 (2014)
Início da pega	215 min	NBR 16607 (2018)
Fim da pega	270 min	NBR 16607 (2018)

As composições químicas dos cimentos empregados podem ser verificadas na tabela 5. Utilizou-se a técnica de fluorescência de raios-X (FRX) para a determinação das composições químicas, sendo realizado no Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Os teores exibidos foram estabelecidos em amostra fundida com tetraborato de lítio, na calibração CIM-1 (cimentos), relativa a análise quantitativa por comparação com materiais de referência certificados, em espectrômetro de fluorescência de

raios X, marca Malvern Panalytical, modelo Zetium. A Perda ao Fogo (PF) foi realizada a 1.020°C por 2h.

Tabela 5: Análise química do cimento CP-IV 32 RS. Fonte: Autora, 2022.

Amostra	CP-IV
SiO ₂ (%)	28,8
Al ₂ O ₃ (%)	8,31
Fe ₂ O ₃ (%)	3,48
CaO (%)	48,2
MgO (%)	3,83
SO ₃ (%)	2,10
Na ₂ O (%)	0,41
K ₂ O (%)	0,91
TiO ₂ (%)	0,36
P ₂ O ₅ (%)	0,06
MnO (%)	0,09
SrO (%)	<0,05
PF (%)	4,13

3.1.2. Agregado miúdo

A areia lavada foi utilizada como agregado miúdo sendo esta obtida em margens de rios provenientes da lavagem natural pelas águas, logo, não tem mistura de terra. A areia foi preservada em ambiente fechado, livres de ações como o vento, a água de chuva e o sol, evitando contaminações e desperdícios do material. Para a produção da argamassa, a areia foi seca em estufa até retirar a umidade contida.

Sua caracterização, localizada na tabela 6, foi determinada com o objetivo de adquirir sua massa específica, de acordo com a norma ABNT NBR 9775 (2011), massa unitária pela NBR NM 45 (2021) e granulometria por meio da ABNT NBR NM 248 (2003), na qual foram encontrados o diâmetro máximo, módulo de finura da areia e apresentado a curva granulométrica.

Tabela 6: Características do agregado miúdo. Fonte: Autora, 2022.

Propriedade	CP-IV	Norma
Massa específica	2,64 g/cm ³	NBR 9775 (2011)
Massa unitária	1,53 kg/dm ³	NBR NM 45 (2021)
Diâmetro máximo	2,36 mm	NBR NM 248 (2003)
Módulo de finura	1,83	NBR NM 248 (2003)
Zona	Utilizável Inferior	NBR 7211 (2009)

Como pode ser verificado na curva granulométrica do agregado miúdo (figura 13), o mesmo está situado na zona utilizável inferior, de acordo com os parâmetros determinados na norma ABNT NBR 7211:2009 (Agregados para concreto – Especificação), uma vez que seu módulo de finura obtém um valor de 1,83. Conforme a NBR 7211:2009, as areias que possuem o módulo de finura entre os limites de $1,55 < MF < 2,20$ são classificados como finas.

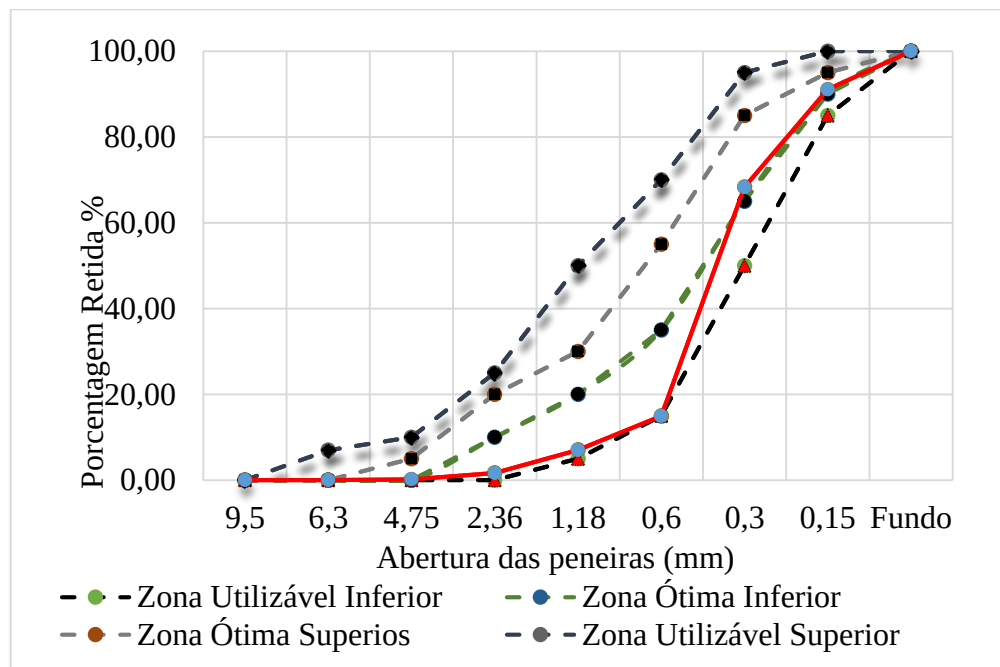


Figura 13: Curva Granulométrica do Agregado Miúdo. Fonte: AUTORA, 2022.

3.1.3. Fibras do epicarpo do coco babaçu

As fibras do epicarpo do coco babaçu que foram utilizadas na pesquisa são da espécie vegetal *Attalea Speciosa Mart. ex Spreng*, uma vez que há uma diversidade considerável de

usos registrados com essa palmeira, incluindo a construção civil (Campos *et al.*, 2015). As fibras foram recebidas já beneficiadas (figura 14) e extraídas da região de Pirapemas – MA. As etapas de coleta e beneficiamento foram acompanhadas pela empresa Babaçubras.



Figura 14: Fibra do epicarpo do coco babaçu. Fonte: AUTORA, 2022.

3.1.4. Sílica ativa

As fibras do epicarpo do coco babaçu foram tratadas através da impregnação em uma pasta composta por sílica ativa da marca Dow Corning, um material pozolânico que pode colaborar para o ganho da resistência mecânica do compósito e na diminuição da quantidade de água para a trabalhabilidade. Sua composição química é observada na tabela 7 abaixo.

Tabela 7: Composição da sílica ativa. Fonte: DOW CORNING, 2010.

Substância	CAS*	Composição química (%)
Sílica Amorfa (SiO ₂)	69012-64-2	≥ 85,0
Sílica Cristalina (SiO ₂)	14808-60-7	≤ 0,5
Óxido de sódio (Na ₂ O)	1313-59-3	≤ 1,5
Carbono total (C)	1333-86-4	≤ 6,0
Umidade (H ₂ O)	-	≤ 3,0

*CAS: Chemical Abstract Service Registry Number.

A massa específica da sílica ativa foi determinada de acordo com a ABNT NBR 16605:2017, ou seja, o mesmo método ensaiado para o cimento, apresentando um valor de 2,2

g/cm³. Na figura 15 é verificada a distribuição de tamanho das partículas de sílica ativa, sendo determinada pelo processo de espalhamento de luz laser de baixo ângulo (0,05 a 1,000 µm), situado no Laboratório de Caracterização Tecnológica da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

A análise granulométrica foi realizada pelo equipamento Malvern que consiste na medição dos ângulos de difração do raio laser, que são relacionados ao diâmetro das partículas. Neste método, as partículas grossas espalham o raio a menores ângulos e vice-versa. É empregado o laser com fonte de luz de comprimento de onda fixo e detectores para espalhamento da luz que emitem mensagens para um computador que calcula e fornece os resultados. A sílica ativa empregada possuiu diâmetro d(0.5) de 163,081 µm.

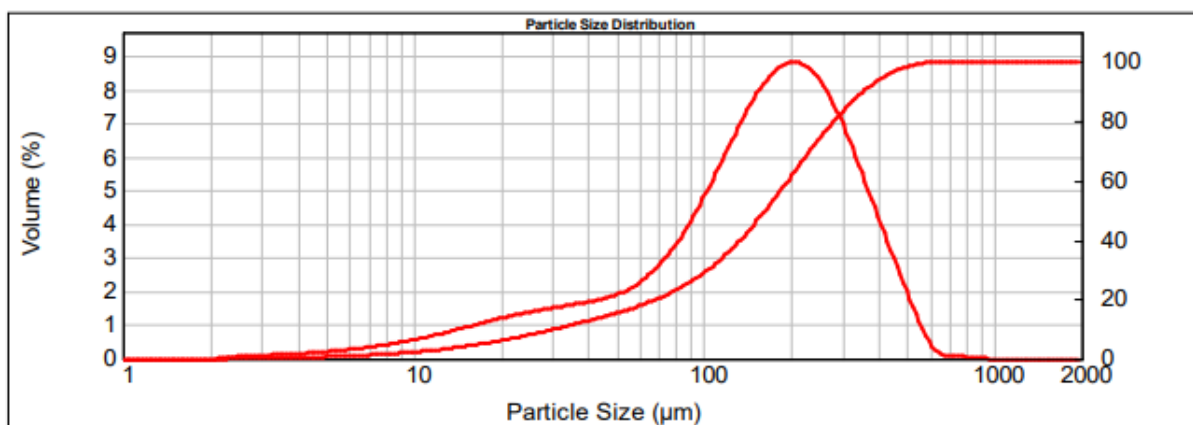


Figura 15: Distribuição de tamanho das partículas. Fonte: AUTORA, 2022.

3.1.5. Aditivo superplastificante

Na produção dos compósitos com fibras do epicarpo do coco babaçu, foi empregado aditivo plastificante quartzolit, um aditivo incorporador de ar com adição plastificante para aumentar a coesão e melhorar a consistência da composição com capacidade de redução de água, com benefícios que inclui fácil adensamento, aumento da fluidez e coesão da composição. De acordo com o fabricante, o aditivo apresenta massa específica de 1,002 – 1,004 g/cm³ e necessita ser adicionado à argamassa em uma dosagem de 0,2 a 0,5% sobre a massa do cimento.

3.2. Metodologia

3.2.1. Caracterização da Fibra do epicarpo do Coco Babaçu

As fibras do epicarpo do coco babaçu foram caracterizadas através da determinação de suas propriedades físicas, químicas, morfológicas e mineralógicas, relevantes para avaliar e garantir seu potencial como reforço de matrizes cimentícias.

3.2.1.1. Massa específica

Para conferir a massa específica das fibras, elas foram cortadas e secas em estufas até a constância da massa. Após essa etapa, seguindo ABNT NBR 16916 (2021), foram separadas 2,5kg de fibras e espalhadas em bandejas, cobrindo-as com água durante 24 horas. Após este tempo, a amostra foi retirada da água e submetidas a secagem ao ar livre e separadas 500g para ser colocadas em frasco com tampa e água até abaixo da marca de 500 ml. Em seguida, o conjunto foi colocado em banho mantido a temperatura constante (27,6°C) e após aproximadamente 1h, completou-se com água até a marca de 500 ml, conforme a figura 16.



Figura 16: Determinação da massa específica: a) fibra inserida no frasco, b) amostra em banho. Fonte: AUTORA, 2022.

Depois do transcorrido, as fibras foram retiradas do frasco e colocadas em bandeja para secagem a temperatura de 105 °C até alcançar sua massa constante. A massa específica da fibra foi calculada conforme a equação 3.1.

$$\mu = \frac{m}{V-Va} \quad \text{Equação 3.1}$$

Onde:

μ = massa específica da fibra, em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

m = massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas (g);

V = volume do frasco calibrado, em centímetro cúbico (cm³);

Va = volume da água adicionada ao frasco, em centímetro cúbico (cm³).

3.2.1.2. Teor de umidade

O teor de umidade das fibras foi definido segundo a norma TAPPI T550 om-08 (2013) (*Determination of equilibrium moisture in pulp, paper and paperboard for chemical analysis*). 2 g de amostra de fibra foi pesado e seco ao ar por 24 h. Em seguida, o conjunto foi disposto em estufa a 105°C por 1h. Após esse período, o conjunto é novamente pesado e os resultados foram dispostos na equação 3.2.

$$U (\%) = \frac{m_u - m_s}{m_u} \times 100 \quad \text{Equação 3.2}$$

Onde:

U = teor de umidade, em porcentagem (%);

m_u = massa da fibra úmida, em gramas (g);

m_s = massa da fibra seca na estufa, em gramas (g).

3.2.1.3. Absorção de água

O ensaio de absorção de água da fibra do epicarpo do coco babaçu foi realizado através do mesmo método empregado para o cálculo da massa específica, seguindo a ABNT NBR 16916 (2021). A equação 3.3 foi utilizada para calcular a absorção de água das fibras.

$$\text{Abs} = \frac{m_b - m_a}{m_a} \times 100 \quad \text{Equação 3.3}$$

Onde:

Abs = absorção de água, em porcentagem (%);

m_a = massa da amostra seca em estufa, em gramas (g);

m_b = massa da amostra na condição saturada superfície seca, em gramas (g)

3.2.1.4. Diâmetro médio

Para a determinação, foram separadas 10 amostras de fibras e determinados os diâmetros através do paquímetro digital em três locais da superfície de cada fibra, sendo elas as suas extremidades e o centro. Em seguida, foi calculado a média do diâmetro dos três valores para cada amostragem e por último, realizado um novo cálculo da média de todos os valores de todas as 10 fibras avaliadas.

3.2.1.5. Composição química das fibras

A composição química das fibras foi determinada de acordo com o método proposto por Sluiter et al. (2012), originando os teores de lignina insolúvel em meio ácido, lignina solúvel em meio ácido e carboidratos totais. O método consistiu na hidrólise de aproximadamente 0,3 g de amostra em tubos de ensaio com 3 ml de ácido sulfúrico 72% (m/m) por 1 h a 30 °C, com maceração e agitação a cada 5 min utilizando um bastão de vidro. Em seguida, o material foi transferido para um frasco de vidro e diluído a 4% adicionando 84 ml de água destilada. Os frascos foram fechados, homogeneizados e condicionados em autoclave a 121 °C por 1 h. Os frascos então foram retirados da autoclave e o conteúdo filtrado a vácuo em cadinho de Gooch de porosidade média.

Posteriormente, a massa retida no cadinho foi lavada exaustivamente com água e o filtrado foi transferido para um balão volumétrico de 250 ml. A massa retida no cadinho de Gooch foi quantificada por gravimetria, gerando a fração denominada Lignina Insolúvel em Ácido (LIA). O cadinho de Gooch foi seco em 105 °C por 6 h, pesado e posteriormente utilizado na filtração. Em seguida, os cadinhos foram novamente secos em estufa a 105 °C por 12 h até massa constante. A massa do resíduo retido no cadinho foi então registrada e utilizada para calcular a porcentagem de LIA da amostra. O filtrado obtido foi então avolumado a 250 ml e

submetido à análise espectrofotométrica no comprimento de onda de 240 nm para determinação da Lignina Solúvel em Ácido (LSA).

O teor de carboidratos foi analisado do hidrolisado ácido do procedimento descrito acima em cromatógrafo Shimadzu modelo LC20AD, equipado com amostrador automático modelo SIL 10Af, degaseificador de fase móvel modelo DGU 14A, aquecedor de coluna modelo CTO 10A e detectores nos modelos RID10A para índice de refração e SPD-M10A para espectrofotometria no ultravioleta.

3.2.1.6. Análise morfológica

A caracterização morfológica das fibras do epicarpo do coco babaçu foi executada pelo microscópio eletrônico no Laboratório de Biomateriais do Instituto de Odontologia da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Utilizou-se o microscópio eletrônico de varredura modelo TM3030 (figura 17), as condições de operação foram: análise de elétrons secundários, voltagem de aceleração constante de 20kv, distância de trabalho de 15 mm e magnificações de 100, 500 e 1000x, com o objetivo de identificar a superfície da fibra e sua estrutura. As amostras foram previamente montadas em stubs fixadas com fitas dupla face de carbono.



Figura 17: Microscópio eletrônico de varredura Hitachi modelo TM3030. Fonte: AUTORA, 2022.

3.2.1.7. Resistência à tração

Com os valores do diâmetro médio das 10 amostras de fibra, foi dado início ao ensaio que determinou a resistência a tração das fibras do epicarpo do coco babaçu. As técnicas do ensaio seguiram a norma ASTM C1557 – 03 (*Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers*), na qual primeiramente cada fibra foi separada e anexada em duas garras, cada uma da extremidade da fibra. Após essas etapas, foi dado início ao ensaio nas 10 amostras de fibra. A seção transversal de cada fibra foi calculada através dos valores encontrados de cada diâmetro correspondente, e a tensão de tração da fibra calculada empregando a carga máxima alcançada no ensaio. Pela equação 3.6, foi estabelecida a resistência à tração de cada fibra ensaiada.

$$\sigma = \frac{P_{m\acute{a}x}}{A} \quad \text{Equação 3.6}$$

Onde:

σ = resistência à tração, em megapascals (MPa);

$P_{m\acute{a}x}$ = carga máxima de tração, em newtons (N);

A = área da seção transversal da fibra, em milímetros quadrados (mm²).

O ensaio foi realizado no Laboratório do Grupo de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais (GDCM) do Departamento de Mecânica e Materiais (DMM) do Instituto Federal do Maranhão (IFMA) na máquina universal de ensaios, marca EMIC DL 30000N, com célula de carga de 100N e sob uma taxa de deformação de 0,2 mm/min. De posse dos diâmetros médios das fibras, foram ensaiadas 10 amostras (figura 18).

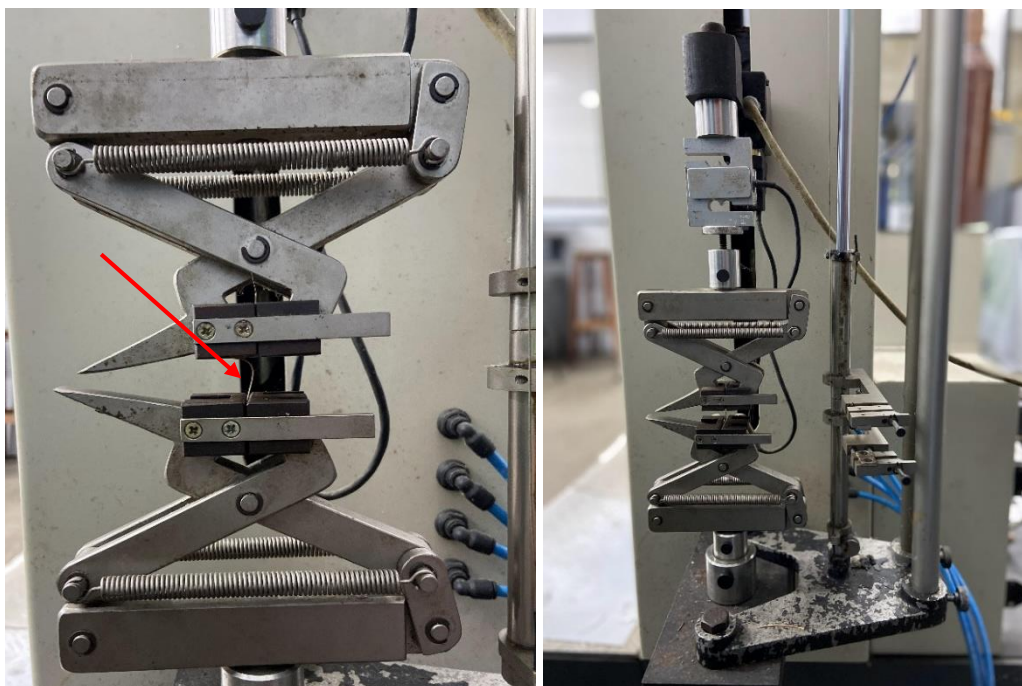


Figura 18: Ensaio de tração na fibra. Fonte: AUTORA, 2022.

3.2.2. Produção das matrizes cimentícias

3.2.2.1. Estudo Piloto

A primeira fase para a produção das matrizes cimentícias foi estabelecer um estudo piloto com o objetivo de definir o traço da argamassa, o comprimento e a fração volumétrica da fibra do epicarpo do coco babaçu que foi utilizado como reforço da matriz. Fundamentado em estudos que empregavam fibras vegetais como reforço de argamassas, a pesquisa empenhou-se em utilizar um traço econômico, verificado por exemplo, nas análises de Lima et al. (2011) que usou o traço 1:3 (fração de aglomerante e agregado fino) e relação água/cimento (a/c) de 0,53 para produzir argamassas cimentícias reforçadas com fibra de curauá. Chakraborty et al. (2013) e Hamzaoui et al. (2014) também confeccionaram argamassas cimentícias utilizando o traço 1:3 com reforços de fibra de juta e fibras de cânhamo combinadas com nanotubos, respectivamente.

Dessa forma, para a pesquisa presente, as argamassas cimentícias sem adição e com adição de fibras aplicou o traço 1:3 em massa. A relação água/cimento (a/c) foi definida através da investigação da quantidade exata de água que foi fundamental para alcançar um índice de consistência no valor de 260 ± 5 , conforme a NBR 13276:2016.

Seguindo a norma, primeiramente foi realizada a limpeza e secagem do tampo da mesa e parede do molde troncônico e colocada a argamassa em três camadas sucessivas no molde, que ficou centralizado sobre a mesa, com alturas semelhantes aplicando quinze, dez e cinco golpes com soquete, respectivamente (figura 19).



Figura 19: Tampo da mesa, (a) parede do molde troncônico, (b) soquete. Fonte: AUTORA, 2022.

Ao distribuir uniformemente a argamassa, retirou-se o molde troncônico verticalmente e girou-se a manivela da mesa de forma que a mesa se elevou e desceu trinta vezes em trinta segundos, permanecendo o comportamento uniforme. Posteriormente, mediu-se três diâmetros da argamassa que correspondeu ao seu espalhamento na mesa, calculando em seguida a média das três medidas, definindo o índice de consistência (figura 20).



Figura 20: Índice de consistência da argamassa. Fonte: AUTORA, 2022.

O valor da relação água/cimento que correspondeu as exigências da norma foi de 0,62, a qual foi aplicada em toda pesquisa. Após a determinação do traço, foi definida a fração

volumétrica e comprimento da fibra através do ensaio de resistência à tração do compósito, segundo a NBR 7222:2011.

Para o teste, as frações volumétricas adotadas foram de 1% e 2% e para os comprimentos, utilizou-se fibras retidas na peneira 2,36 mm e 1,18mm, sendo a primeira caracterizadas por fibras maiores que 25 mm e a segunda por fibras menores ou igual a 25 mm (figura 21). É possível observar na tabela 8 pesquisas em que os autores adotaram distintos valores para essas propriedades.

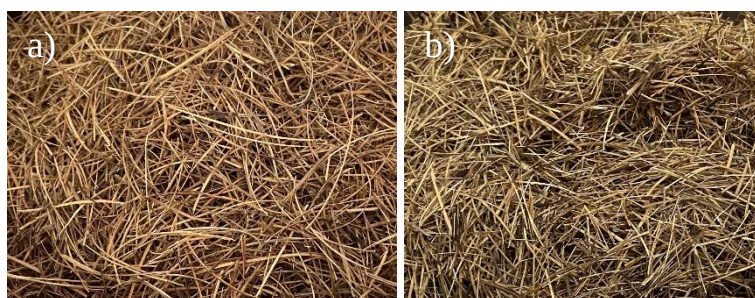


Figura 21: Fibras do epicarpo do coco babaçu. a) retidas na peneira #2,36 mm, b) retidas na peneira #1,18mm. Fonte: AUTORA, 2022.

Tabela 8: Variáveis utilizadas para confecções de argamassas cimentícias. Fonte: AUTORA, 2022.

Referência	Fibra	Traço	Fração volumétrica	Comprimento da fibra (mm)
Pimentel et al. (2016)	Curauá	1:1:0,59	2% e 3%	25 mm e 45 mm
Melo Filho (2012)	Sisal	1:1:0,4	2%, 4% e 6%	25 mm e 50 mm
Fidelis (2014)	Juta	1:1:0,4	2%, 6% e 10%	25 mm

Para o ensaio de resistência a tração do compósito, a fim de definir a fração volumétrica e comprimento da fibra (FVC), foram confeccionados quinze corpos de prova cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 100 mm de altura, divididos entre cinco tipos de mistura de argamassa, seguindo o traço 1:3 com relação água/cimento de 0,62. Na tabela 9 contém a composição de cada mistura. A mistura de argamassa que proporcionar um maior desenvolvimento da resistência em relação a argamassa de referência, será a escolhida para o desenvolvimento das placas cimentícias.

Tabela 9: Formação de cada mistura. Fonte: AUTORA, 2022.

Nomenclatura	Traço	Fração volumétrica	Comprimento da fibra (mm)	Número de corpos de prova
REF 0%-0	1:3	0	-	3
FVC 1% $\leq$ 25		1%	$\leq$ 25 mm	3
FVC1% $>$ 25		1%	$>$ 25 mm	3
FVC2% $\leq$ 25		2%	$\leq$ 25 mm	3
FVC2% $>$ 25		2%	$>$ 25 mm	3

Decorridos 28 dias de cura na água, os corpos de prova foram ensaiados quanto a sua resistência à tração por compressão diametral na prensa eletrohidráulica digital capacidade 200 toneladas (figura 22). A mistura que apresentou um maior aumento na resistência em função da argamassa de referência foram as amostras com fibras retidas na peneira 1,18 mm, ou seja, com comprimentos menores ou iguais a 25 mm com fração volumétrica de 1%. Na figura 23 contém as faces internas de cada mistura de argamassa.

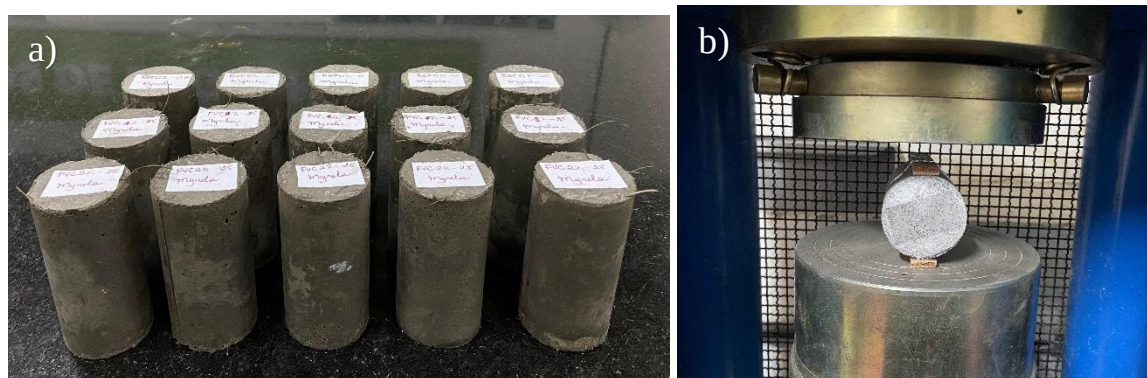


Figura 22 – Corpos de prova, a) curados para ensaio, b) submetido ao ensaio de resistência à tração por compressão diametral. Fonte: AUTORA, 2022.



Figura 23 – Faces internas de cada corpo de prova submetidos ao ensaio de resistência à tração das misturas, a) de referência, b) com fibras $1\% \leq 25$, c) com fibras $1\% > 25$, d) com fibras $2\% \leq 25$, e) com fibras $2\% > 25$. Fonte: AUTORA, 2022.

3.2.2.2. Preparação das argamassas

Definido o traço, a fração volumétrica e comprimento da fibra, foi iniciado a produção das argamassas a serem estudadas. Com a finalidade de fazer uma análise comparativa dos resultados, foram produzidas três famílias de argamassa, sendo uma sem a adição das fibras (REF), uma com a adição das fibras sem tratamento (AFST) com comprimento menor ou igual 25 mm e fração volumétrica 1% e a última possuiu adição de fibras tratadas com impregnação em pasta de sílica ativa (AFCT), na mesma dosagem volumétrica e comprimento da fibra, conforme a tabela 10.

Tabela 10: Definições da argamassa cimentícia. Fonte: AUTORA, 2021.

Terminologia	Traço	Reforço com fibra do epicarpo do coco babaçu	Tratamento
REF			-
AFST	1:3:0,62	≤ 25 mm e 1%	-
AFCT		≤ 25 mm e 1%	Pasta de Sílica ativa

O primeiro passo para o desenvolvimento das argamassas foi executar o tratamento nas fibras. Elas foram introduzidas em pastas com 50% de sílica ativa unidas a água por um período de 24 horas, misturadas em intervalos de 2 horas por três períodos, com o objetivo de todas as fibras ficarem revestidas pela pasta (figura 24). Em seguida, elas foram submetidas ao

ar em temperatura ambiente até permanecerem completamente secas para posteriormente serem introduzidas nas argamassas.



Figura 24: Materiais para a mistura, (a) fibras, (b) pasta de sílica. Fonte: AUTORA, 2022.

Na segunda etapa, composta pela elaboração das argamassas, a metodologia foi adaptada a de Oliveira (2015). Inicialmente foi realizado o umedecimento da betoneira e, em seguida, o equipamento foi acionado na velocidade baixa e o cimento e a areia foram introduzidos para serem homogeneizados. Mudando a velocidade para alta, a homogeneização foi continuada. Após esse intervalo, toda a superfície da lateral da betoneira foi raspada.

A terceira e última etapa, com a betoneira em atividade, as fibras foram introduzidas pouco a pouco e em seguida, o restante da água, com o objetivo de impossibilitar o aparecimento de grumos. Posteriormente, foi adicionado o aditivo diluído, permanecendo a betoneira em desempenho para a mistura dos materiais até o período de tempo necessário. Por fim, o equipamento foi desligado e realizado a limpeza da pá e lateral da betoneira.

3.2.2.3. Moldagem e desmoldagem das placas cimentícias

A norma técnica brasileira que aborda esse assunto é dada pela ABNT NBR 15498 (2016) (Placas de fibrocimento sem amianto – requisitos e métodos de ensaio) que não define dimensões exatas para as placas, mas recomenda que a espessura não seja superior a 3 cm. Dessa forma, as dimensões das placas que foram desenvolvidas na pesquisa possuíram na ordem de (comprimento x largura x espessura) 25 cm x 25 cm x 2 cm e 60 cm x 50 cm x 2 cm. Para a moldagem das amostras, foram produzidas fôrmas metálicas e de madeiras, uma vez que fornece maior rigidez no processo de moldagem, impossibilitando empenamentos.

A primeira etapa da moldagem foi a preparação das fôrmas com limpeza e introdução do desmoldante seguido pelo preenchimento com argamassas produzidas conforme o item 3.2.2.2. Depois de introduzir as argamassas nas fôrmas com a concha, realizou-se o adensamento mecânico através do vibrador e o arrasamento com a régua metálica, na qual impediu o surgimento de deformidades estéticas e ondulações superficiais. Finalizado a etapa de moldagem, as placas foram conservadas em superfície rígida por 4 dias, com a finalidade de impedir quebras e instabilidade do produto. Após esse período, as amostras foram desmoldadas e colocadas à cura úmida por 28 dias (figura 25).

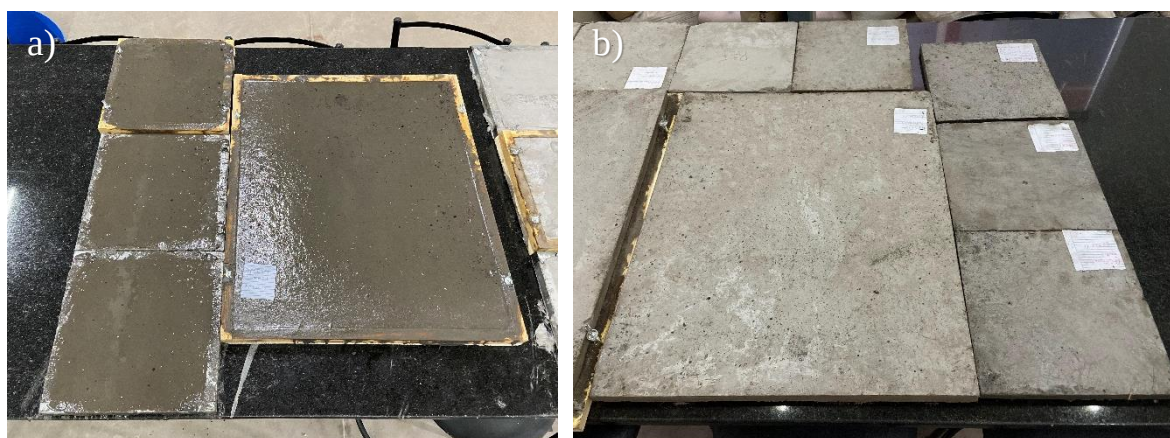


Figura 25: Argamassas cimentícias, a) imersas em fôrmas metálicas e de madeira, b) após o processo de cura úmida. Fonte: AUTORA, 2022.

3.2.3. Ensaio nas placas cimentícias

As propriedades físicas e mecânicas das placas cimentícias foram estabelecidas conforme a ABNT NBR 15498 (2016) na qual realizou-se os ensaios de resistência à tração na flexão, densidade aparente, absorção de água, permeabilidade. A (tabela 11) apresentam as dimensões e o número total de placas que foram confeccionadas para cada ensaio realizado.

Tabela 11: Definições das placas cimentícias para cada ensaio. Fonte: AUTORA, 2022.

Ensaio	Número total de placas cimentícias	Dimensão
Resistência à tração na flexão	9	25 x 25 x 2 cm
Densidade aparente e absorção de água	9	25 x 25 x 2 cm
Permeabilidade	3	60 x 50 x 2 cm

3.2.3.1. Ensaio de resistência à tração na flexão

Este ensaio tem por finalidade, conforme a ABNT NBR 15498 (2016), avaliar as tensões de resistência à tração na flexão em estado saturado (classe A) e em estado de equilíbrio (classe B) de placas de cimento reforçadas com fibras, fios, filamentos ou telas. Para o ensaio, a determinação da resistência à flexão foi realizada em corpos de prova na condição de equilíbrio, na qual as placas foram mantidas em 3 dias a temperatura de 27 °C (± 10°C) e umidade relativa média de 70%.

As placas na classe B, ensaiadas na condição de equilíbrio, são indicadas para aplicações internas e externas não sujeitas a ação direta de sol, chuva, calor e umidade (NBR 15498, 2016). Foram moldadas três placas para cada mistura de argamassa em análise, totalizando em 9 corpos de prova. O instrumento utilizado para o ensaio foi a máquina universal de ensaios, modelo EMIC DL 30000N (figura 26), com os valores de carga máxima registrados, a resistência à tração na flexão foi calculada pela equação 3.8.

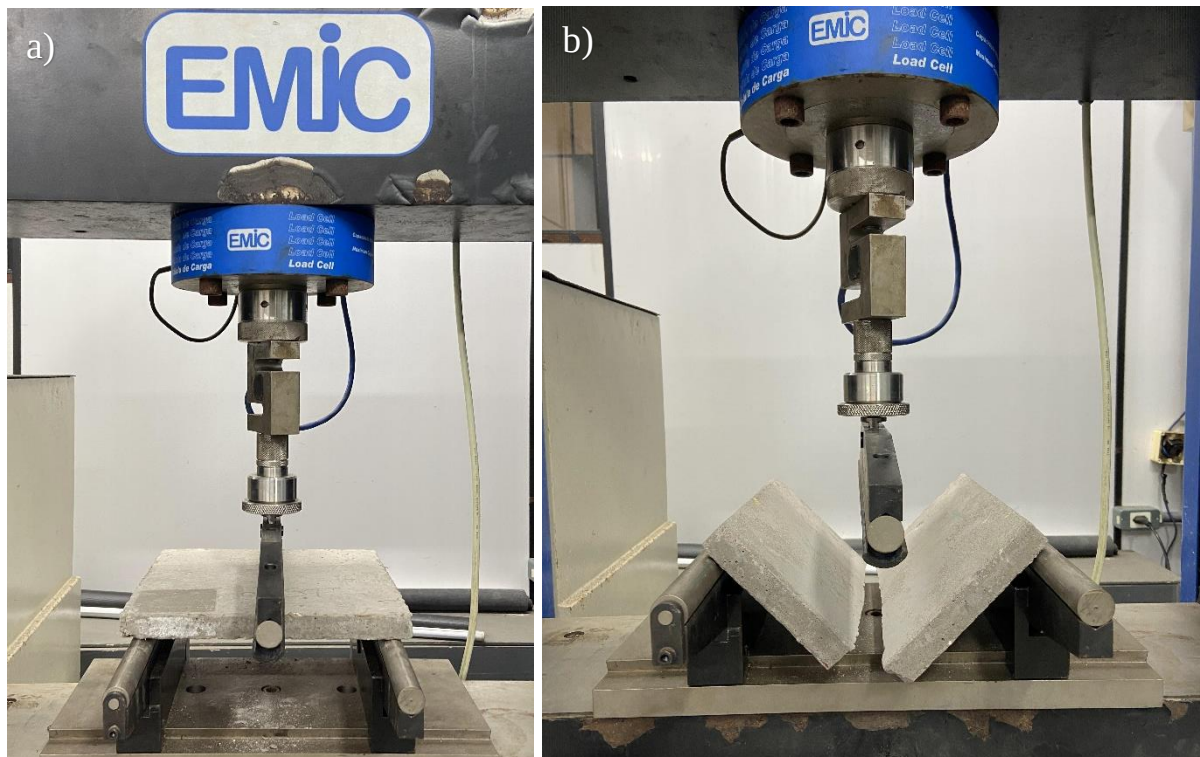


Figura 26: Placa cimentícia, a) antes do ensaio de resistência, b) após o ensaio de resistência. Fonte: AUTORA, 2022.

$$R_f = \frac{3P_{\text{máx}} \times L}{2b \times e^2}$$

Equação 3.8

Onde:

R_f = resistência à tração na flexão, em megapascals (MPa);

$P_{m\acute{a}x}$ = carga de ruptura por flexão, em newtons (N);

L = distância entre eixos dos suportes, em milímetros (mm);

b = largura do corpo de prova, em milímetros (mm);

e = espessura média do corpo de prova, em milímetros (mm).

3.2.3.2. Densidade aparente

Este ensaio é essencial, uma vez que determina sua massa final e consequentemente as aplicações possíveis a ela. Essa propriedade possui influência do estado fresco da amostra, pois a densidade apresenta relação direta com a quantidade de vazios presentes (SWAIDANI *et al.*, 2016).

Para o ensaio, foram confeccionadas 3 placas para cada família de argamassa com dimensões de 25 x 25 cm e espessura de 2 cm. Inicialmente, eles foram previamente saturados por um período no mínimo de 24h. Após esse tempo, foi determinado o peso da amostra imersa com água em béquer e também após secagem com pano úmido. Determinado o peso, as placas foram dispostas em estufas até a massa constante e retiradas para fazer nova pesagem (figura 27). A densidade aparente foi calculada pela equação 3.9.



Figura 27 – Pesagem da placa cimentícia. a) em estado saturado, b) após secagem em estufa. Fonte: AUTORA, 2022.

$$\rho = \frac{m_f}{m_u - m_i} \quad \text{Equação 3.9}$$

Onde:

ρ = densidade aparente, em gramas por centímetro cúbico (g/cm³);

m_f = massa da placa após secagem na estufa, em gramas (g);

m_u = massa úmida saturada, em centímetros cúbicos (cm³);

m_i = massa imersa, em centímetros cúbicos (cm³).

3.2.3.3. Absorção de água

Um dos principais instrumentos responsáveis por deslocar os agentes agressivos até o interior da argamassa cimentícia é a absorção de água. Isso ocorre devido ao fato de estar associada a penetração de água no interior da amostra, na qual a umidade é o agente transmissor. Por isso, para fazer a avaliação da absorção de água nas amostras, foram produzidos 3 corpos de prova para cada família de argamassa com dimensões de 25 x 25 x 2 cm. A princípio, as amostras foram saturadas em água, determinando sua massa inicial. Posteriormente, realizou-se a secagem das amostras em estufa até a massa constante, preservando-as à temperatura de 100 °C a 110 °C. A expressão matemática que determinou a absorção de água é identificada na equação 3.10.

$$\text{abs} = \frac{m_i - m_f}{m_f} \times 100 \quad \text{Equação 3.10}$$

Onde:

abs = absorção de água, em porcentagem (%);

m_i = massa inicial, em gramas (g);

m_f = massa final, em gramas (g).

3.2.3.4. Permeabilidade

Segundo Martins *et al.* (2018), a permeabilidade é a uma propriedade que necessita controle, dentro dos parâmetros de uso, pois em altos números pode interferir na durabilidade da amostra, visto que concede o acesso de água e dióxido de carbono (CO₂), elementos esses que pode limitar a vida útil da amostra. Dessa forma, para calcular a permeabilidade das placas,

a princípio foram confeccionadas uma placa cimentícia para cada família de argamassa com dimensões 60 x 50 x 2 cm. Uma caixa foi adaptada e colocada na superfície superior da amostra e preenchida de água até o nível mínimo de 2 cm acima da superfície da placa (figura 28). Após 24 horas, foi verificado se houve formação de gotas de água na face inferior da amostra, o que não pode ocorrer.



Figura 28 – Ensaio de permeabilidade em placa cimentícia. Fonte: AUTORA, 2022.

3.2.3.5. Termometria

A compatibilidade entre o cimento e a fibra do epicarpo do coco babaçu foi analisada pelo ensaio de termometria, na qual analisou o grau de endurecimento do cimento após a mistura com água, fibra *in natura* e fibra tratada com pasta de sílica ativa, através da mensuração de forma sistemática da evolução da temperatura da mistura por um certo período de tempo.

Este método seguiu a proposta de Hofstrand et al. (1984) e adaptação de Mori et al. (2007) que consistiu em confeccionar as misturas de todas as famílias de argamassas cimentícias presentes na pesquisa, separando conforme cada terminologia, 200 g de cimento Portland CP IV-32 RS, 600 g de areia, 4,70g de fibra e 90 ml de água. Rapidamente, sem exceder 5 minutos, esses materiais foram bem misturados e colocados em copo plástico com um cabo de termopar conectados a um modular condicionador de sinais analógicos acoplados a uma placa de conversão analógica-digital instalada em um microcomputador, no qual os dados gerados foram armazenados em intervalos de um minuto, durante um período de tempo de 24 h (MORI et al., 2007).

Cada copo plástico, com a mistura e o cabo para medição da temperatura (termopar) foi colocado e fechado dentro de uma caixa térmica também vedada, a fim de evitar a perda de calor para o ambiente, uma vez que as reações que ocorrem com a mistura são exotérmicas. Em seguida, iniciou-se a aquisição dos sinais (MORI et al., 2007). A caixa térmica apresentava 3 frascos, contendo em cada um deles um cabo termopar conectado na placa de conversão analógica-digital, assim sendo, cada ensaio de termometria compreendia 3 repetições (figura 29). Os índices de inibição foram calculados de acordo com a equação 3.11 abaixo, seguindo o método de Hofstrand et al. (1984).



Figura 29 – Sistema utilizado para armazenar as amostras para o ensaio de termometria. Fonte: AUTORA, 2022.

$$I = 100 \left[\left(\frac{t^2 - t'2}{t_2} \right) \left(\frac{T^2 - T'2}{T_2} \right) \left(\frac{S - S'2}{S_2} \right) \right] \quad \text{Equação 3.11}$$

Onde:

I = índice de inibição;

t_2 = tempo para se alcançar a temperatura máxima de hidratação da mistura analisada (h);

$t'2$ = tempo para se alcançar a temperatura máxima de hidratação da mistura cimento-água-areia (h);

T_2 = temperatura máxima atingida pela mistura analisada (°C);

$T'2$ = temperatura máxima atingida pela mistura cimento-água-areia (°C);

S_2 = variação máxima da temperatura por hora para mistura analisada;

$S'2$ = variação máxima da temperatura por hora para mistura cimento-água-areia.

Para classificar a compatibilidade das fibras *in natura* e com tratamento com cimento, foi empregada a classificação de Okino et al. (2003), de acordo com a tabela 12. O ensaio foi realizado no Laboratório do Grupo de Desenvolvimento e Caracterização de Materiais (GDCM) do Departamento de Mecânica e Materiais (DMM) do Instituto Federal do Maranhão.

Tabela 12: Índice de inibição para classificação de compatibilidade. Fonte: Okino et al. 2003.

Índice de inibição (%)	Classificação
I < 10	Inibição baixa
I = 10 - 50	Inibição moderada
I = 50 – 100	Inibição alta
I > 100	Inibição extrema

3.2.4. Análise mineralógica e morfológica

3.2.4.1. Difractometria de Raios-X (DRX)

A análise mineralógica dos compósitos cimentícios foram realizadas pelo método de difratometria de raios-x (DRX) no Laboratório de Física da Universidade Federal do Maranhão na qual foram verificadas as fases químicas e identificados os minerais presentes nas amostras das placas cimentícias para cada família de argamassa, ou seja, as placas sem adição de fibras (REF), as placas com fibras *in natura* (AFST) e com tratamento em pasta de sílica ativa (AFCT). Para essa análise, fragmentos de amostras foram retiradas de ensaios mecânicos e moídas através do moinho de bolas (figura 30).



Figura 30: Moinho de bolas. Fonte: AUTORA, 2022.

3.2.4.2. Microscopia eletrônica de varredura (MEV)

Análises com microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas com o objetivo de verificar fundamentais características morfológicas das placas cimentícias reforçadas com fibras do epicarpo do coco babaçu *in natura* (AFST) e com tratamento em pasta de sílica ativa (AFCT). Analisou-se também as características da interface fibra-matriz, a zona de transição, bem como a forma, dimensões e aspecto superficial das fibras. Fragmentos de amostras de ensaios mecânicos foram retiradas para análise no MEV.

Esta foi dirigida no Laboratório de Biomateriais do Instituto de Odontologia da Universidade Federal do Maranhão (UFMA). Utilizou-se o microscópio eletrônico de varredura modelo TM3030, mesmo instrumento utilizado no item 3.2.1.7, na qual as condições de operação foram: análise de elétrons secundários, voltagem de aceleração constante de 20kv, distância de trabalho de 15 mm e magnificações de 100, 500 e 1000x.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da fibra do epicarpo do coco babaçu

As fibras do epicarpo do coco babaçu *in natura* foram caracterizadas quanto as suas propriedades físicas, químicas, mecânicas e morfológicas. Através dos resultados foi possível analisar uma orientação de comportamento das fibras quando empregadas como reforço de compósitos cimentícios, como também relacionar os resultados alcançados com outras fibras lignocelulósicas.

4.1.1 Massa específica

A massa específica da fibra do epicarpo do coco babaçu alcançou um valor de 1,398 g/cm³. Esta grandeza física está diretamente associada com a quantidade de vazios e poros identificados nas espécies vegetais, como pode ser observado na tabela 13, na qual o valor da massa específica difere para cada espécie.

Tabela 13: Massa específica de fibras vegetais. Fonte: AUTORA, 2022.

Espécie	Fonte	Massa específica
Fibra do epicarpo do coco babaçu	Autora (2022)	1,39 g/cm ³
Fibra de curauá	Pinto (2019)	1,33 g/cm ³
Fibra de juta	Fidelis (2014)	1,61 g/cm ³
Fibra de sisal	Santos (2016)	1,45 g/cm ³
Fibra de coco	Cunha (2012)	1,29 g/cm ³

A fibra do epicarpo do coco babaçu apresentou uma massa específica próxima da fibra de curauá e coco e inferior a fibra de juta e sisal. O resultado adquirido sugere que a mesma apresenta grande volume em relação ao peso e quando utilizada como reforço de matrizes cimentícias permite produzir compósitos mais leves (BILCATI, 2015).

4.1.2 Absorção de água

Na tabela 14 está apresentando os valores de absorção de água referente aos intervalos de tempo apresentados na metodologia. Observa-se através da figura 31 que a taxa de absorção de água é mais elevada nas duas horas iniciais de ensaio, após 120 minutos de introdução das fibras do epicarpo do coco babaçu em água, alcançando 87,81% de sua capacidade total.

Tabela 14: Absorção de água das fibras do epicarpo do coco babaçu. Fonte: AUTORA, 2022.

Tempo	5min	30 min	1 h	2 h	24 h	48 h	72 h	96 h	144 h	192 h
P_{ht} (g)	33,50	43,90	45,10	46,08	46,31	46,91	47,86	48,36	48,63	48,63
A (%)	35,38	58,48	62,82	66,35	67,18	69,35	72,78	74,58	75,56	75,56

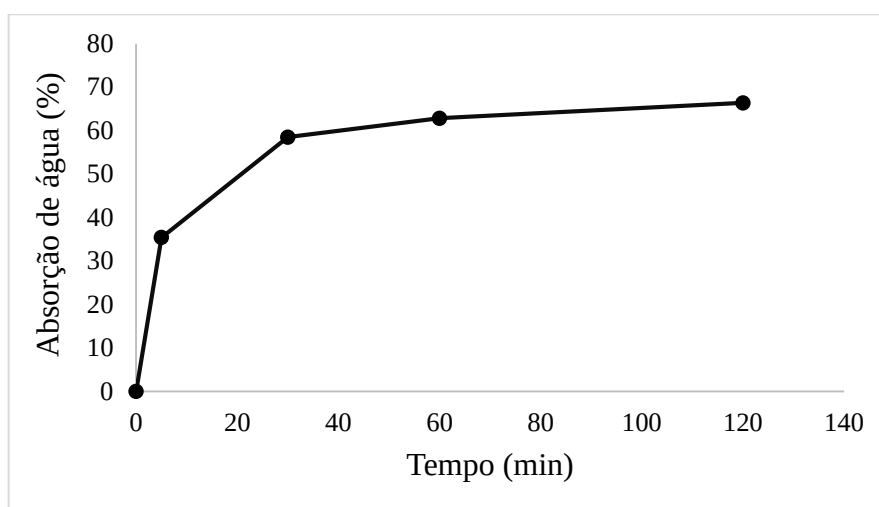


Figura 31: Curva da absorção de água das fibras do epicarpo do coco babaçu após duas horas. Fonte: AUTORA, 2022.

Na figura 32 que contém a curva da absorção de água das fibras do epicarpo do coco babaçu no decorrer de todo tempo de imersão, observa-se que as fibras precisaram de um período maior de tempo, com cerca de 8 dias equivalente a 192 h para alcançar sua proporção máxima de absorção, sendo a taxa de absorção mais elevada nas 2 h de imersão.

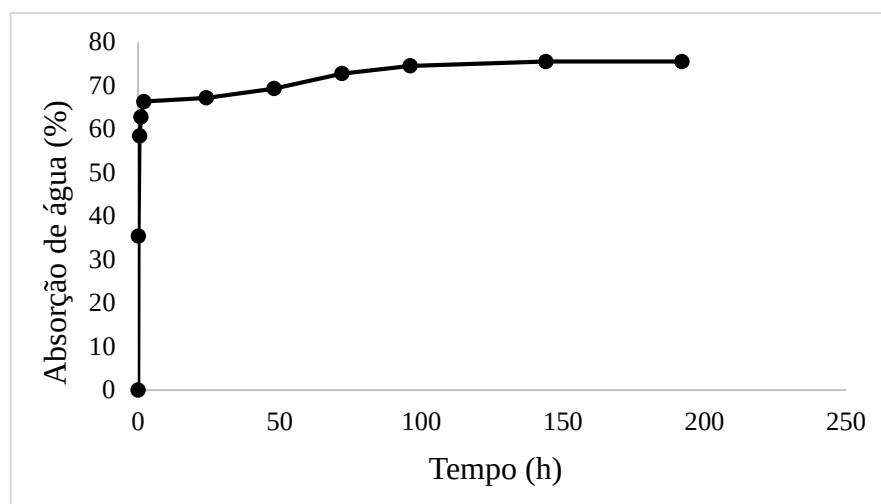


Figura 32: Curva da absorção de água das fibras do epicarpo do coco babaçu. Fonte: AUTORA, 2022.

Dados adquiridos dos ensaios de absorção de água de diferentes fibras lignocelulósicas são relacionados na tabela 15. Observa-se uma menor absorção de água das fibras provenientes do epicarpo do coco babaçu, em comparação com as demais fibras vegetais apresentadas na tabela. As fibras de curauá, juta, sisal e coco absorveram 79,43%, 72,42%, 68,43%, 21,08% de água a mais que as fibras do epicarpo do coco babaçu, após 192 h de imersão.

Na produção de compósitos cimentícios, uma fibra vegetal que apresente baixa capacidade de absorção, a exemplo do que foi observado para a fibra do epicarpo do coco babaçu, diminui inconvenientes que poderiam comprometer o desempenho dos elementos moldados. O primeiro deles seria a diminuição da trabalhabilidade da mistura fresca, uma vez que a água adicionada seria, em boa parte, absorvida pelas fibras, podendo trazer dificuldades nas operações de mistura, lançamento e adensamento (FERNANDES, 2019).

O segundo problema seria o fato de que, ao absorvem a água da mistura fresca, as fibras vegetais sofrem considerável expansão transversal (GHAVAMI; TOLÊDO FILHO, 1992) e, ao secarem, essas fibras sofrem retração volumétrica no interior da matriz, o que pode causar descolamento entre as duas fases, fibra e matriz (FERNANDES, 2019).

Tabela 15: Absorção de água de fibras vegetais. Fonte: AUTORA, 2022.

Espécie	Fonte	Absorção de água (%)
Fibra do epicarpo do coco babaçu	Autora (2022)	75,56
Fibra de curauá	Pinto (2019)	368,30
Fibra de juta	Picanço (2012)	274,70
Fibra de sisal	Ghavami; Tolêdo Filho (1992)	240,00
Fibra de coco	Ghavami; Tolêdo Filho (1992)	96,00

4.1.3 Teor de umidade

O resultado encontrado do teor de umidade presente na fibra do epicarpo do coco babaçu foi de 6,93% (tabela 16). De acordo com Bilcati (2015), as fibras vegetais são higroscópicas, pois sofrem variação na dimensão em função da umidade. Quando relacionadas as fibras do epicarpo do coco babaçu com outras fibras usualmente estudadas, como curauá, juta, coco, sisal, observa-se que o teor de umidade da fibra do epicarpo do coco babaçu apresentou um menor valor em comparação as outras fibras lignocelulósicas. Mesmo apresentando um menor valor no resultado, a umidade danifica a adesão da fibra na matriz, sendo fundamental a eliminação da água existente nas fibras através da secagem em estufa antes de serem introduzidas nos compósitos cimentícios.

Tabela 16: Teor de umidade de fibras vegetais. Fonte: AUTORA, 2022.

Espécie	Fonte	Teor de umidade
Fibra do epicarpo do coco babaçu	Autora (2022)	6,93%
Fibra de curauá	Pinto (2019)	7,50%
Fibra de juta	Picanço e Ghavami (2012)	11,37%
Fibra de sisal	Esmeraldo (2006)	11,00%
Fibra de coco	Cunha (2012)	13,00%

Segundo Santos (2016a), o teor de umidade atua no grau de cristalinidade da fibra e na resistência à tração. O aumento da umidade está ligado ao aumento da capacidade de biodegradação, facilitando assim o ataque microbiano. Cardoso (2014) afirma que o teor de

umidade das fibras vegetais pode também ser influenciado pelas condições atmosféricas, pela espécie de fibra, sua idade e características do solo em que a espécie foi retirada.

4.1.4 Diâmetro das fibras

É fundamental realizar a medição do diâmetro médio das fibras, uma vez que apresentam alterações por toda sua extensão longitudinal e são necessárias para a execução do ensaio de resistência à tração da fibra do epicarpo do coco babaçu. Através da média do diâmetro de 10 amostras para a fibra do epicarpo do coco babaçu, alcançou-se um valor médio de 0,995 mm, com um desvio padrão baixo de 0,0903, conforme pode ser verificado na tabela 17. De acordo com Tomczak (2010), o diâmetro das fibras vegetais pode influenciar nas propriedades mecânicas dos materiais, uma vez que maiores diâmetros estão relacionados com o ângulo helicoidal, volume de células e defeitos estruturais, o que provoca na redução da resistência das fibras.

Tabela 17: Variáveis de análise do diâmetro da fibra do epicarpo do coco babaçu. Fonte: AUTORA, 2022.

Variáveis de análise	Diâmetro (mm)
Diâmetro médio	0,99
Diâmetro padrão	0,09
Valor máximo	1,08
Valor mínimo	0,79

Na tabela 18 encontra-se uma relação do diâmetro das fibras do epicarpo do coco babaçu com outras fibras lignocelulósicas. Através da análise da tabela, verificou-se que as fibras do epicarpo do coco babaçu possuiu o diâmetro maior de todas as relacionadas, com 74,874% de diferença em relação a fibra de coco e 90,995% com a fibra de juta.

Tabela 18: Diâmetro médio de fibras lignocelulósicas. Fonte: AUTORA, 2022.

Espécie	Fonte	Diâmetro (mm)
Fibra do epicarpo do coco babaçu	Autora (2022)	0,99
Fibra de curauá	Pinto (2019)	0,10
Fibra de juta	Picanço e Ghavami (2012)	0,09
Fibra de sisal	Spinacé (2011)	0,23
Fibra de coco	Cunha (2012)	0,25

4.1.5 Composição química das fibras

Os valores médios e desvio padrão dos componentes químicos da fibra do epicarpo do coco babaçu, de acordo com a metodologia apresentada no item 3.2.1.5, são expostos na tabela 19. De acordo com os resultados, a lignina apresentou a maior porcentagem na composição química da fibra com 37,93%, em seguida da celulose, hemicelulose e por último os extrativos, com uma porcentagem pequena de 2%. O desvio padrão para toda composição foi baixa, atingindo o valor máximo de 1,4 para a hemicelulose.

Tabela 19: Composição química da fibra do epicarpo do coco babaçu. Fonte: AUTORA, 2022.

Fibra do epicarpo do coco babaçu	Extrativos	Celulose	Hemicelulose	Lignina
Média	2%	31,10%	21,99%	37,93%
Desvio padrão	-	0,76	1,4	0,74

A celulose e hemicelulose é um elemento básico no que diz respeito às propriedades físicas das fibras. Na estrutura fibrosa, a celulose possui alta resistência a tração e devido ao seu maior grau de cristalinidade e seu alto grau de polimerização, a celulose costuma apresentar maior estabilidade aos efeitos da degradação, seja mecânica, química ou térmica.

A hemicelulose, responsável por fazer a ligação entre a celulose e lignina, não está diretamente correlacionada à resistência e dureza das fibras. A lignina, por sua vez, sua concentração nas fibras influencia a estrutura, as propriedades, a morfologia, a flexibilidade. O seu alto teor sugere excelente qualidade (BARBOSA, 2011; CARVALHO *et al.*, 2009). Na

tabela 20 observa-se a relação da composição química de outras fibras lignocelulósicas com a fibra do epicarpo do coco babaçu.

Tabela 20: Composição química de fibras vegetais. Fonte: AUTORA, 2022.

Fibra	Extrativos	Celulose	Hemicelulose	Lignina	Fonte
Epicarpo do coco babaçu	2%	31,10%	21,99%	37,93%	Autora (2022)
Curauá	7,55%	78,08%	12,3%	4,09%	Santos (2013)
Juta	-	69,7%	19,9%	15,9%	Razera (2006)
Sisal	9,27%	59,18%	24,58%	6,97%	Salazar; Leão (2006)

Em comparação com outras fibras vegetais, como de curauá, juta e sisal, as fibras do epicarpo do coco babaçu apresentou menor teor de celulose e maior teor de lignina e hemicelulose. Compósitos que utilizam como reforço fibras vegetais com alto teor de lignina e hemicelulose são mais suscetíveis ao envelhecimento natural, uma vez que são mais dispostas ao ataque alcalino (FIDELIS, 2014).

4.1.6 Análise morfológica

As fibras *in natura* e tratadas com pasta de sílica ativa possuíram sua morfologia verificada pelo microscópio eletrônico de varredura (MEV). Observa-se na figura 33a a superfície longitudinal da fibra do epicarpo do coco babaçu *in natura*, apresentando uma superfície lisa e uniforme nas laterais e rugosa ao meio com desprendimento de filamentos. Isto pode ocorrer devido ao processo de beneficiamento das fibras (PERES, 2010). Nas laterais há presença de manchas brancas que são pontos com depósitos de ceras existentes na superfície da fibra, que contribuem para diminuir a adesão superficial.

Na figura 33b observa-se a seção transversal da fibra, na qual é composta por microfibrilas que são tubos responsáveis pelo transporte de água e nutrientes, caracterizada por ser uma estrutura resistente (BLEDZKI; GASSAN, 1999). Além disso, verifica-se regiões com espaços vazios entre os filamentos e reentrâncias, o que produz uma superfície mais irregular. De acordo com Cunha (2012), as irregularidades presentes na seção transversal das fibras como

também seu aspecto fibrilado influenciam positivamente na sua ancoragem em matrizes cimentícias.

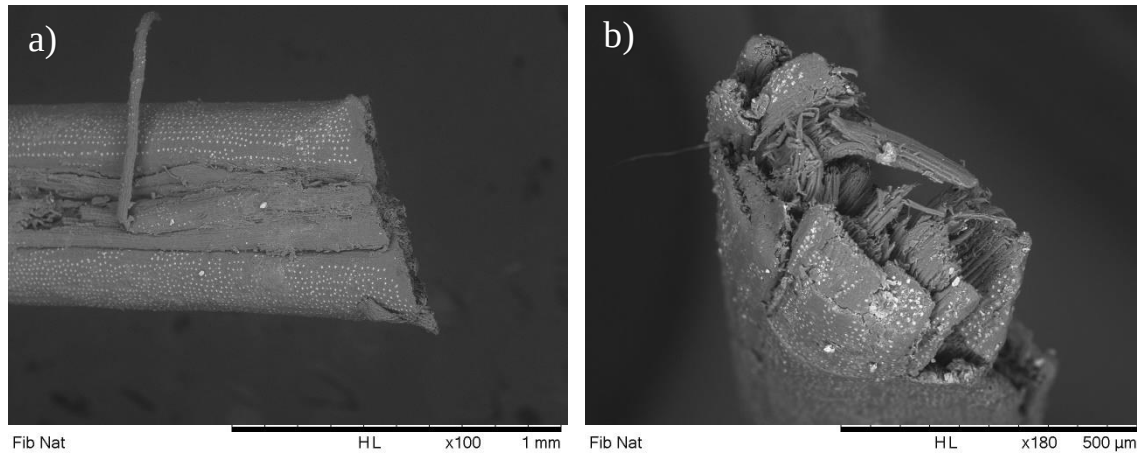


Figura 33: Micrografia da fibra do epicarpo do coco babaçu. (a) Superfície longitudinal da fibra, (b) Seção transversal da fibra. Fonte: AUTORA, 2022.

Na figura 34a verifica-se a superfície longitudinal da fibra do epicarpo do coco babaçu com a impregnação de pasta de sílica ativa. Observa-se pela imagem que a superfície da fibra apresenta-se rugosa e áspera, com vazios presentes da área externa, expondo a estrutura interna da fibra vegetal, a qual apresenta maior mobilidade estrutural (CARDOSO, 2014). Na seção transversal da fibra na figura 34b, verifica-se uma modificação considerável em sua face, com uma seção mais espessa.

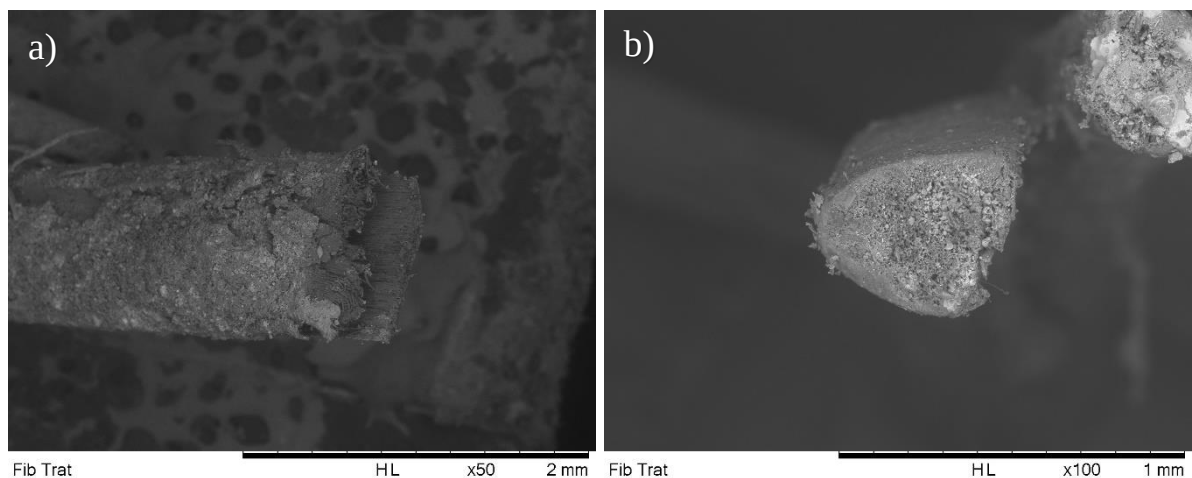


Figura 34: Micrografia da fibra do epicarpo do coco babaçu impregnada em pasta de sílica ativa. (a) Superfície longitudinal da fibra, (b) Seção transversal da fibra. Fonte: AUTORA, 2022.

4.1.7 Resistência à tração

Na tabela 21 são apresentados os resultados da média, desvio padrão, coeficiente de variação, como também o valor máximo e mínimo da resistência à tração das fibras do epicarpo do coco babaçu. O valor médio da resistência à tração da fibra do epicarpo do coco babaçu foi de 141,9 MPa, propriedade esta que pode ser influenciada por diversas condições, como origem do material, o clima da região, a maturação do vegetal, a espécie, método de extração, tipo de celulose, quantidade de celulose, ângulo helicoidal, variação do índice pluviométrico (TOMCZAK, 2010).

Tabela 21: Variáveis de análise da resistência à tração da fibra do epicarpo do coco babaçu. Fonte: AUTORA, 2022.

Variáveis de análise	Resistência à tração
Resistência média (MPa)	141,9
Desvio padrão	36,72
Coeficiente de variação	25,87
Valor máximo (MPa)	178,6
Valor mínimo (MPa)	83,64

A tabela 22 apresenta a relação entre a resistência à tração média da fibra do epicarpo do coco babaçu com outras fibras vegetais. Conforme o comparativo, a fibra do epicarpo do coco babaçu apresentou um valor de resistência à tração inferior às fibras de curauá, juta e sisal, sendo apenas superior à fibra de coco, sendo uma diferença de 70,68% em relação as fibras de sisal. De acordo com Silveira (2018), o diâmetro e a composição química da fibra principalmente, explicam o resultado do comportamento mecânico das fibras. Por apresentar maior teor de lignina, a fibra torna-se mais rígida e com a menor quantidade de celulose, possui menor estabilidade aos efeitos mecânicos.

Tabela 22: Comparativo da resistência à tração de fibras vegetais. Fonte: AUTORA, 2022.

Espécie	Fonte	Resistência à tração
Fibra do epicarpo do coco babaçu	Autora (2022)	141,90 MPa
Fibra de curauá	Pinto (2019)	422,89 MPa
Fibra de juta	Fidelis (2014)	249,00 MPa
Fibra de sisal	Fidelis (2014)	484,00 MPa
Fibra de coco	Fidelis (2014)	90,00 MPa

4.2. Produção das matrizes cimentícias

4.2.1 Estudo Piloto

A primeira etapa para a elaboração das matrizes cimentícias foi definir as características das fibras do epicarpo do coco babaçu como reforço através de um estudo piloto, na qual o comprimento e a fração volumétrica da fibra foram determinados por meio da avaliação da resistência à tração dos compósitos, isto porque a adição de fibras tem o propósito de melhorar a baixa resistência à tração da matriz cimentícia (PINTO, 2019). O resultado do ensaio de tração por compressão diametral para as cinco misturas aos 28 dias de cura úmida é observado na tabela 23.

Tabela 23: Resultado da resistência à tração do estudo piloto. Fonte: AUTORA, 2022.

Nomenclatura	Comprimento da fibra	Fração volumétrica de fibra	Resistência à tração (MPa)	Desvio padrão
REF 0%-0	-	0	3,8494	0,1686
FVC 1% ≤ 25	≤ 25 mm	1%	4,2464	0,1221
FVC 1% > 25	> 25 mm	1%	3,9640	0,2235
FVC 2% ≤ 25	≤ 25 mm	2%	4,2166	0,1890
FVC 2% > 25	> 25 mm	2%	2,8898	0,1153

Para compósitos fibrosos, as propriedades mecânicas estão diretamente relacionadas com as características do reforço, sendo o comprimento e o teor de fibras elementos

determinantes (PINTO, 2019). Isto ocorre porque implica na forma com a qual as fibras atuam controlando a abertura e o espaçamento entre as fissuras que se formam (HANNANT, 1994).

Ao comparar as argamassas com os dois teores estudados, de 1% e 2%, observa-se que a fração volumétrica da fibra de 1% para ambas ocorrências, com comprimento de fibra até 25 mm e maiores que 25 mm, apresentaram elevada resistência à tração em comparação com as amostras de referência. A FVC 1% $\leq$ 25 apresentou um valor próximo ao resultado da FVC 2% $\leq$ 25 mm, com uma diferença de 0,0298 MPa. Porém, as fibras com menor teor e comprimento superaram as amostras de maior teor de reforço.

As fibras de maiores comprimentos, caracterizadas por apresentarem comprimentos maiores que 25 mm, alcançaram menores resultados da resistência à compressão, sendo as amostras da FVC2% > 25 mm as de menor resultado, com o valor médio de 2,8898 MPa. De acordo com Silveira (2018), existe um comprimento ótimo de fibra que confere a maior resistência. O aumento do comprimento da fibra é verificado até certo limite, a partir do qual este efeito não é mais observado. Manzano (2016) afirma que alterações no desempenho mecânico dos compósitos podem ser observadas através da variação do comprimento da fibra, de modo que contribui para as propriedades mecânicas do compósito.

A mistura FVC 1% $\leq$ 25 estabelecida de 1% de fibra do epicarpo do coco babaçu com comprimento de fibra de até 25 mm retidas na peneira 1,18 mm desenvolveu ao compósito maior resistência à tração, de 4,2464 MPa, com um aumento de 10,31% na resistência em comparação a argamassa de referência sem adição de fibras. Este traço, por ter alcançado melhor resultado, foi utilizado no desenvolvimento das matrizes cimentícias da pesquisa.

4.2.2 Preparação, moldagem e desmoldagem das placas cimentícias

Após o estudo piloto da pesquisa, na qual foi determinado o melhor teor de fração volumétrica da fibra e seu comprimento através dos resultados da resistência à tração, iniciou-se a preparação das argamassas cimentícias. O traço utilizado foi 1:3 com relação água/cimento 0,62 com 1% de teor de fração volumétrica e comprimento de até 25 mm. Para possibilitar a moldagem e o adensamento das argamassas cimentícias acrescido de fibras, foi adicionado a mistura um aditivo plastificante com dosagem de 0,2% sobre a massa do cimento utilizada, com o objetivo de manter a relação água/cimento, uma vez que observou-se uma perda da trabalhabilidade com a absorção de água das fibras do epicarpo do coco babaçu (75% do seu peso seco).

A primeira etapa para a preparação das argamassas foi tratar as fibras do epicarpo do coco babaçu com a pasta de sílica ativa com o traço 1:1 (água:sílica ativa) por um período de 24 h, misturadas em três intervalos consecutivos a cada 2 h para as fibras permanecerem revestidas pela pasta. Na figura 35a e 35b apresentam as fibras impregnadas em pasta de sílica e após sua secagem ao ar em temperatura ambiente, respectivamente. No aspecto exterior, observa-se pela figura 35b que não houve muita aderência da sílica na fibra, uma vez que elas não adquiriram o aspecto cinza em sua superfície.



Figura 35: Fibras do epicarpo do coco babaçu, (a) Impregnadas em pasta de sílica ativa, (b) em processo de secagem ao ar. Fonte: AUTORA, 2022.

Durante o tratamento das fibras com pasta de sílica ativa, iniciou-se a primeira preparação da mistura referente as argamassas cimentícias do traço referencial (REF), seguindo para as compósitos cimentícios com adição de fibra *in natura* (AFST) e tratada com pasta de sílica (AFCT), respectivamente. Após a preparação das argamassas cimentícias, elas foram introduzidas em moldes de 25 cm x 25 cm x 2 cm e 60cm x 50 cm x 2 cm para a confecção das placas. Imediatamente após a confecção de cada placa, as mesmas foram preservadas em superfície rígida por 4 dias (figura 36a), e em seguida, colocadas em tanques para serem submetidas a cura úmida por 28 dias (figura 36b).



Figura 36: Placas cimentícias. (a) submetidas ao processo inicial de cura em superfície rígida, (b) em tanque para cura úmida de 28 dias. Fonte: AUTORA, 2022

4.3. Ensaio nas placas cimentícias

Os resultados alcançados nas placas cimentícias foram submetidos a tratamentos estatísticos que disponibilizaram uma maior confiabilidade no estudo dos dados. Para cada terminologia, foram tratadas três repetições, as quais se introduziram algumas ferramentas estatísticas, como média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, Análise de Variância (ANOVA) e teste de Tukey.

4.3.1 Ensaio de resistência à tração na flexão

Na figura 37 observa-se o resultado da resistência à tração na flexão a três pontos nas placas cimentícias para todas as terminologias definidas na pesquisa. Foram confeccionadas três amostras para cada espécie de mistura, definidas no gráfico como corpo de prova (CP), diferenciando somente a numeração. A argamassa de referência (REF) apresentou um valor máximo de 3,72 MPa e um valor mínimo de 3,29 MPa, observando que após a adição de fibra do epicarpo do coco babaçu sem o tratamento (AFST) houve um aumento na resistência, com o valor máximo de 5,36 MPa e mínimo de 4,95 MPa, ou seja, um ganho de resistência máximo de 44,09%. Na verificação final, com o tratamento da fibra com pasta de sílica ativa (AFCT), houve um enfraquecimento da resistência, alcançando valores de 2,16 MPa.

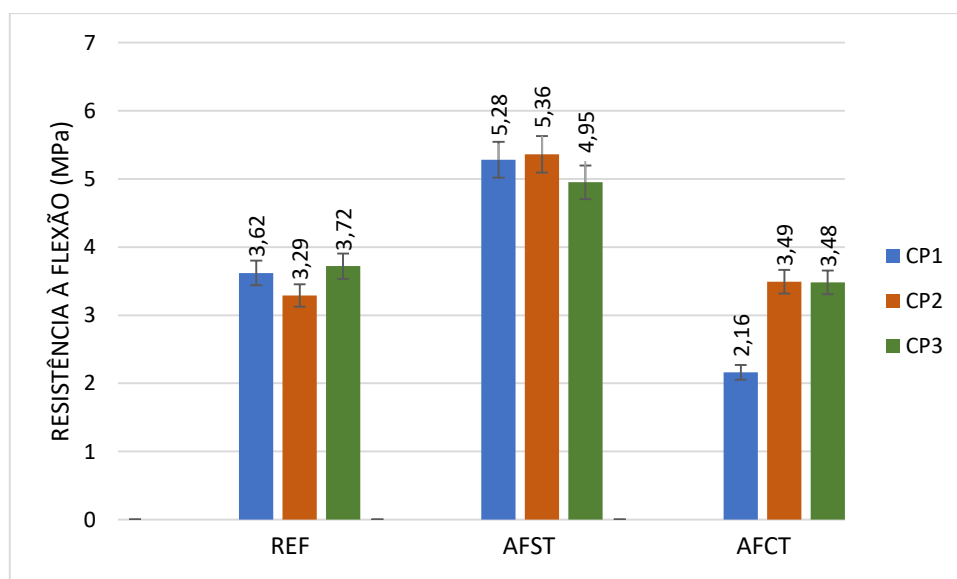


Figura 37: Resistência à flexão dos compósitos cimentícios. Fonte: AUTORA, 2022.

Fazendo uma relação do valor máximo da resistência à flexão dos compósitos cimentícios reforçados com a fibra tratada com as amostras de referência, verifica-se um caimento da resistência de 6,18%. Este valor torna-se maior quando relaciona-se as amostras tratadas com as não tratadas, havendo um decréscimo de 64,92% da resistência à tração na flexão. Na figura 38 contém o gráfico das médias dos valores da resistência à tração na flexão para cada terminologia, com o objetivo melhor visualizar as diferenças dos resultados, e na tabela 24 apresenta a mediana, desvio padrão, coeficiente de variação e média dos resultados do ensaio.

Tabela 24: Variáveis de análise da resistência à tração na flexão. Fonte: AUTORA, 2022.

Terminologia	Média	Mediana	Desvio padrão	Coeficiente de variação
REF	3,54 MPa	3,61 MPa	0,22	6,33%
AFST	5,20 MPa	5,28 MPa	0,21	4,15%
AFCT	3,04 MPa	3,48 MPa	0,62	20,52%

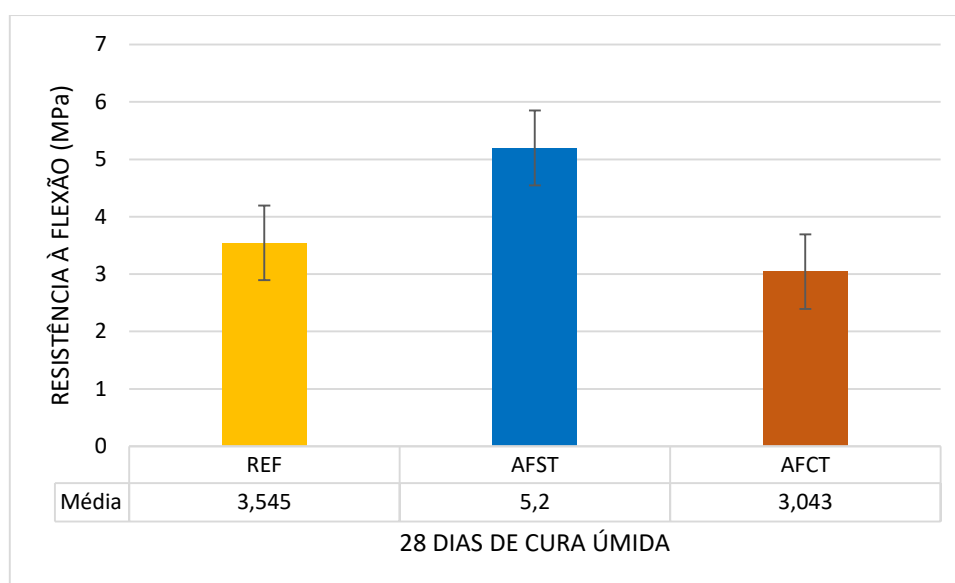


Figura 38: Média da resistência à tração na flexão dos compósitos cimentícios. Fonte: AUTORA, 2022.

As argamassas cimentícias de referência (REF) alcançaram uma resistência à tração na flexão média de 3,54 MPa, com desvio padrão de 0,22. Quanto as argamassas cimentícias reforçadas com fibras do epicarpo do coco babaçu sem tratamento (AFST), obtiveram um

acréscimo da resistência à tração na flexão de 46,68%. Por outro lado, para as argamassas cimentícias com o tratamento de pasta de sílica nas fibras, houve um decréscimo de 14,16%.

Não foram localizados resultados na literatura de resistência a tração na flexão para placas cimentícias reforçadas com fibras do epicarpo do coco babaçu sem e com tratamento. Desta maneira, não foi possível fazer comparações dos resultados das propriedades mecânicas e físicas de outras pesquisas com o trabalho presente. Entretanto, sobre outras fibras vegetais, na tabela 25 contém a relação dos resultados da resistência a tração na flexão dos compósitos cimentícios reforçados com fibras de arumã e sisal *in natura*.

Tabela 25: Resistência à tração na flexão de amostras com fibras vegetais. Fonte: AUTORA, 2022.

Compósitos cimentícios reforçados com fibra	Resistência à tração na flexão (MPa)	Fonte
Epicarpo do coco babaçu	5,20	Autora (2022)
Arumã	2,63	Marques (2015)
Sisal	3,85	Santos (2015)

Através da análise da tabela 25 verificou-se que compósito cimentício reforçado com fibra do epicarpo do coco babaçu sem tratamento obteve uma maior resistência à tração na flexão em relação as amostras com arumã e sisal *in natura*, com uma diferença de 35,06% e 97,72%, respectivamente. Além disso, com o objetivo de analisar estatisticamente se a adição de fibra com e sem tratamento realizaram influência relevante sobre esta propriedade, foi processado através dos resultados do ensaio de resistência à flexão das argamassas cimentícias uma Análise de Variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância (tabela 26), e em seguida, o teste de Tukey.

Tabela 26: Análise de Variância para o ensaio de resistência à tração na flexão. Fonte: AUTORA, 2022.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F-valor	P-valor	F-crítico
Entre grupos	7,62035556	2	3,810178	16,7333236	0,003514	5,143253
Dentro dos grupos	1,3662	6	0,2277			
Total	8,98655556	8				

A análise demonstrou que há uma diferença relevante nos resultados para este ensaio, visto que o resultado equivalente a F-valor, que indica o tamanho da diferença entre os grupos em função da variação dentro de cada grupo, é maior que o F-crítico. Quando F-valor > F-crítico, há uma diferença entre as médias das amostras. Para comprovar esta hipótese, o P-valor resultou em um valor menor que 0,05, confirmando que a adição de fibras interfere de forma significativa na propriedade de resistência à tração na flexão.

Para localizar quais resultados estão diferenciando dos outros, fez-se o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, conforme a tabela 27 e figura 39. A partir das comparações múltiplas, observou-se que há uma diferença entre os resultados e estatisticamente, os compósitos cimentícios com reforço de fibra sem tratamento (AFST) diferem significativamente dos resultados das argamassas de referência (REF) com o resultado de 0,01281 e compósitos cimentícios com reforço de fibra com tratamento (AFCT) apresentam valores com diferença relevante em relação aos compósitos sem tratamento nas fibras (AFST) com o resultado de 0,003564.

Tabela 27: Tabela de teste Tukey. Fonte: AUTORA, 2022.

Terminologias	REF	AFST	AFCT
REF	-	0,01281	0,4535
AFST	6,001	-	0,003564
AFCT	1,815	7,816	-

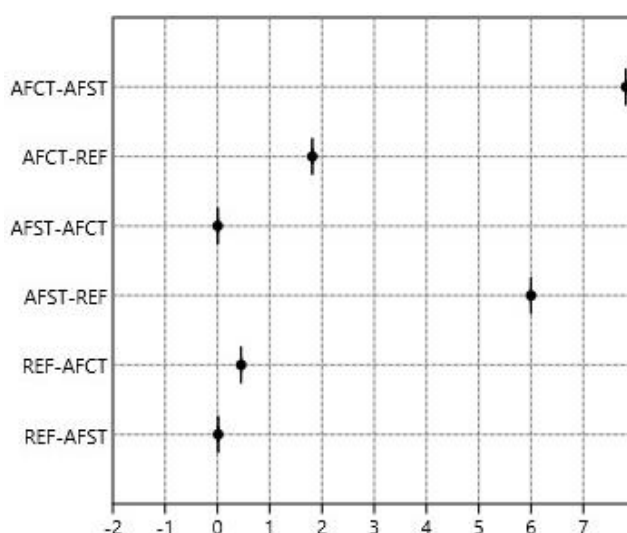


Figura 39: Comparações múltiplas através do teste de Tukey para os resultados de resistência à tração na flexão. Fonte: AUTORA, 2022.

4.3.2 Densidade aparente

Para esta propriedade, a incorporação de fibras teve pouca interferência na redução da densidade aparente das placas cimentícias, como pode ser observado na figura 40. A argamassa de referência (REF) apresentou um valor máximo de 2,008 g/cm³ e um valor mínimo de 1,965 g/cm³. Após a adição das fibras do epicarpo do coco babaçu sem tratamento (AFST), com o valor máximo encontrado foi 2,017 g/cm³, maior que o resultado das argamassas cimentícias de referência, e o valor mínimo de 1,959 g/cm³. Na apuração final, com a adição de fibra tratada com pasta de sílica ativa (AFCT), houve uma redução da propriedade física, com averiguação do valor máximo de 1,907 g/cm³ e mínimo de 1,893 g/cm³.

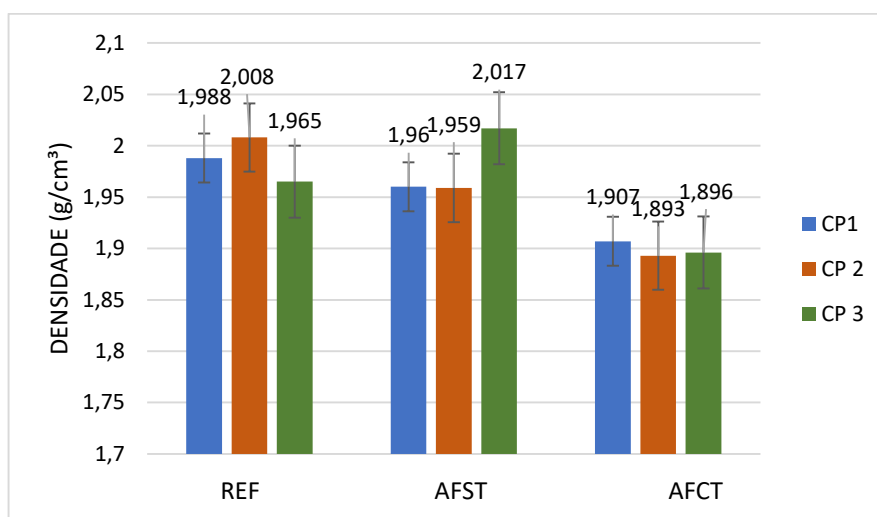


Figura 40: Densidade aparente dos compósitos cimentícios. Fonte: AUTORA, 2022.

Realizando uma comparação do valor máximo da densidade aparente das argamassas cimentícias reforçados com fibras do epicarpo do coco babaçu sem tratamento com as amostras de referências, verifica-se um aumento escasso da densidade aparente de 0,45%. Porém, quando relacionado os valores máximos das amostras reforçadas com fibras tratadas com pasta de sílica ativa com as amostras de referência, observa-se uma redução ponderada da densidade aparente de 6,18%. Na figura 41 contém o gráfico das médias dos valores da densidade aparente para cada terminologia, com o objetivo melhor visualizar as diferenças dos resultados, e na tabela 28 apresenta a mediana, desvio padrão, coeficiente de variação e média dos resultados do ensaio.

Tabela 28: Variáveis de análise da densidade aparente. Fonte: AUTORA, 2022.

Terminologia	Média	Mediana	Desvio padrão	Coeficiente de variação
REF	1,987 MPa	1,988 MPa	0,018	0,89%
AFST	1,979 MPa	1,960 MPa	0,027	1,37%
AFCT	1,899 MPa	1,896 MPa	0,006	0,32%

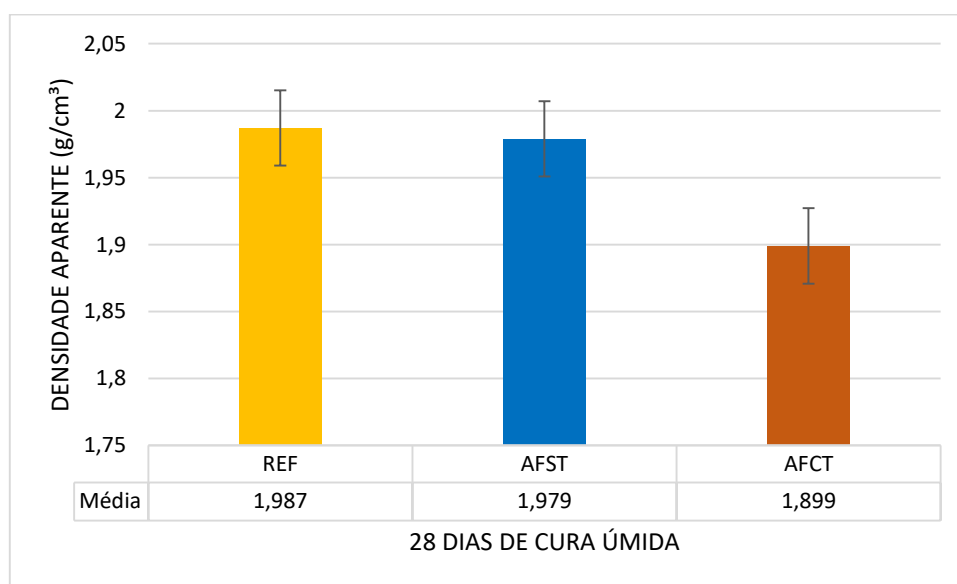


Figura 41: Média da densidade aparente dos compósitos cimentícios. Fonte: AUTORA, 2022.

As placas cimentícias de referência (REF) obtiveram uma densidade aparente média de 1,987 g/cm³, com desvio padrão de 0,018. As placas cimentícias reforçadas com fibras do epicarpo do coco babaçu sem tratamento (AFST) apesar de terem alcançado um valor individual maior das três amostras em comparação as de referências, obtiveram uma média de densidade aparente menor, um valor mínimo de 0,4% de diferença, com desvio padrão de 0,027. Para as placas cimentícias reforçadas com fibras do epicarpo do coco babaçu tratadas com pasta de sílica ativa, houve um decréscimo da densidade de 4,43%.

No ensaio, para todas as terminologias, houve um baixo valor do coeficiente de variação, indicando matematicamente que os materiais foram misturados satisfatoriamente para assegurar que as fibras tenham se compartilhado uniformemente entre as matrizes de argamassa. A tabela 29 contém a relação dos resultados da densidade aparente de compósitos cimentícios reforçados com outras fibras vegetais de arumã e sisal *in natura*.

Tabela 29: Densidade aparente de amostras com fibras vegetais. Fonte: AUTORA, 2022.

Compósitos cimentícios reforçados com fibra	Densidade aparente (g/cm³)	Fonte
Epicarpo do coco babaçu	1,979	Autora (2022)
Arumã	1,516	Marques (2015)
Sisal	1,91	Weber (2018)

Conforme a tabela 29, averiguou-se que o compósito cimentício reforçado com fibra do epicarpo do coco babaçu sem tratamento possui uma maior densidade aparente em relação as amostras com arumã e sisal *in natura*, com uma diferença de 23,40% e 3,486%, respectivamente, apresentando dessa forma que placas cimentícias reforçadas com fibras do epicarpo do coco babaçu são mais pesadas em comparação aos outros reforços que podem gerar compósitos mais leves.

De acordo com a NBR 15498 (2016), é exigido que o fabricante especifique na documentação técnica o valor da densidade aparente, não apresentando, dessa forma, valores fixos que as placas cimentícias devem apresentar. Por isso, para esta propriedade física, não há dificuldades para uso em vedação vertical. Porém, vale ressaltar que quanto menor a densidade, mais leve é o compósito e menor será a carga permanente atribuída a estrutura da edificação. Logo, o uso de painéis leves pode possibilitar economia no custo global de construção. Outros benefícios relativos ao uso de componentes leves e pré-fabricados estão na facilidade na execução das instalações, alta produtividade e facilidade de manutenção (SILVA, 2020; LIMA, 2011).

Através dos valores adquiridos no ensaio, efetuou-se a análise estatística por meio da Análise de Variância, averiguando se há diferenças estatísticas entre as placas, pertinente a densidade aparente. Em seguida, foi realizado o teste de Tukey a fim de apresentar qual terminologia influenciou sobre a outra, conforme determina a tabela 30.

Tabela 30: Análise de Variância para o ensaio de densidade aparente. Fonte: AUTORA, 2022.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F-valor	P-valor	F crítico
Entre grupos	0,014272	2	0,007136111	13,21774028	0,00633	5,143253
Dentro dos grupos	0,003239	6	0,000539889			
Total	0,017512	8				

A análise confirmou que existe uma diferença considerável nos resultados do ensaio de densidade aparente, uma vez que o F-valor resultante é maior que o F-crítico ($13,217 > 5,143$), apresentando que há uma diferença entre as médias das amostras. Para confirmar esta análise, o número resultante do P-valor foi de 0,00633, ou seja, menor que 0,05, comprovando que a adição de fibras influencia de forma significativa na propriedade de densidade aparente.

Com o objetivo de identificar quais resultados estão diferenciando dos outros, elaborou-se o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, de acordo com a tabela 31 e figura 42. Baseado nas comparações múltiplas, verificou-se que há uma alteração entre os resultados e estatisticamente, as placas cimentícias de referência diferem significativamente dos resultados das placas cimentícias com reforço de fibra com tratamento (AFCT) com resultado de 0,008299 e placas cimentícias com reforço de fibra sem tratamento (AFST) mostram valores com diferença relevante em relação aos compósitos com tratamento nas fibras (AFCT) de 0,01319.

Tabela 31: Tabela de teste Tukey. Fonte: AUTORA, 2022.

Terminologias	REF	AFST	AFCT
REF	-	0,9008	0,008299
AFST	0,6212	-	0,01319
AFCT	6,585	5,963	-

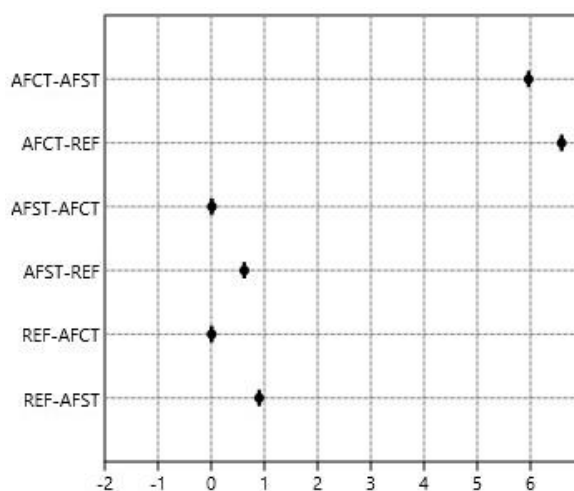


Figura 42: Comparações múltiplas através do teste de Tukey para o resultados de densidade aparente.

Fonte: AUTORA, 2022.

4.3.3 Absorção de água

Os resultados de absorção de água das placas cimentícias para todas as terminologias estão apresentadas na figura 43. Através de sua análise, observa-se que a argamassa de referência (REF) apresentou um valor máximo de 9,49% de absorção de água e um valor mínimo de 6,78%. Com o reforço de fibras do epicarpo do coco babaçu sem tratamento (AFST), houve um acréscimo no valor máximo para 12,09% e mínimo de 10,36%, ou seja, um aumento máximo de absorção de água de 27,40%. Na contagem final, houve uma elevação da absorção de água máxima de 46,57%, referente ao valor máximo de 13,91% da absorção de água das placas cimentícias reforçadas com fibras do epicarpo do coco babaçu tratadas com pasta de sílica ativa (AFCT). O valor mínimo foi de 13,24%, próximo ao número referente ao máximo.

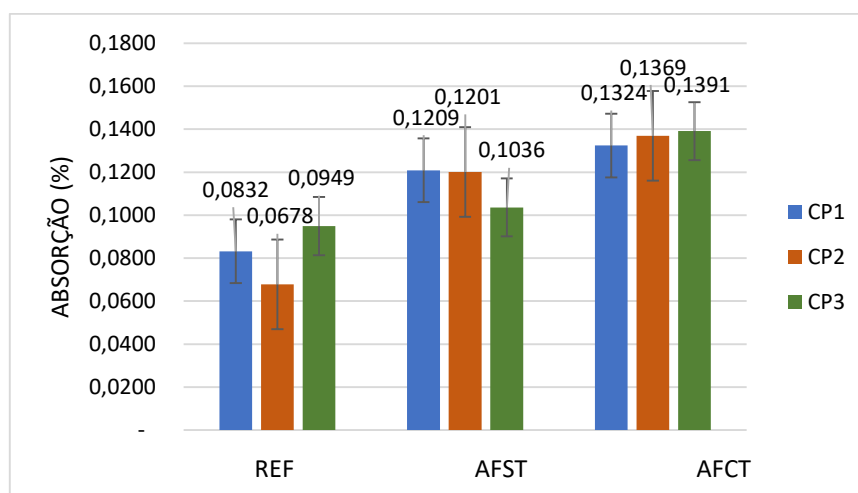


Figura 43: Absorção de água dos compósitos cimentícios. Fonte: AUTORA, 2022.

Fazendo uma relação dos resultados máximos de absorção de água de todas as terminologias, verificou-se que à medida que adicionava as fibras e a realizava o tratamento relativo, as absorções de água crescia, respectivamente. Isto pode ter ocorrido devido à natureza hidrofílica que as fibras possuem, que pode ter provocado o seu inchamento, prejudicando a estabilidade do compósito. O tratamento alcalino com pasta de sílica ativa não impossibilitou a modificação da propriedade hidrofílica para hidrofóbica. Na figura 44 apresenta o gráfico das médias dos valores da absorção de água para cada terminologia para melhor analisar as diferenças resultantes, e na tabela 32 mostra a mediana, desvio padrão, coeficiente de variação e média dos resultados do ensaio.

Tabela 32: Variáveis de análise da absorção de água. Fonte: AUTORA, 2022.

Terminologia	Média	Mediana	Desvio padrão	Coefficiente de variação
REF	8,20%	8,32%	0,011	13,53%
AFST	11,49%	12,01%	0,0079	6,91%
AFCT	13,61%	13,69%	0,0027	2,04%

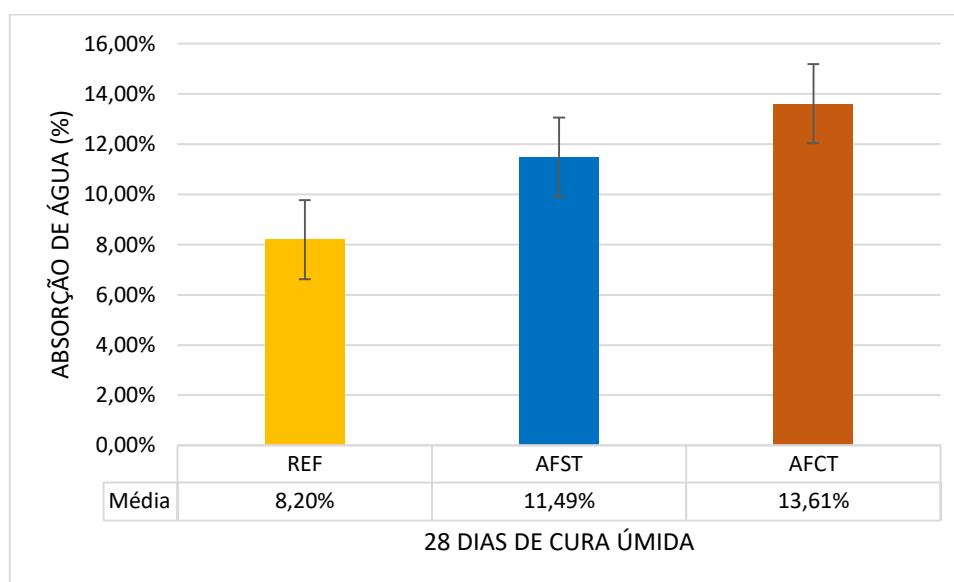


Figura 44: Média da absorção de água dos compósitos cimentícios. Fonte: AUTORA, 2022.

As placas cimentícias de referência (REF) alcançaram uma absorção de água média de 8,20%, com desvio padrão de 0,011%. As placas cimentícias reforçadas com fibras do epicarpo do coco babaçu sem tratamento (AFST) apresentou um resultado maior, de 11,49%, ou seja, um acréscimo de 40,12% e um desvio padrão de 0,0079. Para as placas cimentícias reforçadas com fibras do epicarpo do coco babaçu tratadas com pasta de sílica ativa, ocorreu mais uma elevação média da absorção de água para 13,61%, com acréscimo de 65,98% em comparação aos compósitos cimentícios de referência. O seu desvio padrão foi mais baixo com valor de 0,0027.

De acordo com Azevedo (2018), baixos valores de densidade, como foi verificado na propriedade física anterior, pode sugerir mais absorção de água, o que pode ser prejudicial para elementos expostos ao ambiente. Moraes (2020) realizou um estudo com compósitos cimentícios reforçados com fibras do epicarpo do coco babaçu *in natura* e obteve em seus resultados para 1% de adição, uma absorção de água variando de 11,9% a 12,2%, maiores,

porém, próximo ao valor obtido na pesquisa, com média de 11,49%. A tabela 33 contém a relação dos resultados da absorção de água de compósitos cimentícios reforçados com outras fibras vegetais, como de arumã, eucalipto e sisal *in natura*.

Tabela 33: Absorção de água de amostras com fibras vegetais. Fonte: AUTORA, 2022.

Compósitos cimentícios reforçados com fibra	Absorção de água (%)	Fonte
Epicarpo do coco babaçu	11,49%	Autora (2022)
Arumã	22,73%	Marques (2015)
Eucalipto	13,5%	Tessaro et al. (2015)
Sisal	10% < x < 15%	Gualberto et al. (2021)

De acordo com a tabela 33, notou-se que o compósito cimentício reforçado com fibra do epicarpo do coco babaçu *in natura* possui menores resultados de absorção de água, em comparação as amostras de arumã, eucalipto e até sisal que consegue alcançar valores próximos de 15% de absorção. As diferenças entre os compósitos cimentícios de diferentes reforços são de 97,82% para as fibras de arumã e 17,49% para as fibras de eucalipto. Isto determina que as fibras do epicarpo do coco babaçu adicionadas como reforço em compósitos cimentícios, são menos hidrofílicas em relação as outras fibras vegetais adicionadas como reforço de matriz cimentícia.

Com o objetivo de analisar estatisticamente se a adição de fibra com e sem tratamento realizaram influência relevante sobre esta propriedade, foi processado através dos resultados do ensaio de absorção de água nas placas cimentícias uma Análise de Variância (ANOVA) ao nível de 5% de significância, conforme a tabela 34, e em seguida, o teste de Tukey.

Tabela 34 – Análise de Variância para o ensaio de absorção de água. Fonte: AUTORA, 2022.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F-valor	P-valor	F crítico
Entre grupos	0,004468709	2	0,002234	22,97379214	0,001541	5,143253
Dentro dos grupos	0,00058354	6	9,73E-05			
Total	0,005052249	8				

Através da análise dos dados de variância da tabela 29, observa-se que houve uma diferença significativa nos resultados do ensaio de absorção de água, pois o F-valor resultante é

maior que o F-crítico ($22,973 > 5,143$), afirmando desta forma que há uma diferença entre as médias das amostras. A fim de comprovar esta análise, verificou-se o número resultante do P-valor, sendo ele 0,001541, isto é, menor que 0,05, reforçando que a adição de fibras e com tratamento, interfere de forma significativa quanto a absorção de água.

Para determinar quais resultados estão distinguindo dos outros, desenvolveu-se o teste de Tukey, ao nível de 5% de significância, conforme a tabela 35 e figura 45. Conforme as comparações múltiplas, observou-se que existe uma variação entre os resultados e estatisticamente, as placas cimentícias de referência diferem consideravelmente dos resultados das placas cimentícias com reforço de fibra sem tratamento (AFST) e das placas cimentícias com reforço de fibra com tratamento (AFCT) com resultado de 0,01522 e 0,001279, respectivamente.

Tabela 35: Tabela de teste Tukey. Fonte: AUTORA, 2022.

Terminologias	REF	AFST	AFCT
REF	-	0,01522	0,001279
AFST	5,778	-	0,08532
AFCT	9,513	3,735	-

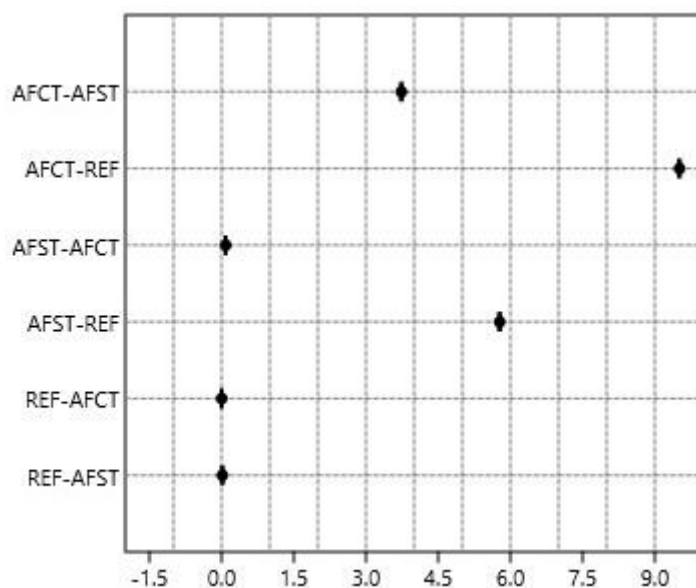


Figura 45: Comparações múltiplas através do teste de Tukey para os resultados de absorção de água.

Fonte: AUTORA, 2022.

Mesmo com a diferença estatística entre as diferentes terminologias de placas cimentícias, observa-se que adição de fibras não impossibilita o uso das placas para vedação internas, uma vez que em espaços internos não há existência de água contínua sobre a superfície. Além disso, a fim de evitar a absorção de água e deixar a superfície da placa impermeável, pode ser utilizado materiais como tintas, seladores e outros (SILVA, 2020).

4.3.4 Permeabilidade

A avaliação da permeabilidade das placas foi realizada em local seguro de intempéries, com monitoramento de temperatura, mantendo-se sempre durante o ensaio, os padrões determinados em norma. Porém, a umidade não foi possível verificar. O ensaio baseia-se em uma investigação visual das placas após a submissão a condições de permeabilidade, por isso, foram retiradas fotografias da face inferior da placa cimentícia após o ensaio, a fim de verificar se houve a formação de umidade e gotas de água na face inferior das placas, conforme a figura 46, figura 47 e figura 48. Os resultados do ensaio podem ser avaliados na tabela 36.



Figura 46: Face inferior da placa cimentícia de referência. Fonte: AUTORA, 2022.



Figura 47: Face inferior da placa cimentícia com reforço de fibras *in natura*. Fonte: AUTORA, 2022.



Figura 48: Face inferior da placa cimentícia com reforço de fibras com tratamento. Fonte: AUTORA, 2022

Tabela 36: Parâmetros do ensaio de permeabilidade. Fonte: AUTORA, 2022.

Placa	Temp. Inicial (°C)	Temp. Final (°C)	Traços de umidade na face inferior	Formação de gotas de água na face inferior
REF	25,5	26,9	Sim	Não
AFST	26,9	27,6	Sim	Não
AFCT	26,1	25,8	Sim	Não

A norma afirma que as placas cimentícias podem apresentar em sua face inferior traços de umidade, porém, não pode ser identificado gotas de água. Desta forma, de acordo com os resultados apresentados, para as três terminologias, não houve formação de gotas, o que atribui possibilidade de uso da placa cimentícia para vedações internas. A face inferior da placa

cimentícia de referência apresentou umidade na extremidade inferior direita e a placa cimentícia com reforço de fibras do epicarpo do coco babaçu sem tratamento (figura 47) apresentou umidade nas laterais da placa. As placas cimentícias reforçadas com fibras do epicarpo do coco babaçu com tratamento (figura 48) caracterizou-se pelo aparecimento de traços de umidade, fenômeno este que está em anuência com o ensaio de absorção de água, visto que foi o traço que obteve a maior absorção.

4.3.5. Termometria

Através da análise dos resultados de aptidão, observa-se o grau de inibição da mistura da argamassa cimentícia com reforço de fibras *in natura* e fibras com tratamento em pasta de sílica ativa. A figura 49 apresenta os índices de inibição para as duas terminologias, na qual a mistura AFST resultou em 0,1534% e AFCT de 3,3454%. Conforme a tabela 8, apresentada anteriormente, o índice de inibição AFST e AFCT apontaram inibição baixa. Porém, para as argamassas cimentícias reforçadas com fibras sem tratamento, o valor foi mais inferior, próximo a nulidade, apontando assim que a presença da composição química das fibras, como extrativos, hemiceluloses, lignina não inibiu na hidratação do cimento.

As argamassas cimentícias reforçadas com fibras com tratamento, o valor resultante apresentou baixa inibição, porém, aumentou em comparação as fibras não tratadas, mostrando dessa forma que o tratamento prejudicou no processo de hidratação do cimento, o que refletiu nos resultados do ensaio mecânico de resistência à tração na flexão. Na figura 50, figura 51 e figura 52, observa-se que as curvas apresentaram comportamentos semelhantes, na qual a temperatura máxima atingida e seu respectivo tempo, principalmente para a mistura REF e AFST foram próximos, concluindo desta forma que a adição de fibra como reforço é adequado para uso, uma vez que é compatível com o cimento.

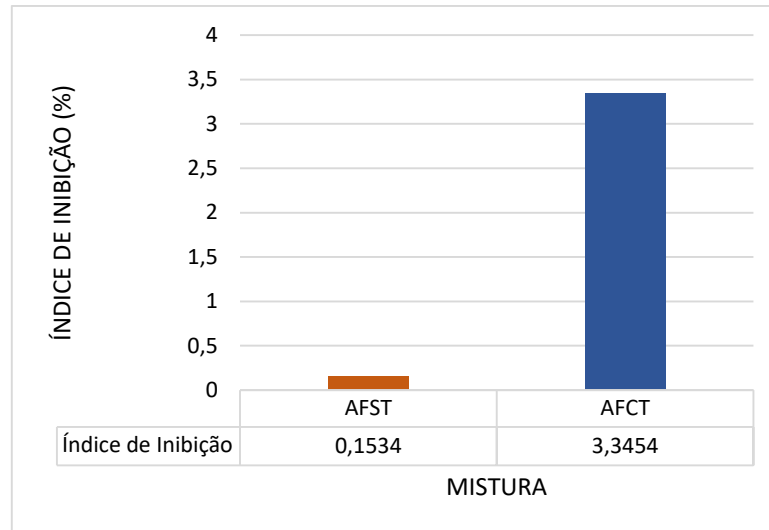


Figura 49: Efeito da mistura sobre o índice de inibição. Fonte: AUTORA, 2022

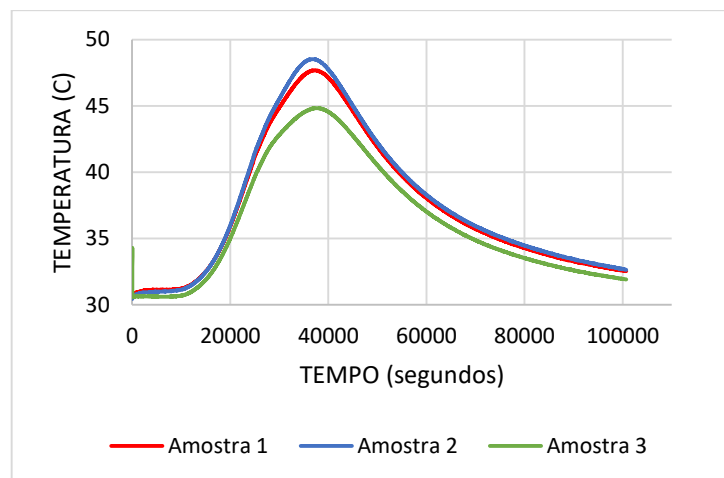


Figura 50: Curvas de evolução da temperatura das reações de hidratação da mistura REF. Fonte: AUTORA, 2022

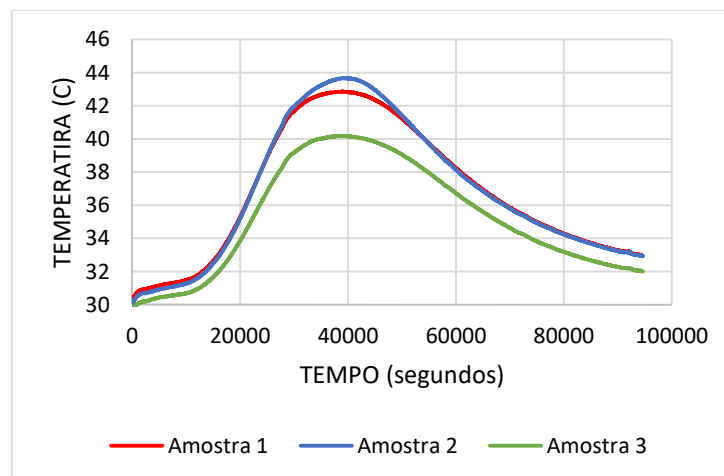


Figura 51: Curvas de evolução da temperatura das reações de hidratação da mistura AFST. Fonte: AUTORA, 2022

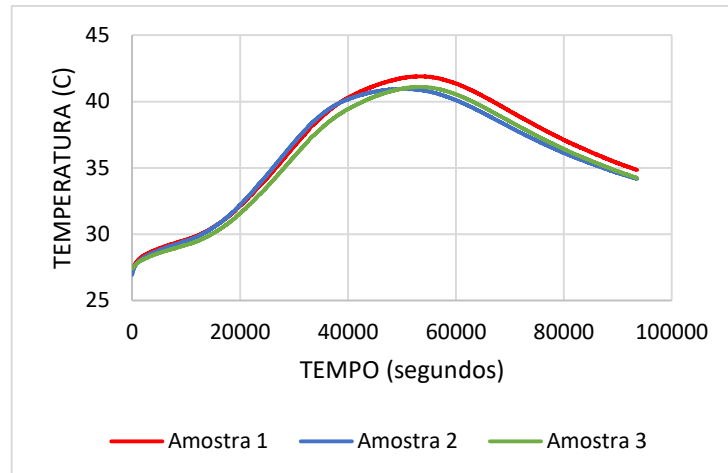


Figura 52: Curvas de evolução da temperatura das reações de hidratação da mistura AFCT. Fonte: AUTORA, 2022

4.4. Análise morfológica e mineralógica

4.4.1 Microscopia eletrônica de varredura

A análise morfológica empregando a Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) para amostras de placas cimentícias com reforço de fibras *in natura* e com tratamento foram realizadas após o ensaio de ruptura à tração na flexão com o objetivo de verificar a superfície da fibra e a aderência fibra/matriz. Na figura 53a, figura 53b e figura 53c contém o mesmo compósito cimentício reforçado com fibras do epicarpo do coco babaçu sem tratamento, apenas com diferenças de amplitudes de 50x, 100x e 1500x. Na imagem 53a e 53b observa-se uma suave rugosidade e configuração longitudinal irregular, o que pode melhorar a adesão da fibra à matriz. Verifica-se também fissuras e trincas nas fibras, o que prejudica na adesão interfacial.

A figura 53c apresenta a fibra com pontos com depósitos de cera, também determinada como uma capa protetora sobre os elementos celulares do vegetal, sendo responsável pela proteção externa contra a penetrabilidade da água, além de evitar a evaporação da água natural da fibra vegetal, tratando-se, dessa forma, de um comportamento hidrofóbico da fibra do epicarpo do coco babaçu (MARQUES, 2015).

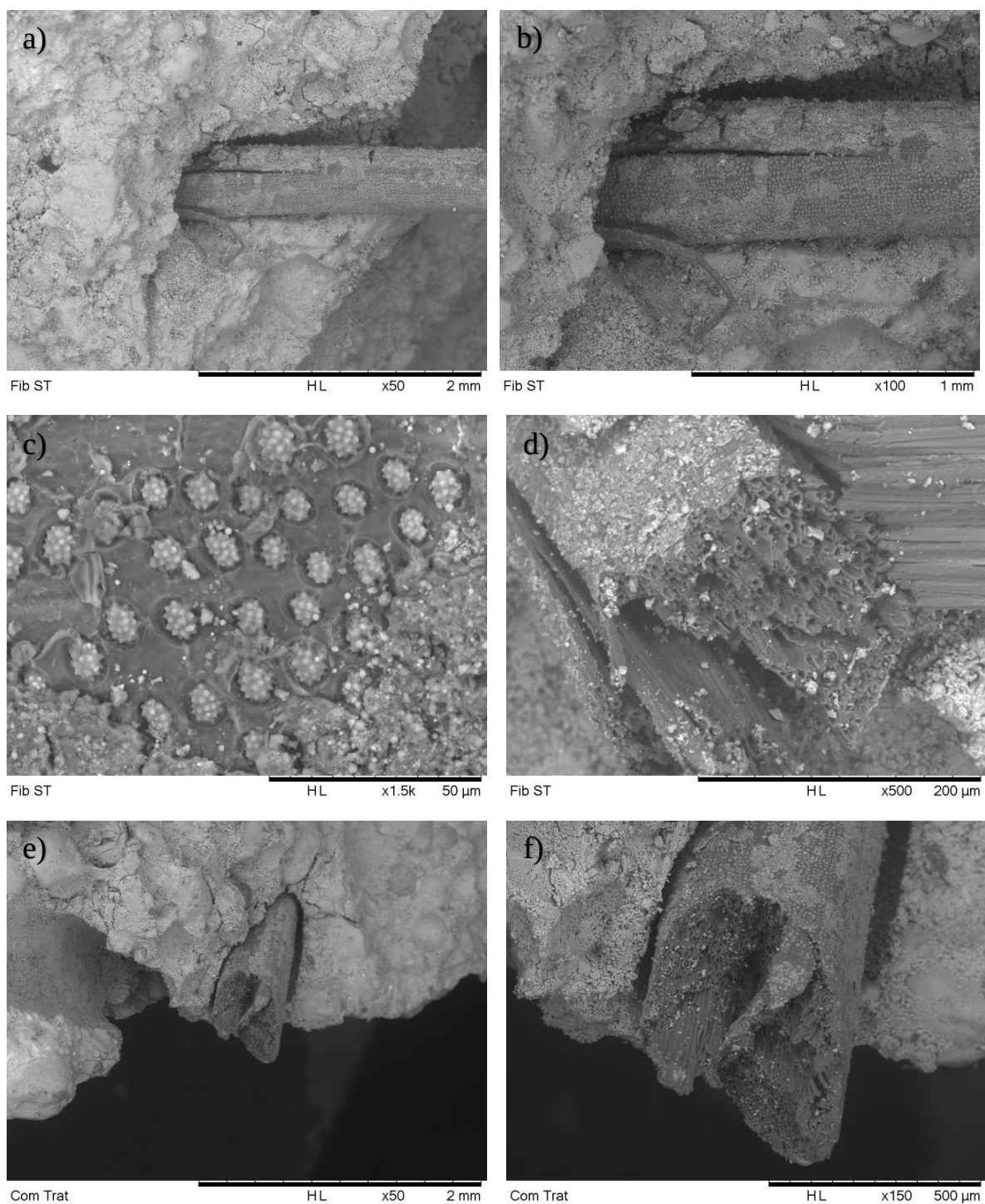


Figura 53: Micrografias dos compósitos após 28 dias, (a), (b) e (c) AFST, (d), (e) e (f) AFCT. Fonte: AUTORA, 2022

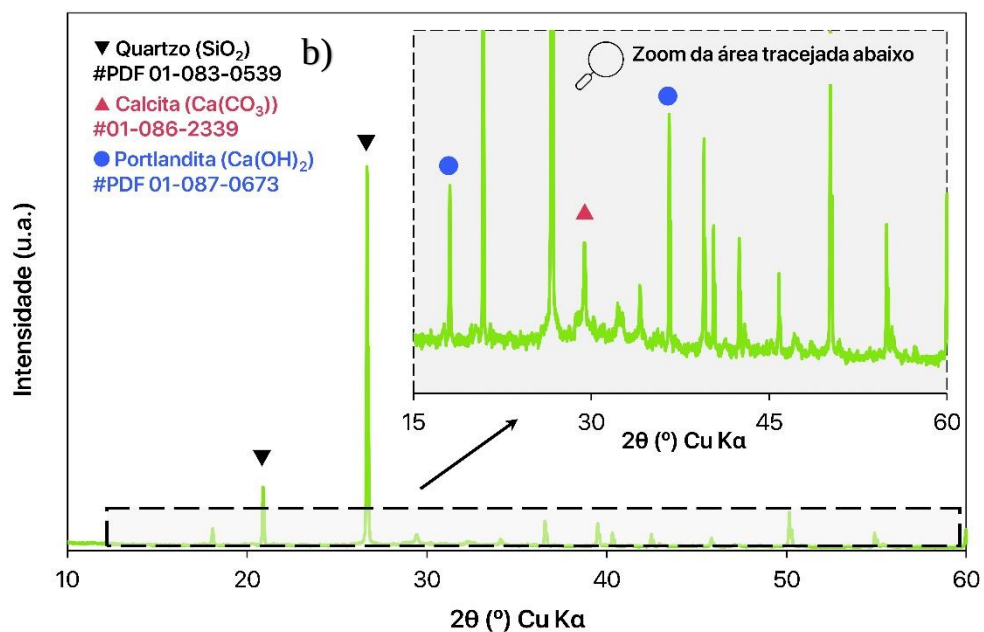
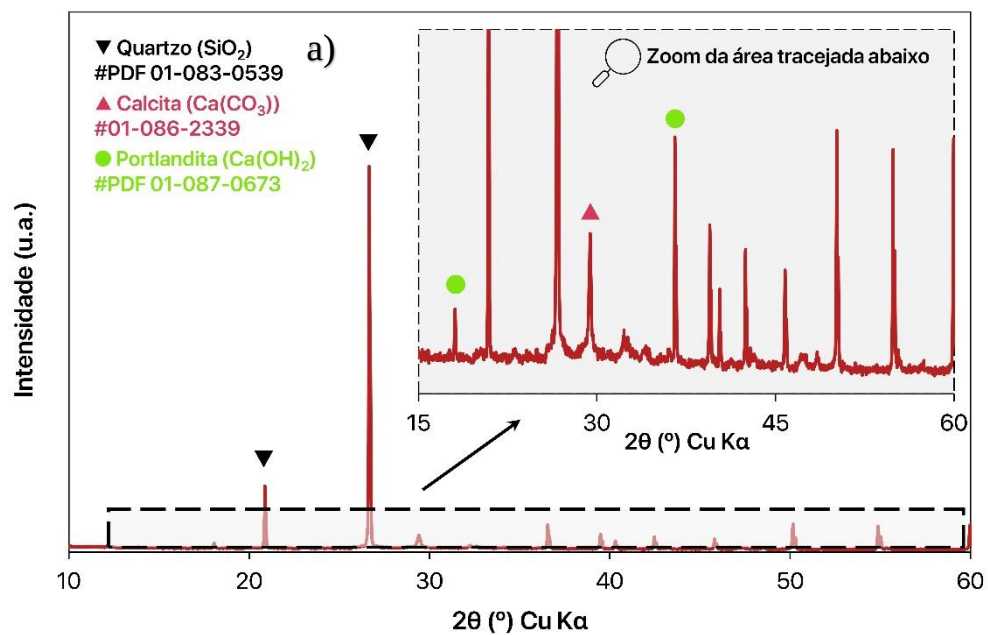
A figura 53d, figura 53e e figura 53f apresentam compósitos cimentícios reforçados com fibras do epicarpo do coco babaçu tratadas com pasta de sílica ativa, com amplitudes de 500x, 50x e 150x, respectivamente. A figura 53d apresenta trinca na configuração longitudinal da fibra, além de um aspecto mais rugoso, uma vez que o tratamento alcalino retirou parcialmente

as ceras presentes, responsável pela proteção externa contra a penetrabilidade de água, o que pode ter ocasionado no aumento da porosidade, criando ambientes nos quais soluções podem se acumular sobre a superfície da fibra tratada, o que pode ser prejudicial a durabilidade. Além disso, a camada protetora parcialmente retirada deixa expostos os elementos celulares que formam o tecido parenquimático (MARQUES, 2015).

Na figura 53e e 53f apresenta a adesão da fibra/matriz do mesmo compósito na qual observa-se o desprendimento da fibra à matriz, além de vazios externos decorrente do desprendimento de áreas da fibra. Dessa forma, através das imagens extraídas do MEV, foi possível analisar a distribuição das fibras na matriz, sua superfície cerosa, os vazios, fissuras e trincas. Estes resultados determinam a baixa adesão da fibra e a matriz, principalmente para compósitos cimentícios reforçados com fibras tratadas com pasta de sílica ativa, reforçando o baixo resultado do ensaio de resistência à tração na flexão das placas cimentícias reforçadas com a fibra vegetal tratada.

4.4.2 Difractometria de Raios-X

Foi identificada a mineralogia da argamassa cimentícia de referência (figura 54a), com adição de fibras sem tratamento (figura 54b), com adição de fibras com tratamento em pasta de sílica ativa (figura 54c). Devido a utilização de argamassas com grande proporção de areia (traço 1:3) em todos difratogramas, o pico de quartzo de maior intensidade corresponde ao agregado miúdo. Logo, foi realizado um zoom e seccionado a imagem, permitindo a visualização dos outros elementos cristalinos encontrados.



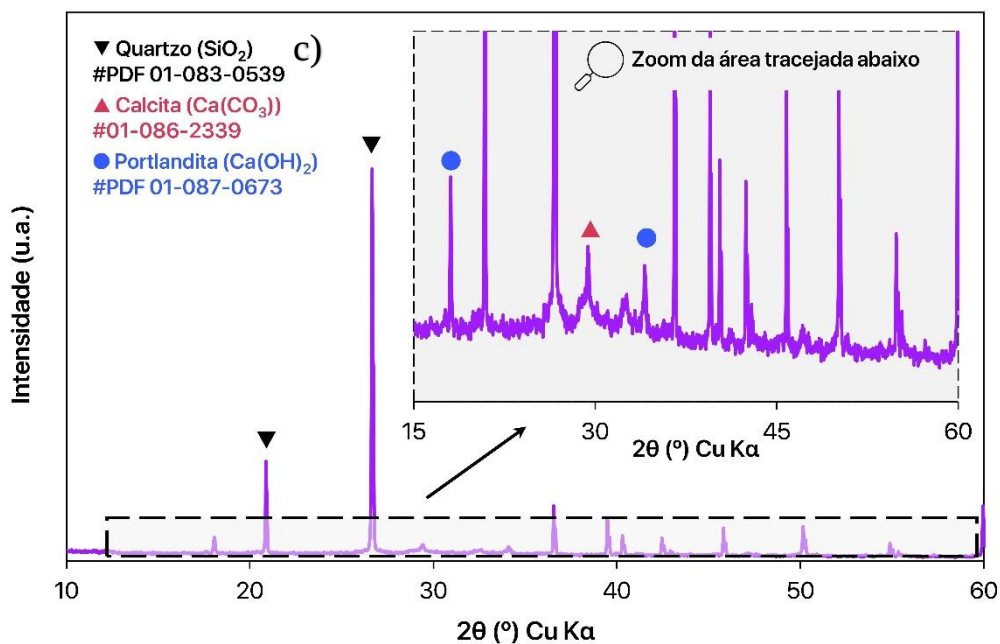


Figura 54: Difratomogramas das argamassas, (a) REF, (b) AFST, (c) AFCT. Fonte: AUTORA, 2022

De acordo com a figura 54a, observando a mineralogia da argamassa REF aos 28 dias, os principais picos encontrados foram a portlandita e calcita. Com a adição de fibras sem tratamento (figura 54b), observa-se um crescimento no pico de portlandita e um pequeno decréscimo no pico de calcita. Para os compósitos cimentícios com adição de fibras tratadas em pasta de sílica ativa, permaneceu o simples decréscimo da calcita e os picos de portlandita também diminuíram. A presença da calcita em todos os difratogramas são decorrentes da adição de fíler presente na hidratação do cimento e também um indicativo de uma acelerada carbonatação da matriz. A penetração de carbonato gera calcita e alterações na porosidade e na permeabilidade.

Ferreira (2017) afirma que amostras com maior quantidade de calcita apresentaram menor porosidade, uma vez que a calcita pode bloquear os poros do material, quando formada em quantidades razoáveis. Isso pode ser observado nas amostras AFCT que apresentaram maior porosidade em relação as amostras AFST, uma vez que apresentam menor quantidade de calcita. AUROY et al. (2015) em suas pesquisas, observaram que a quantidade de calcita formada era maior e o resultado era um maior bloqueio dos poros do material, quando a carbonatação acontecia principalmente pela reação com a portlandita.

O decréscimo da portlandita nas amostras AFCT foi um fator que proporcionou a perda da resistência mecânica das placas, uma vez que em menores proporções de portlandita, há menor consumo para formação de calcita. As reações com a portlandita ocasionam em bloqueio

dos poros, aumento na densidade, matriz com menos vazios, redução da absorção de água, aumento na resistência do material (MACHADO, 2019).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões

- Na análise morfológica da fibra do epicarpo do coco babaçu *in natura*, seu aspecto apresentou superfície lisa e uniforme na seção longitudinal com presença de ceras, responsáveis pela proteção contra a penetrabilidade de água. Na seção transversal, apresentou superfície irregular com presença de filamentos que ajudam na ancoragem de matrizes cimentícias. Para as fibras tratadas em pasta de sílica ativa, observou-se que na seção longitudinal perdas das ceras, o que tornou a fibra mais hidrofílica e na seção transversal, a face mais espessa, o que prejudicou na ancoragem das matrizes;
- No estudo piloto, as argamassas cimentícias com menor teor de fibra e menor comprimento apresentaram melhores resultados na resistência à tração, sendo o melhor resultado encontrado para 1% de teor de fibra ≤ 25 mm de comprimento;
- Na resistência à tração na flexão das amostras, a AFST obteve um aumento na resistência de 46,68% em relação as argamassas REF, determinando que a adição de fibras apresenta um indicador positivo para uso em vedação interna. Porém, com o tratamento em pasta de sílica, a AFCT apresentou um decréscimo da resistência de 14,16%;
- A incorporação de fibras apresentou pouca interferência na redução da densidade aparente, de 0,4% para as amostras AFST e 4,43% para amostras AFCT. No que se refere a absorção de água, as amostras com fibras *in natura* e com tratamento resultaram em valores maiores em relação as amostras de referência, com 40,12% e 65,98% de aumento, respectivamente;
- Para o ensaio de permeabilidade, todas as placas cimentícias (REF, AFST e AFCT) apresentaram umidade na face inferior. Porém, em nenhuma houve formação de gotas, atribuindo para todas as placas cimentícias a possibilidade de uso para vedações internas;
- No ensaio de termometria, a adição de fibra *in natura* como reforço em argamassas cimentícias foi positiva, pois sua inibição foi baixa, com 0,1534% de aumento,

indicando que o material é compatível com o cimento, não inibindo na hidratação do cimento. Para as fibras tratadas, houve um acréscimo na inibição, de 3,3454% em relação a amostra de referência. Este resultado expressa que o tratamento não favoreceu quanto ao desenvolvimento da compatibilidade da fibra com o cimento;

- Por meio dos difratogramas observou-se que a perda de portlandita nas amostras AFCT ocasionou em um decréscimo da calcita, produzindo amostras com resistência mecânica menor e com maior quantidade de poros, em relação as amostras AFST;
- Na análise microestrutural, observou-se que o compósito AFCT apresentou o aspecto mais rugoso em comparação ao compósito AFST, pois o tratamento em pasta de sílica ativa removeu parcialmente as ceras presentes em sua superfície, criando ambientes que podem facilitar a entrada de soluções externas.

5.2 Sugestões de trabalhos futuros

Através da presente pesquisa, foi verificado que as fibras do epicarpo do coco babaçu melhorou as propriedades mecânicas do compósito e não interferiu de forma negativa nas propriedades físicas de modo a desprezar seu uso como vedação interna. Porém, a impregnação da fibra em pasta de sílica ativa prejudicou nas propriedades mecânicas e físicas do compósito. Desta forma, algumas avaliações ainda são fundamentais para complementar os estudos sobre este tema:

- Realizar caracterizações físicas e mecânicas das fibras do epicarpo do coco babaçu após o tratamento com impregnação em pasta de sílica ativa para identificar seu efeito em propriedade mecânica como resistência à tração e física como absorção de água;
- Avaliar as consequências do envelhecimento natural nas propriedades físicas, mecânicas e na composição química das fibras do epicarpo do coco babaçu *in natura*;
- Relacionar a eficácia do tratamento das fibras com pasta de sílica ativa com outros tratamentos recomendados pela literatura, como o tratamento com solução aquosa de hidróxido de sódio (NaOH), através das análises das propriedades mecânicas e durabilidade do compósito cimentício;
- Analisar a viabilidade econômica das placas cimentícias reforçadas com fibras do epicarpo do coco babaçu para vedação internas em substituição ao uso de fibras industrializadas.

REFERÊNCIAS

- ABREA. **Associação Brasileira dos Expostos ao Amianto** (Org). Amianto no Brasil. Disponível em: <http://www.abrea.com.br/o-amianto/o-amianto-no-brasil.html>. Acesso em: 14 de jun. 2020.
- AGOPYAN, V. et al. *Developments on vegetable fibre–cement based materials in São Paulo, Brazil: an overview*. **Cement and Concrete Composites**, v. 27, n. 5, p. 527-536, 2005.
- ALVES, F. et al. *The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers*. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 2, n. 2, p. 149-157, 2013.
- AMAZONIA LATITUDE. Disponível em: <https://amazonialatitude.com/2019/04/10/quebradeiras-de-coco-babacu-na-amazonia-e-a-luta-em-defesa-das-territorialidades/>. Acesso em: 23 de dez. 2020.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard Test Method for Tensile Strength and Young's Modulus of Fibers**. ASTM C1557-03, West Conshohocken. 2008.
- ANDRZEJ, M. **Cement-based Composites**. New York, Taylor & Francis, 2009.
- ARANTES, M. M. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos à base de EVA e LDPE reciclados com fibras de coco de babaçu – uma contribuição para a sustentabilidade**. 80f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear – Materiais) Instituto de pesquisas energéticas e nucleares, São Paulo, 2020.
- ARAÚJO, F. R. et al. Ethnobotany of babaçu palm (*Attalea speciosa* Mart.) in Tucuruí Lake Protected Areas Mosaic – eastern Amazon. **Acta Botânica Brasilica**, v. 30, n. 2, p. 193 - 204, 2016.
- ARRUDA FILHO, N. T. et al. Resistência mecânica de compósitos cimentícios leves utilizando resíduos industriais e fibras de sisal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 16, n. 8, p. 894-902, 2012.
- ARTIGAS, L. V. **Fibrocimento**. Materiais de construção III, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2013.
- ASASUTJARIT, C. et al. *Development of coconut coir-based lightweight cement board*. **Construction and Building Materials**, v. 21, n. 2, p. 277-288, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado miúdo - Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco Chapman**. NBR 9775. Rio de Janeiro. 2011.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregado miúdo — Determinação da densidade e da absorção de água**. NBR 16916. Rio de Janeiro. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Determinação da massa unitária e do volume de vazios**. NBR NM 45. Rio de Janeiro. 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados - Determinação da composição granulométrica**. NBR NM 248. Rio de Janeiro. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Agregados para concreto — Especificação**. NBR 7211. Rio de Janeiro. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação do índice de consistência**. NBR 13276. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio da peneira 75 μ m (nº 200)**. NBR 11579. Rio de Janeiro. 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland — Determinação dos tempos de pega**. NBR 16607. Rio de Janeiro. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland — Determinação do índice de finura por meio de peneirador aerodinâmico**. NBR 12826. Rio de Janeiro. 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland – Requisitos**. NBR 16697. Rio de Janeiro. 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cimento Portland e outros materiais em pó — Determinação da massa específica**. NBR 16605. Rio de Janeiro. 2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos**. NBR 7222. Rio de Janeiro. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Placas de fibrocimento sem amianto – Requisitos e métodos de ensaio**. NBR 15498. Rio de Janeiro. 2016.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Telha ondulada de fibrocimento sem amianto e seus acessórios – Parte 2: Ensaios**. NBR 15210 - 2. Rio de Janeiro. 2019.

AUROY, M.; POYET, S.; LE BESCOP, P.; TORRENTI, J.-M.; CHARPENTIER, T.; MOSKURA, M.; BOURBON, X. *Impact of Carbonation on Unsaturated Water Transport Properties of Cement-Based Materials*. **Cement and Concrete Research**, v. 74, p. 44-58, 2015.

AZEVEDO, A. R. de G. **Desenvolvimento de placas cimentícias reforçadas com incorporação do lodo primário da indústria de papel de celulose**. 186 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 2018.

BALLESTEROS, J. E. M. et al. *Synergic effect of fiber and matrix treatments for vegetable fiber reinforced cement of improved performance*. **Construction and Building Materials**, v. 205, p. 52-60, 2019.

BARBOSA, A. P. **Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de Buriti**. 160 f. Tese (Doutorado) – Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2011.

BARROQUEIRO, E. S. B. et al. Evaluation of acute toxicity of babaçu masocarp in mice. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, Maranhão, v. 21, n. 4, p. 710 - 714, 2011.

BEDIN, M. G. **Compósito com polietileno de baixa densidade e fibra de coco in natura e modificada**. 2014. 99f. Dissertação (Engenharia e Ciência de Materiais do Centro de Ciência e Tecnologia). Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014.

BILCATI, G. K. **Produção de painéis de cimento Portland reforçados com fibra de curauá (*Ananas erectifolius*)**. 100f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

BOAS, R. V. **Influência da seleção de sementes no desenvolvimento de plantas e na biologia floral do mamoeiro (*Carica papaya L.*)**. 50 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Agrônômica) Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

CAMPOS J. L. A.; SILVA T. L. L.; ALBUQUERQUE U. P.; PERONI N.; ARAÚJO E. L. *Knowledge, use, and management of the Babassu Palm (*Attalea speciosa* Mart. ex Spreng) in the Araripe region (Northeastern Brazil)*. **Economic Botany**, v. 69, n. 3, p. 240-250, 2015.

CANEVAROLO JR; SEBASTIÃO V. **Ciência dos polímeros: um texto básico para tecnólogos e engenheiros**. São Paulo: Artliber Editora, 2013.

CARDOSO, P. H. M. **Efeito do tratamento alcalino/mecânico de fibras de curauá nas propriedades de laminados compósitos de matriz epóxi**. 112f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

CARRAZZA, L. R.; ÁVILA, J. C. C.; SILVA, M. L. **Manual Tecnológico de Aproveitamento Integral do Fruto do Babaçu**. Instituto Sociedade, População e Natureza (ISPAN). Brasília - DF, 2012.

CARVALHO, L.H. de; CAVALCANTI, W.S.; NÓBREGA, M.M.S. *Tensile properties of hybrid vegetable/glass fiber fabric reinforced unsaturated polyester composites*. In: **Natural Polymers and Composites IV**, p.486-490, 2009.

CASTRO, D. de O. **Biocompósitos a partir de “polietileno verde”, óleos vegetais, macro e nano fibras de Curauá**. Tese (Doutorado em Físico-Química) – Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

CHAKRABORTY, S. et al. *Improvement of the mechanical properties of jute fibre reinforced cement mortar: a statistical approach*. **Construction and Building Materials**, [s. 1], v. 38, p. 776-784, jan. 2013.

CINELLI, B. A. et al. *Granular starch hydrolysis of babassu agroindustrial residue: A bioprocess within the context of biorefinery*. **Fuel**, v. 124, p. 41-48, 2014.

COELHO, S. T. et al. PROJETO BRA/00/029 - Agência Nacional de Energia Elétrica-ANEEL. **Capacitação do Setor Elétrico Brasileiro em Relação à Mudança Global do Clima**, Brasília, 2002.

COOK, D. J. *Concrete and cement composites reinforced with natural fibres*. In: **Proceedings of symposium concrete International: CI-80 Fibrous concrete**; Lancaster, England: 1980.

CUNHA, P. W. S. **Estudo sobre as potencialidades de compósitos à base de gesso e fibras de coco seco para aplicação na construção civil**. 120 f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia dos Materiais, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2012.

DEFOIRDT, N. et al. *Assessment of the tensile properties of coir, bamboo and jute fibre*. **Composites Part A: applied science and manufacturing**, v. 41, n. 5, p. 588-595, 2010.

DITTENBER, D. B., GANGARAO, H. V. S. *Critical Review of Recent Publications on Use of Natural Composites in Infrastructure*. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, 43(8), 1419-1429, 2012.

ESMERALDO, M. A. **Preparação de novos compósitos suportados em matriz de fibra vegetal/natural**. 119 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Química Orgânica e Inorgânica, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2006.

FARRAPO, C. L. **Durabilidade de fibrocimento reforçado com polpa de sisal após 10 anos de envelhecimento natural**. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Biomateriais) Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.

FARUK, O. et al. *Biocomposites reinforced with natural fibers: 2000-2010*. **Progress in Polymer Science**, v. 37, n. 11, p. 1552-1596, 2012.

FERNANDES, R. S. **Concreto reforçado com fibras de bambu (*Dendrocalamus Giganteus*)**. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

FERREIRA, S. R. et al. *Effect of hornification on the structure, tensile behavior and fiber matrix bond of sisal, jute and curauá fiber cement based composite systems*. **Construction and Building Materials**, v. 139, p. 551-561, 2017.

FERREIRA, S. R. et al. Influência de ciclos molhagem-secagem em fibras de sisal sobre a aderência com matrizes de cimento Portland. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 17, n. 2, p. 1024-1034, 2012.

FERREIRA, S. R. et al. *Effect of Sisal Fiber Hornification on the Fiber-Matrix Bonding Characteristics and Bending Behavior of Cement Based Composites*. **Key Engineering Materials**, v. 600, p. 421–432, 2014.

FIDELIS, M. E. A. **Desenvolvimento e caracterização mecânica de compósitos cimentícios têxteis reforçados com fibras de juta**. 290 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014.

FIDELIS, M. E. A. et al. *The effect of fiber morphology on the tensile strength of natural fibers*. **Journal of Materials Research and Technology**, v. 2, p. 149–157, 2013.

FILHO, R. P. S. S. **Estudo do uso sustentável do babaçu (*Orbignya speciosa*) para produção de biodiesel e implementação do mecanismo REDD+ no estado do Tocantins**. 79f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2013.

FORNARI JUNIOR, C. C. M. **Fibras vegetais para compósitos poliméricos**. Ilhéus, BA: Editus, 2017.

FRANCO, F. J. P. **Aproveitamento da fibra de epicarpo do coco babaçu em compósito com matriz de epóxi: estudo do efeito do tratamento da fibra**. 77f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

GASSAN, J.; BLEDZKI, A. K. *Possibilities for Improving the Mechanical Properties of Jute/Epoxy Composites by Alkali Treatment of Fibres*. **Composites Science and Technology**, v.59, n.9, p.1303-1309, 1999.

GAVA, G. V. **Ensaio de flexão em corpos de prova prismáticos de concreto com fibras de aço e fibras de vidro**. Trabalho acadêmico da disciplina “instrumentação de ensaios”. PPGEUFSC, 2003.

GHAVAMI, K. e TOLEDO FILHO, R. D. Desenvolvimento de Materiais de Construção de Baixo Custo de Energia usando Fibras Naturais, Terra e Bambu, **Revista Engenharia Agrícola**, Editora Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, v. 1, p. 1 – 19, 1992.

GOMES, C. E. M.; SAVASTANO JR, H. *Study of hygral behavior of non-asbestos fiber cement made by similar hatschek process*. **Materials Research**, São Carlos, v. 17, n. 1, p. 121-129, 2014.

GUALBERTO, S. L.; MOTTA, L. A. C.; PASQUINI, D. Tratamento de fibras de sisal com Lignosulfonato para Aprimoramento das Propriedades dos Compósitos de Fibrocimento. **Revista Virtual de Química**, v. 13, n. 6, p. 1257 – 1267, 2021.

- HALVAEI, M. et al. *Application of low modulus polymeric fibers in engineered cementitious composites*, **Journal of Industrial Textiles**, v. 43, ed.4, p. 511- 524, 2014.
- HAMOUDA, T.; SEYAM, A-F. M.; PETERS, K. *Evaluation of the integrity of 3D orthogonal woven composites with embedded polymer optical fibers*. **Composites Part B: Engineering**, v. 78, p. 79-85, 2015.
- HAMZAOUI, R. et al. *Microstructure and mechanical performance of modified mortar using hemp fibres and carbono nanotubes*. **Materials & Desing**, [s. 1], v. 56, p. 60-68, abr. 2014.
- HANNANT, L. *Polymers and polymers composities*. **Construction materials: their nature and behavior**. 2 ed., JM Illston/E & FN Spon, p. 359–403, 1994.
- HENRIQUES, J. D. de O. et al. *Produção de telha de fibrocimento sem amianto*. **Enciclopédia Biosfera – Centro Científico Conhecer**, v.10, n.19; p. 2643, 2014.
- HOFSTRAND, A. D.; MOSLEMI, A. A.; GARCIA, J. F. *Curing characteristics of wood particles from nine northern Rocky Mountain species mixed with Portland cement*. **Forest Products Journal**. v. 34, n. 2, p. 57-61, 1984.
- INSTITUTO BRASILEIRO DO CRISOTILA. Disponível em: <http://www.crisotilabrasil.org.br>. Acesso em: 15 de mar. 2020.
- JOHN, M.; THOMAS, S. *Biofibres and biocomposites*. **Carbohydrate Polymers**, v. 71, n. 3, p. 343-364, 8 fev. 2008.
- KABIR, M. M. et al. *Chemical treatments on plant-based natural fibre reinforced polymer composites: An overview*. **Composites Part B: Engineering**, v. 43, n. 7, p. 2883-2892, 2012.
- KHORAMI, M.; GANJIAN, E.; SRIVASTAV, A. *Feasibility study on production of fiber cement board using waste kraft pulp in corporation with polypropylene and acrylic fibers*. **Materials Today: Proceedings**, v. 3, n. 2016, 2016.
- KIM, J. T.; NETRAVALI, A. N. *Mercerization of Sisal Fibers: Effect of Tension on Mechanical Properties of Sisal Fiber and Fiber-Reinforced Composites*. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 41, pp. 1245–1252, 2010.
- LIMA, A. M. et al. *Utilização de fibras (epicarpo) de babaçu como matéria-prima alternativa na produção de chapas de madeira aglomerada*. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 645-650, 2006.
- LIMA, B. S. et al. *Influência da fibra de curauá em compósitos cimentícios: verificação da resistência à flexão e da resistência à compressão*. **Revista de Iniciação Científica da ULBRA**, v. 1, n. 9, p. 225 - 236, 2011.
- LIMA, J. A. L. et al. *Attalea speciosa Mart. ex. Spreng (Arecaceae): Uma revisão integrativa quanto as principais características biotecnológicas*. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 48639-48661, 2020.
- LIMA, J. R. O. et al. *Biodiesel de babaçu (orbignyasp.) obtido por via etanólica*. **Química Nova**, v. 30, n. 3, p. 600-603, 2007.

LOPES, F. P. D. et al. *Characterization of Thermal Behavior of Polyester Composites Reinforced with Curaua Fibers by Differential Scanning Calorimetry*. In: **EPD Congress 2011**. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2011. p. 297-303.

LUO, X. L. et al. *Effects of wet-pressing-induced fiber hornification on enzymatic saccharification of lignocelluloses*. **Cellulose**, v. 18, n. 4, p. 1055-1062, 2011.

MACHADO, N. A. F. et al. Propriedades físico-mecânicas de painéis multicamadas produzidos com partículas de coco babaçu e de Pinus sp. **Revista Agro@mbiente On-line**, v. 11, n. 3, p. 191-199, 2017.

MACHADO, P. J. C. **Estudo da durabilidade de compósitos cimentícios com polpa de eucalipto modificados com microssílica e látex**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2019.

MANZANO, M. A. R. **Estudo experimental de materiais cimentícios de alta resistência modificados com polímeros superabsorventes (PSAs) como agentes de cura interna**. 351 f. Tese (Doutorado) – Engenharia civil e ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

MÁRMOL, G. et al. *Mechanical and physical performance of low alkalinity cementitious composites reinforced with recycled cellulosic fibres pulp from cement kraft bags*. **Industrial Crops and Products**, v. 49, p. 422-427, 2013.

MARQUES, M. G. S. **Estudo das Propriedades Físicas e Mecânicas e da Durabilidade de Compósitos Cimentícios Reforçados com Fibra Amazônica**. 243 f. Tese (Doutorado em Curso de Engenharia Civil) Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

MARTIN, A. R. et al. Caracterização química e estrutural de fibra de sisal da variedade Agave sisalana. **Polímeros: ciência e tecnologia**, v. 19, n. 1, p. 40-46, 2009.

MARTINS, R. O. G. et al. *Assessment of the durability of grout submitted to accelerated carbonation test*. **Construction and Building Materials**, v. 159, p. 261-268, 2018.

MELO FILHO, J. A. **Durabilidade química e térmica e comportamento mecânico de compósitos de alto desempenho reforçados com fibras de sisal**. 200 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

MELO FILHO, J.; SILVA, F. A.; TOLEDO FILHO, R. D. *Degradation kinetics and aging mechanisms on sisal fiber cement composite systems*. **Cement and Concrete Composites**, v. 40, p. 30-39, 2013.

MERTA, I., POLETANOVIC, B., KATALIN, K. *Durability of natural fibres within cement-based materials-review*. **Concrete Structures – Journal of the Hungarian Group of fib**, v. 18, p. 10-15, 2017.

METHACANON, P. et al. *Properties and potential application of the selected natural fibers as limited life geotextiles*. **Carbohydrate Polymers**, v. 82, n. 4, p. 1090-1096, 2010.

MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T. **Natural fibers, biopolymers and biocomposites**. Taylor & Francis Group, New York, 2005.

MOHR, B. J.; BIERNACKI, J. J.; KURTIS, K. E. *Supplementary cementitious materials for mitigating degradation of kraft pulp fiber-cement composites*. **Cement and Concrete Research**, [s.l.], v. 37, n. 11, p.1531-1543, nov. 2007.

MORAES, Y. A. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras do epicarpo do coco babaçu**. 54 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2020.

MORI, F. A.; LOPES, Y. L. V.; MENDES, L. M.; LATORRACA, J. V. F. *Estudo da compatibilidade entre a madeira e as cascas de Eucalyptus grandis e cimento Portland*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 17, n. 3, p. 257-264, 2007.

NASCIMENTO, U. S. **Carvão de babaçu como fonte térmica para sistema de refrigeração por absorção no estado do Maranhão**. 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica (FEM), Campinas, 2004.

NETO, A. H. A. et al. **Coberturas: Cobertura Fibrocimento**. Centro Universitário do Maranhão, São Luís, 2010.

OKINO, E. Y. A.; SOUZA, M. R. de; SANTANA, M. A. E. et al. *Cement-bonded wood particleboard with a mixture of eucalypt and rubberwood*. **Cement & Concrete Composites**, p.1-6, 2003.

OLIVEIRA, A.M. **Fluência a altas temperaturas, aderência fibra-matriz e comportamento mecânico sob ações higrotérmicas de compósitos cimentícios reforçados com fibras de PVA**. 263f. Tese (Doutorado) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

OLIVEIRA, M. de S. **Desenvolvimento e caracterização de telhas cimentícias reforçadas com tecido de fibras vegetais da Amazônia**. 2017. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017.

ONUAGULUCHI, O.; BANTHIA, N. *Plant-based natural fibre reinforced cement composites: A review*. **Cement and Concrete Composites**, v. 68, p. 96-108, 2016.

PACHECO, F.; JALALI, S. *Cementitious building materials reinforced with vegetable fibres: A review*. **Construction and Building Materials**, v. 25, n. 2, p. 575–581, 2011.

PERES, M. N. P. B. **Compósito de argamassa de cimento reforçada por fibra de sisal com entalhe definidos: caracterização mecânica e mecanismo de falha**. 119 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

PÉREZ, S. E. G. et al. *Conhecimento e usos do babaçu (Attalea speciosa Mart. e Attalea eichleri (Drude) A. J. Hend.) entre os Mebêngôkre-Kayapó da Terra Indígena Las Casas, estado do Pará, Brasil*. **Acta Botanica Brasilica**, v. 26, n. 2, p. 295-308, 2012.

PICANÇO, M. S. **Compósitos cimentícios reforçados com fibras de curauá**. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

PIMENTEL, M. G. et al. Resposta à flexão e análise de tenacidade de argamassas reforçadas com fibra de Curauá. **Matéria** (Rio de Janeiro), [s. 1], v. 21, n. 1, p. 18-26, mar. 2016.

PINTO, R. G. **Compósito cimentícios reforçados com fibras de curauá (Ananas erectifolius) impregnadas com sílica ativa**. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

PIZZOL, V. D. et al. *Mineralogical and microstructural changes promoted by accelerated carbonation and ageing cycles of hybrid fiber-cement composites*. **Construction and Building Materials**, v. 68, p. 750-756, out. 2014.

RAZERA, I.A.T. **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica**. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

ROCHA, Y. C. N.; JUNIOR, R. M. L. **Potencial para o desenvolvimento da cadeira produtiva do Babaçu - uma revisão literária**. In: XXXVI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, João Pessoa, p. 1 – 10, outubro 2016.

RODRIGUES, F. A. **Estudo da influência de diferentes tratamentos (fibra/matriz) nas propriedades mecânicas de compósitos cimentícios reforçados com fibra de malva**. 100f. TCC (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2015.

RODRIGUES, P. R. B. **Desempenho físico-mecânico de compósito fabricado com fibra do epicarpo do coco babaçu (Orbignya phalerata) e resíduos poliméricos**. 103f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia) Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2019.

SALAZAR, V. L. P.; LEÃO, A. L. Biodegradação das fibras de coco e sisal aplicadas na indústria automotiva. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 21, n. 2, p. 99-133, 2006.

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

SANTANA, P. N. A. **Estudo de matriz cimentícia reforçada com curauá (Ananas comosus var. erectifolius) e submetida à cura em atmosfera com excesso de dióxido de carbono (CO₂)**. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2016.

SANTIAGO, G. A. **Estudo do comportamento mecânico de compósitos solo-fibras vegetais impermeabilizadas com solução de poliestireno expandido (EPS) e cimento asfáltico de petróleo (CAP)**. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

SANTOS, F. R. dos S. **Desenvolvimento e aplicação de compósitos à base de matriz polimérica reforçado com fibras de curauá (*Ananás erectifolius*) e resíduos de madeiras amazônicas**. 2013. 134 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2013.

SANTOS, H. M. C. **Tratamento da fibra de sisal com polímeros de fontes renováveis para uso em compósitos à base de cimento**. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental). Universidade Federal de Feira de Santana, Feira de Santana, 2015.

SANTOS, N. A. **Propriedades Termo-Oxidativas e de Fluxo do Biodiesel de Babaçu (*Orbignya phalerata*)**. 131f. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

SANTOS, R. D. **Estudo da influência de tratamentos na promoção da durabilidade e aderência de fibras de curauá e sisal em matrizes à base de cimento Portland**. 147f. TCC (Graduação) Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

SANTOS, R. P. O. et al. *Processing and thermal properties of composites based on recycled PET, sisal fibers, and renewable plasticizers*. **Journal of Applied Polymer Science**, v. 131, n. 12, n/a, 2014.

SARSBY, R. W. *Use of 'Limited Life Geotextiles' (LLGs) for basal reinforcement of embankments built on soft clay*. **Geotextiles and Geomembranes**, v. 25, n. 4-5, p. 302-310, 2007.

SATYANARAYANA, K. G.; FLORES-SAHAGUN, T. H. S.; BOWMAN, P. *Lignocellulosic Materials of Brazil—Their Characterization and Applications in Polymer Composites and Art Works*. In: **Lignocellulosic composite materials**. Springer, Cham, 2018. p. 1-96.

SAVASTANO JUNIOR, H. **Materiais à base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo**. Tese de livre-docência, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SAVASTANO, H.; SANTOS, S. F.; AGOPYAN, V. *Sustainability of vegetable fibres in construction*. **Sustainability of Construction Materials**, p. 55–81, 2009.

SAVIJA, B.; LUKOVIC, M. *Carbonatation of cement paste: understanding, challenges, and opportunities*. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 117, p. 282-301, 2016.

SELLAMI, A.; MERZOUD, M.; AMZIANE, S. *Improvement of mechanical properties of green concrete by treatment of the vegetals fibers*. **Construction and Building Materials**, Guildford, v. 47, p. 1117-1124, 2013.

SHOKRIEH, M. M.; MAHMOUDI, A.; SHADKAM, H. R. *Hybrid polyvinyl alcohol and cellulose fiber pulp instead of asbestos fibers in cement-based composites*. **Mechanics of Composite Materials**, v. 51, n. 2, p. 231-238, 2015.

SILVA NETO, J. T. **Compósito cimentício reforçado com fibras poliméricas de alta resistência mecânica**. 2018. 127 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Materiais) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018.

SILVA, A. J. **Extrativismo do coco babaçu (Orbignyaphalerata, Mart.) no município de Miguel Alves-PI: caminhos para o desenvolvimento local sustentável**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) Universidade Federal do Piauí, 2006.

SILVA, F. et al. *Physical and mechanical properties of durable sisal fiber–cement composites*. **Construction and building materials**, v. 24, n. 5, p. 777-785, 2010.

SILVA, M. N. et al. Avaliação das propriedades do concreto através da adição de fibras do coco babaçu. **Engenharia de Materiais e Metalúrgica: tudo à sua volta**, p. 87-93, 2020.

SILVA, M. R. et al. Análise fatorial multivariada aplicada a caracterização de áreas de ocorrência de babaçu (*Attalea Speciosa Mart ex. Spreng*) na bacia do rio cocal. **Sociedade & Natureza**, v. 24, n. 2, p. 267-282, 2012.

SILVA, R. V.; AQUINO, E. M. F. *Curaua fiber: a new alternative to polymeric composites*. **Journal of reinforced plastics and composites**, v. 27, n. 1, p. 103-112, 2008.

SILVEIRA, M. V. **Análise do Comportamento Mecânico e da Durabilidade em Compósitos de Areia Reforçada com Fibras Naturais de curauá e Sisal**. 2018. 148 f. Tese (Doutorado de Engenharia Civil) Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

SIRAKOV, N. et al. *A stage – structured hierarchical Bayes model for the babassue palm tree population dynamics-estimated from anthropogenic open área data sets*. **Ecological Modelling**, v. 400, p. 14-26, 2019.

SLUITER, A., HAMES, B., RUIZ, R., SCARLATA, C., SLUITER, D., TEMPLETON, D., CROCKER, D. *Determination of Structural Carbohydrates and Lignin in Biomass. Laboratory Analytical Procedure (LAP)*. **National Renewable Laboratory, NREL/ TP-510-42618**, 2012.

SOUSA, D. C. **Compósitos com matriz de amido do mesocarpo do coco babaçu reforçados com fibras do epicarpo do coco babaçu**. Dissertação (Mestrado em Química) Universidade Federal do Piauí, Teresina, 2016.

SOUZA, S. F. et al. *The use of curaua fibers as reinforcements in composites*. **Biofiber Reinforcements in Composite Materials**, p. 700–720, 2015.

SPECK, J. A. **Análise do Desempenho de Placas Cimentícias Através da adição de fibras e telas, visando à redução de deformações térmicas e patológicas**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

SPINACÉ, M. A. S.; JANEIRO, L. G.; BERNARDINO, F. C.; GROSSI, T. A.; DE PAOLI, M. A. Poliolefinas Reforçados com Fibras Vegetais Curtas: Sisal vs. Curauá. **Polímeros**, v. 21, n. 3, p. 168-174, 2011.

STAIGER, M. P.; TUCKER, N. *Natural fibre composites in structural applications*. In: **Properties and performance of natural fibre composites**. Cambridge, UK: Woodhead Publishing, p. 269-297, 2008.

SWAIDANI, A. M.; ALIYAN, S. D.; ADARNALY, N. *Mechanical strength development of mortars containing volcanic scoria-based binders with different fineness*. **Engineering Science and Technology, an International Journal**, v. 19, n. 2, p. 970-979, 2016.

TAALLAH, B.; GUETTALA, A. *The mechanical and physical properties of compressed earth block stabilized with lime and filled with untreated and alkali-treated date palm fibers*. **Construction and Building Materials**, v. 104, p. 52-62, 2016.

TAN, T. et al. *Fracture and resistance-curve behavior in hybrid natural fiber and polypropylene fiber reinforced composites*. **Journal of Materials Science**, v. 47, n. 6, 2864–2874, 2011.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Acid-insoluble lignin in wood and pulp**. TAPPI T 222 om-02. Peachtree Corners. 2006.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **Determination of equilibrium moisture in pulp, paper and paperboard for chemical analysis**. TAPPI T 550 om-08. Peachtree Corners. 2013.

TEIXEIRA, R. S. **Efeito das fibras de curauá e de polipropileno no desempenho de compósitos cimentícios produzidos por extrusão**. 2015. 149f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

TEIXEIRA, R. S. et al. *Extrudability of cement-based composites reinforced with curauá (Ananas erectifolius) or polypropylene fibers*. **Construction and Building Materials**, v. 205, p. 97–110, 2019.

TEIXEIRA, R. S. et al. *Extruded Cement Based Composites Reinforced with Sugar Cane Bagasse Fibres*. **Key Engineering Materials**, v. 517, p. 450–457, 2012.

TEIXEIRA, R. S. **Utilização de resíduos sucro-alcooleiros na fabricação de fibrocimento pelo processo de extrusão**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciências e Engenharia de Materiais) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2010.

TESSARO, A. B. et al. *Compósitos cimentícios reforçados com fibras de eucalipto puras e tratadas com tetraetilortossilicato (TEOS 98%)*. **Ambiente Construído**, v. 15, n. 3, p. 47-55, 2015.

TIAN, H. et al. *Recent Advances in Experimental Study on Mechanical Behaviour of Natural Fibre Reinforced Cementitious Composites*. **Structural Concrete**, v. 17, n. 4, p. 564-575, 2016.

TIAN, H. et al. *The application of general self-consistent model on mechanical behaviour of fibre-reinforced cementitious composites*. **Construction and Building Materials**, v. 146, p. 114-121, 2017.

TOLEDO FILHO, R. D. et al. *Development of vegetable fibre–mortar composites of improved durability*. **Cement and concrete composites**, v. 25, n. 2, p. 185-196, 2003.

TOLÊDO FILHO, R. D. et al. *Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites*. **Cement and concrete composites**, v. 22, n. 2, p. 127-143, 2000.

TOLÊDO FILHO, R. D. et al. *Durability of compression molded sisal fiber reinforced mortar laminates*. **Construction and building materials**, v. 23, n. 6, p. 2409-2420, 2009.

TOLÊDO FILHO, R. D. **Materiais compósitos reforçados com fibras naturais: Caracterização experimental**. Rio de Janeiro, 1997, vol. 1 e 2, 483p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. (PUC- Rio), 1997.

TOMCZAK, F. **Estudos sobre as propriedades de fibras de coco e curauá no Brasil**. 135 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) – Universidade Federal do Paraná, 2010.

TOMCZAK, F.; SATYANARAYANA, K. G.; SYDENSTRICKER, T. H. D. *Studies on lignocellulosic fibers of Brazil: Part III–Morphology and properties of Brazilian curauá fibers*. **Composites Part A: Applied Science and Manufacturing**, v. 38, n. 10, p. 2227-2236, 2007.

TONOLI, G. H. D. **Aspectos produtivos e análise do desempenho do fibrocimento sem amianto no desenvolvimento de tecnologia para telhas onduladas**. 2006. 154 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia e Engenharia de Alimentos) – Universidade de São Paulo, Pirassununga, 2006.

TONOLI, G. H. D. et al. *Eucalyptus pulp fibres as alternative reinforcement to engineered cement-based composites*. **Industrial crops and products**, v. 31, n. 2, p. 225-232, 2010.

TYBA. Arquivos de Imagens do Brasil. Disponível em: <http://tyba.com.br/br/resultado/?busca=Coco%20Baba%C3%A7u&pag=0#pag-1>. Acesso em: 23 de dez. 2020.

VAN DE WEYENBERG, I. et al. *Influence of processing and chemical treatment of flax fibres on their composites*. **Composites science and technology**, v. 63, n. 9, p. 1241-1246, 2003.

WEBER, A. M. **Viabilidade técnica da utilização de fibra de curauá (Ananas Erectifolius) como reforço em compósitos cimentícios laminados**. 2018. 115 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

WEI, J. **Durability of Cement Composites Reinforced with Sisal Fiber**. 2014. 252 f. Tese (Doutorado de Engenharia Civil) – Columbia University, Nova Iorque, 2014.

WEI, J.; MEYER, C. *Degradation mechanisms of natural fiber in the matrix of cement composites. **Cement and Concrete Research***, v. 73, p. 1-16, 2015.

YOO, D.-Y. et al. *Advanced Cementitious Materials: Mechanical Behavior, Durability, and Volume Stability. **Advances in Materials Science and Engineering***, p. 1-2, 2017.

YOO, D.-Y. et al. *Fiber-reinforced cement composites: mechanical properties and structural implications. **Advances in Materials Science and Engineering***, p. 1-2, 2018.

YOUSEFIEH, N. et al. *Influence of fibers on drying shrinkage in restrained concrete. **Construction and Building Materials***, v. 148, p. 833-845, 2017.

ZUKOWSKI, B. et al. *The durability of SHCC with alkali treated curaua fiber exposed to natural weathering. **Cement and Concrete Composites***, v. 94, p. 116-125, 2018.