

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
CENTRO DE ESTUDOS SUPERIORES DE ITACOATIARA
CURSO DE ENGENHARIA FLORESTAL

ERIKA FREIRE DE SOUSA

COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRA DE BANANEIRA (*Musa*
spp.).

ITACOATIARA - AM

2022

ERIKA FREIRE DE SOUSA

COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRA DE BANANEIRA
(*Musa spp.*).

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Florestal do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo de Souza Mafra.

ITACOATIARA - AM

2022

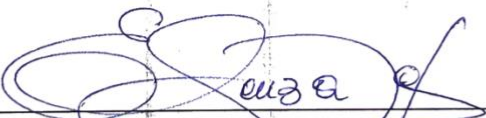
ERIKA FREIRE DE SOUSA

COMPÓSITOS CIMENTÍCIOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE
BANANEIRA (*Musa ssp.*)

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Florestal, do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara, da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenharia Florestal.

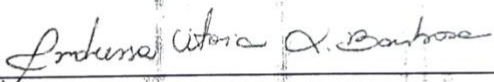
Aprovada em 11 de outubro de 2022

BANCA EXAMINADORA



Eduardo de Souza Mafra – UEA

(Orientador)



Andressa Vitoria Xavier Barbosa

Membro Externo



Victor Fassina Brocco – UEA

“A felicidade só é real quando compartilhada”

AGRADECIMENTOS

A Deus, por guiar todos os meus caminhos.

Ao meu orientador, Dr. Eduardo Mafra por todo auxílio e contribuição para a realização deste trabalho.

A Universidade do Estado do Amazonas, pela oportunidade da realização deste curso.

Aos meus professores que contribuíram para minha formação.

A minha mãe Tina, por todo apoio e amor incondicional, meu pai Edmilson, por acreditar e me ajudar a realizar todos os meus sonhos.

A minha irmã Larissa, por estar sempre presente e ser meu suporte nos momentos mais difíceis, meu irmão Luccas, por ser meu melhor amigo e ao meu cunhado Phelipe, por todo apoio.

Ao Rodrigo, por estar sempre ao meu lado e me ajudar em todos os momentos para que assim, me dedicasse somente aos estudos, sempre gentil e amoroso, um dos principais responsáveis pela minha graduação.

Ao meu sobrinho Henri, por ser o motivo da minha dedicação e esforço para retornar o mais breve para casa.

A minha amiga Millene, por ser a melhor amiga de todas e me ajudar durante toda a graduação, contribuindo diretamente nos meus projetos de iniciação científica e TCC.

Aos meus dois amigos Everton e Erik, pelo companheirismo e por estarem sempre presente.

A Adrinna, Railza, Stefany, Ana Clara, Igor, Marcos, Rafael, Andrei e Alexandre, por todo auxílio durante a graduação e realização do TCC.

A Renata, Gabriele e Letícia, por todo suporte durante a realização do estágio.

A Todos meus amigos do CESIT, por contribuírem em todas as etapas do trabalho, somente assim eu conseguiria.

RESUMO

A busca por novos materiais na indústria da construção civil, provenientes de fontes renováveis, tem se intensificado cada vez mais. O uso de fibras vegetais em materiais construtivos surge como alternativa, devido à abundância e ao baixo custo. Este trabalho teve como objetivo testar a viabilidade de fibras de bananeira (*Musa spp.*) como reforço de compósitos cimentícios. Os corpos de prova foram moldados em porcentagens de 0, 1 e 2% de fibra proveniente da capa da bananeira. Foram realizados os ensaios físicos de absorção de água e densidade aparente, e ensaios mecânicos de resistência à tração na flexão e à compressão. Os resultados mostraram que a incorporação de fibras ao compósito conferiu a diminuição da densidade aparente e aumento na absorção de água. Para os ensaios mecânicos a adição de fibras nas porcentagens de 1 e 2% interferiu significativamente nos resultados, diminuindo a resistência à tração na flexão e a resistência à compressão nos compósitos avaliados. Portanto, estudos futuros são necessários para que ocorra melhoria dos desempenhos em compósitos cimentícios reforçados com fibras de bananeira, devendo incluir uma análise criteriosa quanto ao teor de umidade das fibras, além de um tratamento prévio visando reduzir a absorção de água e melhorar a aderência entre o reforço e a matriz de cimento.

Palavras-chave: Fibra vegetal, matriz cimentícia, fibrocimento, aproveitamento de resíduos.

ABSTRACT

The search for new materials in the construction industry, from renewable sources, has intensified more and more. The use of plant fibers in building materials appears as an alternative, due to their abundance and low cost. This work aimed to test the viability of banana fibers (*Musa* spp.) as reinforcement of cementitious composites. The specimens were molded in percentages of 0, 1 and 2% of fiber from the banana tree cover. Physical tests of water absorption reflection and apparent appearance, and mechanical tests of resistance to attraction were carried out. The results showed that the incorporation of fibers to the composite resulted in a decrease in apparent density and promoted an increase in water absorption. For mechanical tests, the addition of fibers in the percentages of 1 and 2% significantly interfered in the results, decreasing the tensile strength in bending and the resistance to compression in the evaluated composites. Therefore, future studies are necessary to improve performance in reinforced cementitious composites with banana fibers, which must include a careful analysis as to the content of fiber moisture, in addition to a previous treatment of the fibers in order to reduce the absorption of water and improve the adhesion between the reinforcement and the cement matrix.

Keywords: Vegetable fiber, cement matrix, fiber cement, waste recovery.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1 Objetivos	8
1.1.1. Objetivo geral	8
1.1.2. Objetivos Específicos	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
2.1. A industrialização e os recursos naturais	9
2.2. O setor da construção civil e seus impactos ambientais	10
2.3. Materiais construtivos	11
2.3.1. Compósitos cimento-fibras.....	11
2.4. Fibras de bananeira	11
3. METODOLOGIA	13
3.1. Componentes do compósito cimentício	13
3.1.1. Cimento	13
3.1.2. Areia	13
3.1.3. Água	13
3.1.4. Fibra de Bananeira.....	14
3.2. Preparação dos compósitos	16
3.4. Preparação dos corpos de prova	17
3.5. Avaliação das propriedades físicas	17
3.5.1. Densidade aparente	18
3.5.2. Absorção de água	19
3.6. Avaliação das propriedades mecânicas dos compósitos	20
3.6.1. Resistência à tração na flexão	20
3.6.2. Resistência à compressão axial	21
3.7 Análise dos resultados	22
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	23
4.1. Teor de umidade.....	23
4.2. Densidade aparente e absorção de água	23
4.4. Resistência à tração na flexão e à compressão	25
5. CONCLUSÕES	29
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30

1. INTRODUÇÃO

A revolução industrial impulsionada pelos avanços tecnológicos, promoveu mudanças significativas no processo produtivo, possibilitando a produção em larga escala. A partir do progresso técnico intensificaram-se também as intervenções na natureza para apropriação dos recursos naturais, provocando grandes alterações no meio ambiente (SILVA; CRISPIM, 2011). Tais mudanças explicam o surgimento da necessidade de se adotar medidas que pudessem oferecer um desenvolvimento controlado, surgindo a preocupação com o meio ambiente e o conceito de desenvolvimento sustentável (MESQUITA; MEDEIROS, 2018).

A indústria da construção civil ocupa posição de destaque na economia do Brasil, porém, apresenta-se como grande geradora de impactos ambientais que resultam na formação de áreas degradadas (ROTH; GARCIAS, 2009). Esse impacto se manifesta, dentre outras formas, pelo uso indiscriminado de recursos naturais não renováveis. Para Brasileiro e Matos (2015), a cadeia produtiva da construção civil consome entre 20 e 50% dos recursos naturais de todo o planeta.

Segundo Barbosa et al. (2021) o desenvolvimento de materiais construtivos mais sustentáveis, representa um importante instrumento para a mitigação de impactos gerados pela humanidade no planeta. A aplicação de materiais renováveis de baixo custo e de reduzido consumo de energia, tornam-se exigências básicas atualmente para a aplicação em diferentes ramos de produção (PICANÇO; GRAVAMI, 2008).

O uso de fibras naturais como reforço de materiais compósitos tem despertado grandes interesses nos países em desenvolvimento, devido ao seu baixo custo, disponibilidade, economia de energia e pelos aspectos ambientais (SAVASTANO JÚNIOR, 2000).

A banana (*Musa spp.*) é uma fruta cultivada na maioria dos países tropicais, sendo o Brasil um dos maiores produtores do mundo (FRANÇA et al. 2018). As fibras extraídas do pseudocaule da bananeira podem ser utilizadas como preenchimento em compósitos. Seu cultivo produz uma grande quantidade de resíduos, visto que, as plantas senescem após cada ciclo produtivo.

Neste contexto a biomassa apresenta-se como fonte de fibras celulósicas que, além de biodegradáveis, podem substituir materiais sintéticos (ELLENBERGUER, 2020). Portanto, estudos voltados à confecção de produtos a partir de materiais

reforçados com fibras vegetais, são fundamentais, pois visam a utilização de fontes alternativas para o desenvolvimento de compósitos.

1.1 Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Testar a viabilidade técnica de fibras de bananeira (*Musa spp.*) como reforço em compósitos cimentícios.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Caracterizar o teor de umidade das fibras;
- Determinar a densidade aparente e o teor de absorção de água dos compósitos;
- Realizar os ensaios mecânicos de resistência à tração na flexão e de resistência à compressão.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A industrialização e os recursos naturais

A revolução industrial teve início na Inglaterra no final do século XVIII e foi um acontecimento extremamente importante para a humanidade, pois modificou toda a estrutura econômica e social da Europa e, por conseguinte de todo o mundo (MIRANDA, 2012). A transição para novos processos manufaturados com a mudança de métodos de produção artesanal para produção com o uso de máquinas, implicou aumento excessivo da produtividade.

O processo de desenvolvimento e avanço dos meios de produção, impulsionaram de forma intensa e irracional o consumo dos recursos naturais em todo o mundo (BAPTISTA, 2010). Segundo Grazina et al. (1999), esta intensificação da interferência do homem no ambiente levou a classificação dos recursos naturais em: recursos renováveis e não renováveis.

Os recursos renováveis são meios naturais que tendem a ser constantes ou com vida longa, atendendo as necessidades humanas. Água doce, madeira e biomassa são alguns exemplos (OLIVEIRA; CAVALCANTE, 2017). Já os recursos não renováveis são os bens provenientes da natureza que não possuem a capacidade natural de regeneração, tratam-se de reservas limitadas, como os combustíveis fósseis e minerais terrestres (SATO, 2013). Dullely (2004) afirma que a utilização desses termos tem ocorrido de maneira mais constante, para referir-se a formas econômicas e racionais de utilizá-los.

Segundo HOMMA (1986) a ideia do esgotamento está associada a ambas as categorias de recursos quando o homem age como agente interessado na sua exploração, porém, diferentes estratégias de desenvolvimento adotadas pelos países, inclusive as baseadas na industrialização, promoveram de maneira intensiva o uso principalmente dos recursos não renováveis, contribuindo para a crise ambiental presente (SCARTOLIN; MISAEL, 2011). Devido a este fator, as fontes renováveis tem sido o foco de muitas pesquisas para implementação de técnicas produtivas que utilizem matérias primas alternativas.

É notável que os avanços tecnológicos impulsionaram aumentos significativos na produtividade mundial desde o amanhecer da Revolução Industrial (FERREIRA et al. 2020). Um dos maiores desafios que se impõe a sociedade atual, seria

desenvolver-se de forma mais sustentável. Segundo Magalhães e Vendramini (2018) apesar de seus efeitos negativos, as novas tecnologias podem contribuir para a redução do uso de recursos naturais, da geração de resíduos e do consumo de energia tornando o processo produtivo mais eficiente.

2.2. O setor da construção civil e seus impactos ambientais

A construção civil é uma das atividades mais antigas realizadas pelo homem, sendo também um instrumento essencial ao desenvolvimento da sociedade contemporânea (MARINHO, 2017). Considerada um dos maiores setores da economia mundial, a indústria da construção no Brasil compôs 18,3% do PIB industrial nacional (CNI, 2021). Conforme Furtado (2019) possui grande influência na composição da riqueza nacional e na geração de empregos. Todavia, o crescimento desse setor também gera grandes impactos ambientais.

Por ser uma atividade de transformação, a construção civil se caracteriza como um dos setores que mais consomem recursos naturais e geram grandes quantidades de resíduos (VALOTO; ANDRADE, 2011). Ocasionalmente causam prejuízos ao meio ambiente, visto que, exigem elevadas quantidades de energia, tanto na extração quanto no transporte e processamento dos insumos (ROTH; GARCIAS, 2009). Passuelo et al. (2014) afirmam que grande parte dos impactos no setor, estão relacionados à produção de materiais de construção. Visando minimizá-los, Kilbert (1994 citado por BRASILEIRO & MATOS 2015, p. 180) propôs os seguintes princípios:

- I. Minimizar o consumo de recursos: gastar mais tempo na fase de planejamento e projetos para otimizar a utilização de materiais e minimizar a produção de resíduos;
- II. Maximizar a reutilização de recursos: reutilizar componentes que ainda possam desempenhar a função para a qual foram produzidos, ou mesmo serem utilizados em outra função;
- III. Usar recursos renováveis e recicláveis: optar por materiais recicláveis ou cujas fontes de matéria-prima sejam renováveis;
- IV. Proteger o meio-ambiente: evitar o uso de materiais cuja extração de matéria-prima cause danos ambientais: aproveitar os recursos naturais para iluminação e ventilação, reusar águas servidas, etc.;
- V. Criar um ambiente saudável e não tóxico: evitar utilização de materiais que podem causar danos tanto ao meio ambiente quanto aos usuários;
- VI. Buscar a qualidade na criação do ambiente construído: projetar utilizando técnicas que permitam uma construção mais econômica, menos poluente.

Verificando os benefícios no mercado, as empresas estão sendo cada vez mais pressionadas pela sociedade quanto à adoção de medidas de proteção ao meio ambiente e de responsabilidade social (SANTOS; SOUSA, 2009). Segundo Benites e Pollo (2013), a qualidade não é o único diferencial, mas sim sua postura ética e sustentável. O aumento das pesquisas voltadas a produção de materiais construtivos alternativos, configura a busca pela sustentabilidade no setor.

2.3. Materiais construtivos

2.3.1. Compósitos cimento-fibras

Os materiais construtivos são os insumos destinados à indústria da construção civil. Podem ser simples ou compostos, obtidos diretamente da natureza ou resultado de trabalho industrial (OLIVEIRA, 2015). Duarte (2019) cita: areia, madeira e pedra como sendo insumos naturais; tijolos, telhas e aço como materiais artificiais; e cimento e argamassa, além dos compósitos, como elementos combinados.

Os materiais compósitos são resultantes da união de dois ou mais constituintes (MACEDO et al. 2011). De modo geral, possuem uma matriz e um reforço, que dependendo da combinação das diferentes matérias-primas, fornecem propriedades adequadas a inúmeras aplicações (PINTO, 2017).

A matriz de um material compósito deve garantir a proteção das fibras do meio envolvente e por danos no manuseio, além de distribuir e redistribuir o carregamento pelas fibras, em caso de ruptura (MOREIRA, 2009). Sendo geralmente, matrizes metálicas, cerâmicas, poliméricas e carbonadas. Já no reforço, são utilizados diferentes tipos de fibras que são responsáveis pela resistência do compósito e fornecendo reforços as matrizes (KERSTING, 2004).

Segundo Lima et al. (2011) a utilização de materiais compósitos na construção civil, como concretos e argamassas reforçados com fibras tem crescido consideravelmente nos últimos anos. Possuem diversas funcionalidades, tais como: revestimento de pisos, paredes e forros, construção de placas planas e corrugadas para elementos de cobertura, como também, de painéis divisórios (OLIVEIRA, 2017).

2.4. Fibras de Bananeira

O uso de fibras naturais de origem vegetal tem despertado o interesse de pesquisadores e recebido destaque, devido à variedade de plantas disponíveis (FLORINDO, 2017). São fontes renováveis, biodegradáveis e de baixo custo, representando uma alternativa sustentável para aplicação em compósitos (FERREIRA, 2017). Oriundas de órgãos vegetativos como raiz, caule e folhas, além de órgãos reprodutivos como flores e frutos (OLIVEIRA; POTIGUAR; LOBATO, 2006). Oliveira, Pacheco e Zeni (2013) afirmam que as fibras naturais mais usadas são as fibras de sisal, coco, curauá, bambu, pinus e bananeira.

A espécie *Musa* spp. (bananeira), pertencente à família Musaceae ocupa posições de destaque na produção de bens agrícolas de diversos países, principalmente aqueles cujo clima se caracteriza como tropical (BARBOSA et al. 2021). É a segunda frutífera mais produzida e a primeira mais consumida no Brasil (PAZ FILHO et al. 2021).

Na produção da banana, a fruta representa apenas 12% da planta e a bananeira não permanece para a colheita seguinte, o resultado é uma grande geração de resíduo formado pelas folhas, coração, engaço e pseudocaule (GONÇALVES, 2016). Segundo Souza et al. (2014) a cada tonelada de banana colhida são geradas aproximadamente quatro toneladas de resíduos, dos quais 75% são do pseudocaule, de onde pode ser extraída fibras consideradas de boa qualidade (COSTA, 2017). Santos, Suzart e Silva Júnior (2013) afirmam que se trata de um produto resistente, de baixo custo, e alta aplicabilidade na produção de materiais construtivos.

A partir do pseudocaule da bananeira é possível extrair três diferentes tipos de fibra, denominadas popularmente como: capa (camada externa), renda (camada intermediária) e seda (camada interna) (BIANCHINI et al. 2012). Segundo Bastos et al. (2010) a capa é ideal para trabalhos que exijam resistência do material; a renda é muito utilizada para ornamentação e a seda é mais indicada para acabamentos de peças.

Para Pereira et al. (2016) as fibras da parte externa do pseudocaule são elementares e possuem um alto conteúdo celulósico em comparação às fibras internas, que possuem alto conteúdo de extrativos e são mais estreitas. Desta forma, o uso de fibras vegetais provenientes da bananeira apresenta-se como alternativa na aplicação de compósitos, pois são abundantes e oriundas de um rejeito da cultura e podem substituir materiais de fontes não renováveis.

3. METODOLOGIA

O estudo foi conduzido durante o período de julho a setembro de 2022 no laboratório de Tecnologia da Madeira do Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas (CESIT/UEA).

3.1. Componentes do compósito cimentício

3.1.1. Cimento

Para a execução do experimento utilizou-se o cimento Portland da marca Mizu, tipo CP I-S 32, proveniente do distribuidor de cimento Polimix LTDA, cuja caracterização das propriedades químicas está apresentada na tabela 1. Trata-se de um cimento disponível no mercado e comercializado na região.

Tabela 1. Análise química do Cimento Portland Mizu CP I-S 32

Componente	Faixa de concentração (%)
Silicato tricálcico	20 – 70
Silicato dicálcico	10 – 60
Ferro-aluminato de cálcio	5 – 15
Sulfato de cálcio	2 – 10
Aluminato tricálcico	1 – 15
Carbonato de cálcio	0 – 5
Óxido de magnésio	0 – 4
Óxido de cálcio	0 - 0,02

Fonte: Mizu, 2022.

3.1.2. Areia

O agregado miúdo empregado trata-se de areia natural, adquirida em uma empresa de material de construção no município de Itacoatiara.

3.1.3. Água

A água utilizada nos ensaios é a fornecida pela rede de abastecimento municipal, que abastece o Centro de Estudos Superiores de Itacoatiara da Universidade do Estado do Amazonas.

3.1.4. Fibra de Bananeira

Utilizaram-se amostras do pseudocaule de bananeiras provenientes da comunidade Lago de Serpa, fornecidos por produtores que estavam renovando seu plantio. Cada um dos pseudocaulos foi lavado em água corrente e deles foram retiradas, de forma manual, as bainhas foliares e partir delas a camada externa denominada “capa” como sendo a fonte de fibra de bananeira, com espessura variando em torno de 3 cm e comprimento de 60 cm. (Figura 1-a e b).



Figura 1. Obtenção das fibras da bananeira: a – separação das bainhas foliares presentes no pseudocaule da bananeira; b - retirada da camada externa, “capa”.

Fonte: Sousa, 2022.

As fibras foram submetidas a um processo de secagem em estufa de laboratório, com temperatura regulada em $55^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, durante 72 horas (Figura 2). Posteriormente, foram trituradas em um triturador de galhos e resíduos orgânicos, modelo TR 200, marca TRAPP, em seguida, peneiradas, visando a homogeneidade das fibras (Figura 3 - a e b).



Figura 2. Secagem das fibras em estufa.
Fonte: Sousa, 2022.



Figura 3. Homogeneização das partículas: a – trituração em triturador de galhos e resíduos orgânicos; b – fibras após o processo de trituração e peneiramento.
Fonte: Sousa, 2022.

Um ensaio de teor de umidade foi realizado visando a determinação do teor de umidade das fibras no estado em que foram implementadas ao compósito. Para este ensaio, as fibras de bananeira foram moídas em um moinho de facas, tipo Wiley. Foram utilizadas duas amostras contendo aproximadamente 2,000g, estas permaneceram em estufa durante um período de 24 horas a 100 °C até atingirem massa constante. Logo após as

amostras foram pesadas em uma balança analítica. Assim foi possível calcular o Teor de umidade do material, conforme a equação 1.

$$TU(\%) = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

Em que:

TU é o teor de umidade, em porcentagem.

M_u é a massa das fibras à umidade corrente, em gramas

M_s é a massa das fibras secas em estufa, em gramas.

3.2. Preparação dos compósitos

Para produzir os corpos de prova, foram utilizados cimento Portland, areia e relação a/c (água/cimento), nas seguintes proporções mássicas, respectivamente: 1:3:0,5, além da adição de diferentes teores de fibra: 0%, 1% e 2%.

Tabela 1. Composição dos compósitos produzidos

Tratamentos	Teor de fibra (%)	Traço (em peso) Cimento:areia:água/cimento
T1 (controle)	0	1:3:0,5
T2	1	1:3:0,6
T3	2	1:3:0,6

Fonte: Sousa, 2022.

A relação água-cimento igual a 0,6 foi utilizada para garantir a homogeneidade dos compósitos, durante o processo da mistura, devido à presença das fibras e sua capacidade de absorção de água, já no caso do tratamento controle, a relação cimento-água foi igual a 0,5.

A mistura dos materiais constituintes do compósito ocorreu a partir do lançamento do traço de cimento, areia e parte da água em utilizando uma masseira

plástica (caixa para preparar massa) de 20L. Logo após as fibras eram introduzidas de forma gradativa e misturadas manualmente. Adicionado o total de fibra, o restante da água foi adicionado. (Figura 4 – a, b e c).



Figura 4. Preparação do compósito: a – mistura do cimento com a areia; b – adição gradativa das fibras; c – adição de água à mistura.
Fonte: Sousa, 2022.

3.4. Preparação dos corpos de prova

Para a realização dos ensaios físicos e mecânicos foram confeccionados 8 corpos de prova com dimensões de 4 x 4 x 16 cm, conforme NBR 13279, a partir de um molde de madeira (figura 4) para cada um dos tratamentos avaliados. As misturas dos compósitos avaliados foram colocadas em cada um dos compartimentos do molde, onde permaneceram durante o período de 24 horas. Depois deste período, foram desmoldadas e armazenadas em local coberto à temperatura ambiente para o processo de cura, que corresponde a 28 dias.

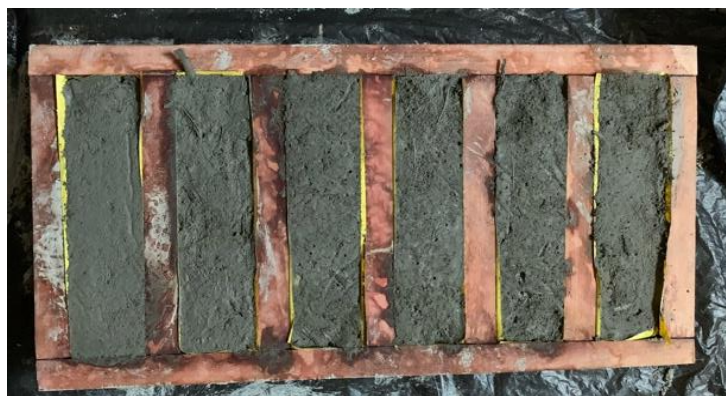


Figura 5. moldagem do compósito cimentício
Fonte: Sousa, 2022.

3.5. Avaliação das propriedades físicas

3.5.1. Densidade aparente



Figura 6. Ensaio de densidade aparente
Fonte: Sousa, 2022.

O ensaio de densidade no estado endurecido foi realizado e acordo com as prescrições da NBR 13278 (ABNT, 2005). Os corpos de prova foram pesados para a determinação da massa (M), expressa em gramas. O volume (V) de cada amostra era obtido pelo produto entre as suas três dimensões (largura x altura x comprimento), e expresso em centímetros cúbicos. Sendo a densidade (D), calculada conforme a equação 2.

$$D = \frac{M}{V} \text{ (g.cm}^{-3}\text{)} \quad \text{Equação 2}$$

Em que:

D é a densidade, em gramas por centímetros cúbicos.

M é a massa do corpo de prova, em gramas.

V é o volume, em centímetros cúbicos.

3.5.2. Absorção de água



Figura 7. Ensaio de absorção de água
Fonte: Sousa, 2022.

O ensaio de absorção de água foi realizado baseando-se na NBR 9778 (2009), com adaptações. Inicialmente as amostras eram secadas em estufa à temperatura de $(105 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C})$, durante um período de 24 horas, até massa constante, registrando-se a massa seca da amostra (M_s). Em seguida, os corpos de prova eram imersos em água por um período de 72 horas, após o que eram secados superficialmente e pesados novamente. Por fim, a massa saturada secada superficialmente era registrada (M_{Sat}).

$$A = \frac{M_{\text{sat}} - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

Em que:

A é a absorção de água, em porcentagem;

M_{sat} é a massa da amostra saturada, após o período de 72h imersa em água, em gramas;

M_s é a massa da amostra seca em estufa, em gramas.

3.6. Avaliação das propriedades mecânicas dos compósitos



Figura 8. Ensaio de resistência mecânica.
Fonte: Sousa, 2022.

3.6.1. Resistência à tração na flexão

Este ensaio foi realizado com base na norma 13279/2005, no laboratório de resistência de materiais do Instituto Federal do Amazonas (IFAM). Foi utilizada uma máquina universal de ensaios, da marca Conteco, com capacidade máxima de 60 toneladas (figura 6), manuseada com o auxílio de um técnico de laboratório especializado.

A resistência à tração na flexão foi calculada conforme a equação:

$$R_1 = \frac{1,5 \cdot F_1 \cdot l}{40^3} \quad \text{Equação 4}$$

Em que:

R_1 é a resistência à tração na flexão, em megapascal;

F_1 é o valor da carga aplicada verticalmente no centro do corpo de prova no momento da ruptura, em newtons;

l é a distância entre os apoios, em milímetros.



Figura 9. Ensaio de resistência à tração na flexão.
Fonte: Sousa, 2022.

3.6.2. Resistência à compressão



Figura 10. Ensaio de resistência à compressão.
Fonte: Sousa, 2022.

Para o ensaio de resistência à compressão os testes foram realizados baseados na norma 13279/2005, onde também se utilizou a máquina universal de ensaios, da marca Conteco, com capacidade máxima de 60 toneladas (figura 6). Para o cálculo do valor da resistência utilizou-se a equação 5.

$$R_c = \frac{F_c}{1600}$$

Equação 5

Em que:

R_c é a resistência do corpo de prova à compressão, em megapascal;

F_c é a carga aplicada no momento da ruptura, em newtons.

3.7 Análise dos resultados

Para a análise estatística dos dados foi utilizado o programa estatístico RStudio. Inicialmente, foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e aos testes de Shapiro-Wilk e Bartlett para a verificação dos pressupostos de normalidade e homogeneidade das variâncias, ao nível de 95% de probabilidade. Posteriormente, na presença de efeito significativo aplicou-se o teste de Tukey para comparação das médias, também ao nível de 95% de probabilidade.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Teor de umidade

O teor de umidade médio encontrado para a fibra de bananeira foi de 7,24% em massa. Deve-se destacar que esse valor foi obtido após a realização da secagem em estufa a $55^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ por 72 horas. Para Fermoselli (2003) a determinação do teor de umidade das fibras, a temperatura e o tempo necessário para eliminá-lo é importante para o processamento dos compósitos, pois a presença de umidade não favorece a interação interfacial das fibras com a matriz.

Segundo Santos et al. (2017) uma secagem apropriada é essencial visto que a qualidade da fibra depende do teor de umidade reduzido. Bittencourt (2002) afirma que no processo de secagem de fibras da capa do pseudocaule da bananeira, a secagem ao ar não é suficiente para prevenir o aparecimento de fungos, sendo necessário então a secagem artificial em estufa.

Rocha et al. (2011) em seu estudo acerca do aproveitamento de fibras de curauá (*Ananas erectifolius* L. Merrill) e de abacaxi (*Ananas comosus* L. Merrill) para a construção sustentável, realizou a secagem em estufa a 60°C , até atingir o teor de umidade de aproximadamente 6%. Magalhães, Castro e Vanalli (2018) procederam a secagem artificial a 105°C , até peso constante ao avaliarem o potencial da capa do palmito da pupunha (*Bactris gasipaes*) como reforço em compósitos cimentícios.

4.2. Densidade aparente e absorção de água

Verificou-se que para os resultados de densidade aparente, o aumento da porcentagem de adição das fibras ajudou na redução da densidade dos compósitos, variando de 1,6 a 2,0 g/l. Resultado de acordo com o encontrado por Anjos, Ghavami e Barbosa (2003) utilizando fibras de bambu como reforço em compósitos cimentícios, constataram que a densidade aparente diminuiu com o aumento do teor de fibras.

Conforme observado, os corpos de prova produzidos com adição da fibra obtiveram laterais mais quebradiças e menos homogêneas que o material referência. Almeida et al. (2010) verificou em seu estudo que a maior densidade aparente resultou em uma matriz com menor quantidade de defeitos e mais compacta.

A densidade aparente pode ser afetada pelos poros e espaços vazios existentes nas fibras vegetais, além disso, a grande quantidade de poros permeáveis nas fibras pode ocasionar uma elevada absorção de água (GUIMARÃES, 2013). Silva (2002) constatou em seu estudo que ocorreu uma redução na densidade e aumento na absorção em compósitos reforçados com fibras celulósicas, devido principalmente a presença de poros.

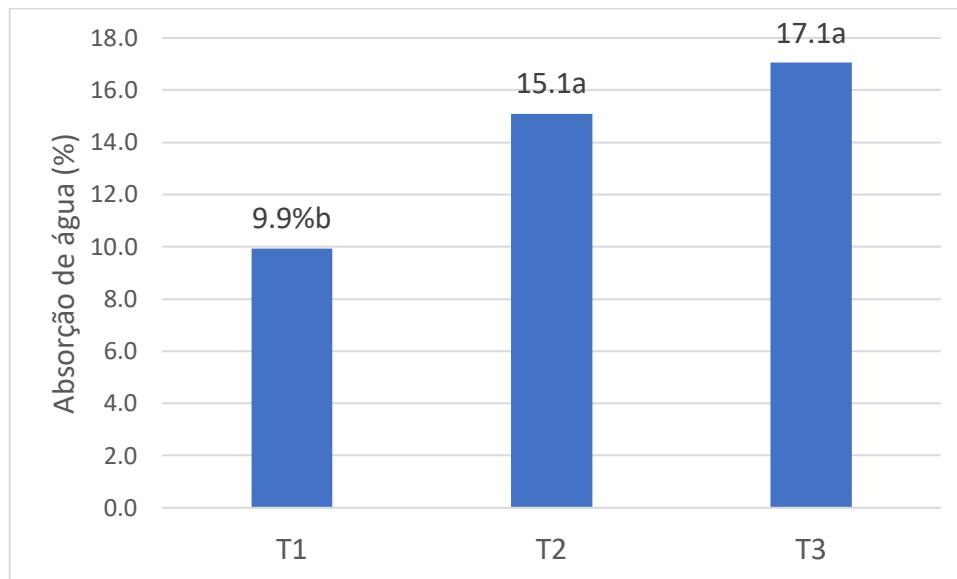


Figura 11. Resultados do ensaio de absorção de água, sendo T1: 0%, T2: 1% e T3: 2% de fibra.
Fonte: Sousa, 2022.

Os resultados mostram que o aumento da porcentagem de reforço ocasionou um aumento na absorção de água, variando de 9,9 a 17,1% (figura 11). Resultado de acordo com o encontrado por Paiva et al. (2015) ao analisar o efeito das fibras de buriti como reforço de argamassas de cimento Portland, observou que o aumento do teor de fibras em massa ocasionou uma maior absorção de água nos compósitos.

Segundo Santos (2017) a absorção de água afeta negativamente o desempenho dos compósitos reforçados com fibras vegetais. Tal aumento pode resultar no inchamento das fibras, influenciando na iniciação de trincas na matriz ou enfraquecimento das interações da interface fibra-matriz (AYRES; OLIVEIRA; NÓBREGA, 2013).

Silva (2014) afirma que a principal desvantagem através do uso das fibras vegetais está relacionada à natureza polar e hidrofílica, ou seja, absorvem umidade com facilidade. Aziz et al. (2005) ressalta que a umidade age não apenas como

plastificante, mas enfraquece a interface fibra/matriz, causando fraca adesão, o que pode levar a tensões internas e falha prematura do sistema. Vale ressaltar que o material em que as fibras foram adicionadas possuía coloração mais escura, mesmo após o período de cura de 28 dias a seco, quando comparado ao material referência, portanto, a cura pode ter sido afetada pelo excesso de umidade do material

4.4. Resistência à tração na flexão e à compressão

O uso da fibra vegetal proveniente da capa de bananeira interferiu significativamente na resistência mecânica dos compósitos cimentícios. A análise da figura 7, permite observar que os teores de 1% e 2% de fibra reduziram os valores de resistência à tração, quando comparadas à condição sem a adição de fibras.

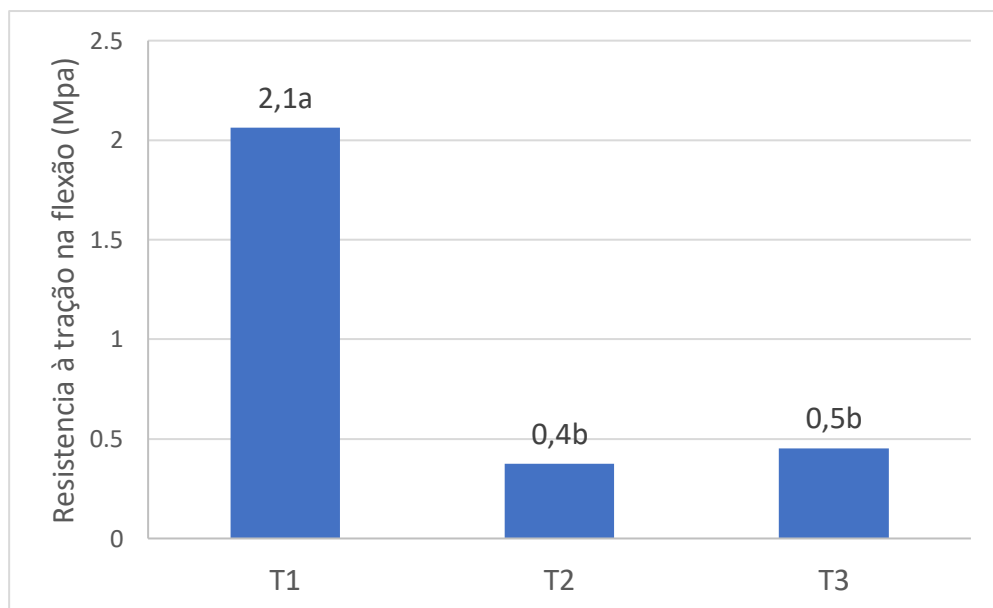


Figura 12. Resultados do ensaio de resistência à tração na flexão, sendo T1: 0%, T2: 1% e T3: 2% de fibra.

Fonte: Sousa, 2022.

Magalhães, Castro e Vanalli (2022) estudaram a incorporação de 2% de fibra proveniente da capa da pupunha em compósitos cimentícios, observando que houve uma redução na resistência à tração em 21%, com a aplicação da fibra. Resultado contrário ao encontrado por Lima (2019) onde observou que a adição de 2% de fibra de bambu (*Bambusa vulgaris*), aumentou a resistência à tração na flexão em 42%, quando comparado à referência.



Figura 13. a – compósito com 2% de adição de fibras, com característica dúctil; b – compósito sem adição de fibras com ruptura brusca.

Fonte: Sousa, 2022.

Vale ressaltar que após o ensaio de resistência à tração na flexão, foi observada uma característica em ambos os compósitos produzidos com a introdução de fibras, que apresentaram comportamento aparentemente dúctil com aumento da tensão, após o surgimento da primeira fissura, conforme a figura 13. Para Castoldi (2018) esse comportamento é denominado “pseudo-dúctil”, visto que, apresentam certa presença de capacidade portante, pós-fissuração, proporcionado pelas fibras.

Segundo Silva et al. (2019) em um material incorporado com fibras, a fratura total da peça é retardada, tornando o material quase dúctil se comparado ao mesmo sem a adição das fibras, que sofre uma ruptura brusca. Ao incorporar fibras na mistura, mesmo que em baixos teores, os compósitos já passam a apresentar certa ductilidade, resultando em um comportamento “pseudo-dúctil” (FIGUEIREDO, 2011). Turatsinze et al. (2005) afirmam que isto ocorre, pois, as fibras promovem a transferência de tensão através das fissuras, atuando como pontes, ou seja, proporcionam continuidade até que ocorra o deslizamento ou arrancamento total.

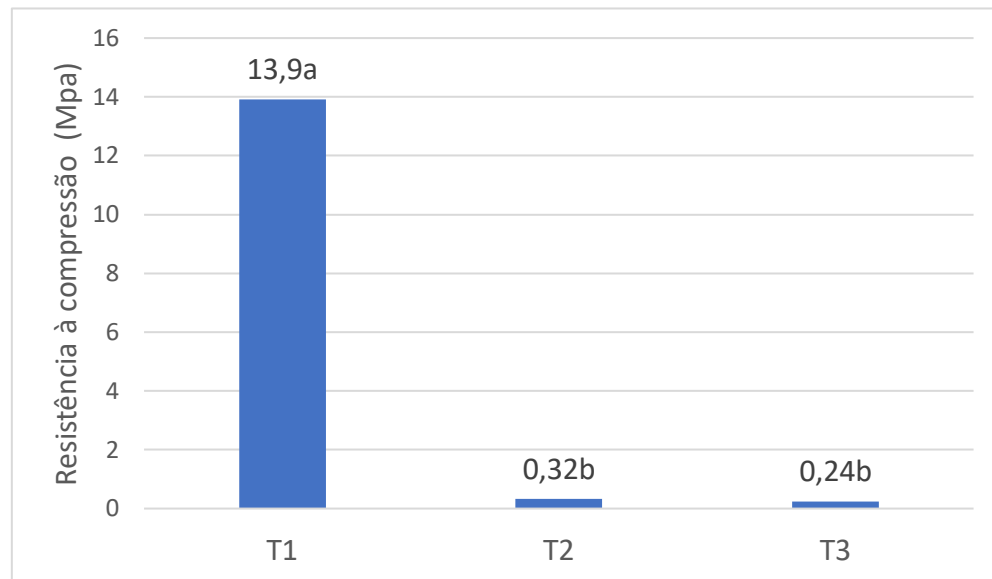


Figura 14. Resultados do ensaio de resistência à compressão, sendo T1: 0%, T2: 1% e T3: 2% de fibra.

Fonte: Sousa, 2022.

A resistência à compressão também foi influenciada negativamente pela incorporação de fibras ao compósito. Na figura 14, é possível observar que os teores de 1% e 2% influenciaram grande diferença significativa, quando comparada ao tratamento controle.

Macioski et al. (2015) verificaram que a incorporação de fibras de curauá ao compósito aumentou a resistência à tração, porém, obtiveram queda nos resultados de resistência à compressão. Para a Lima (2004) a adição de fibras naturais em matrizes cimentícias pode diminuir a resistência à compressão, tal característica pode estar atribuída à eventual aglomeração de fibras e consequente formação de novelos. Santos, Fontes e Lima (2017) relatam que a utilização de fibras curtas randomicamente distribuídas nas matrizes à base de cimento, frequentemente reduzem a sua resistência à compressão.

Savastano Júnior e Pimentel (2000) ao avaliarem a viabilidade de diferentes fibras para obtenção de materiais de construção, observaram que os compósitos com a adição de 2% de fibra, provenientes de: banana, coco, piaçava, algodão, malva e rami, obtiveram valores de resistência reduzidos, tanto à tração como à compressão, quando comparados ao compósito sem fibras.

De modo geral, as fibras vegetais quando empregadas em matrizes cimentícias podem apresentar algumas desvantagens, devido as matrizes possuírem natureza hidrofóbica, o que dificulta a adesão fibra/matriz, como também as tornam

quebradiças (SILVA, 2016). Lima (2016) ressalta que as fibras vegetais possuem uma alta capacidade de absorver água, o que limita sua utilização, pois a absorção de moléculas de água compromete sua integridade estrutural. Segundo Melo Filho (2012) a introdução de fibras vegetais em meios alcalinos como o de matrizes cimentícias podem reduzir sua resistência, visto que, estão sujeitas à degradação.

Visando aumentar sua durabilidade dentro da matriz cimentícia, as fibras são normalmente submetidas a diversos tratamentos como: lavagem em água quente, ciclos de hornificação e proteção através de óleos e resinas, dentre outros (FONSECA, 2021). Para Silva, Marques e Fornari (2012) é necessário que ocorra a proteção das fibras com agentes bloqueadores de decomposição e a impregnação das fibras com agentes repelentes à água.

Barra (2014) observou em seu estudo que os compósitos reforçados fibras de sisal tratadas obtiveram maior resistência nos ensaios mecânicos quando comparadas àquelas sem tratamento. Segundo Fonseca (2021) o tratamento com óleos, ceras, resinas e parafinas reduzem a absorção de água (devido a ação repelente) e mantém a resistência à tração da fibra.

É possível que parte da água necessária para a hidratação dos compostos de cimento tenha sido absorvida pelas fibras, reduzindo a resistência mecânica dos compósitos. Portanto, a aplicação de tratamentos químicos pode auxiliar na remoção de impurezas e modificação química da superfície da fibra, reduzindo a sua capacidade de absorção de água e conseqüentemente melhorando aderência fibra-matriz (DANTAS, 2019).

Flores, Stello e Marangon (2017) afirmam que os resultados de resistência à tração e à compressão possuem extrema importância, visto que, caracterizam o comportamento mecânico do material, auxiliando no desenvolvimento de projetos que permitam seu uso da maneira mais eficiente possível. Estudos voltados ao comportamento de compósitos cimentícios reforçados com fibra vegetal, possuem extrema relevância na inovação tecnológica, devido a sua grande aplicação na indústria da construção civil (FICHER; EICHHOLZ; MARANGON, 2017).

Sendo assim, avaliar o desempenho dos compósitos reforçados com fibra de bananeira, com relação às propriedades físicas e mecânicas, é de vasto interesse, visto que, o conhecimento sobre esses materiais alternativos, auxilia no adequado aproveitamento na construção civil.

5. CONCLUSÕES

A adição de 1% e 2% de fibra de bananeira, conduziram:

- À diminuição os valores numéricos da densidade aparente nos compósitos avaliados;
- Ao aumento na absorção de água;
- À redução da resistência mecânica em ambos os ensaios: tração na flexão e compressão.

É possível que a alta capacidade de absorção de água das fibras tenha reduzido a resistência mecânica dos compósitos. Portanto, deve-se incluir uma análise criteriosa quanto ao teor de umidade das fibras, além de um tratamento prévio das fibras, visando reduzir a absorção de água e melhorar a aderência entre o reforço e a matriz de cimento

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13278: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Teor de ar incorporado e densidade de massa. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13279: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos - Determinação da resistência à tração na flexão e à compressão. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 9778: Argamassa e concreto endurecidos determinação da absorção de água, índice de vazios e massa específica. Rio de Janeiro, 2009.

ARAÚJO, D. C.; MORAIS, C. R. S.; ALTIDES, M. E. D. Avaliação mecânica e físico-química entre telhas convencionais e alternativas usadas em habitações populares. **Revista Eletrônica de Materiais e Processos**, v.3, n. 2, 2008.

ALMEIDA, A. E. F. S.; TONOLI, G. H. D.; SANTOS, S. F.; SAVASTANO JÚNIOR, H. Carbonatação acelerada efetuada nas primeiras idades em compósitos cimentícios reforçados com polpas celulósicas. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 4, 2010.

ANJOS, M. A. S.; GHAVAMI, K.; BARBOSA, N. Compósitos à base de cimento reforçados com polpa celulósica de bambu. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, 2003.

AYRES, A. L. S.; OLIVEIRA, C. L. M.; NÓBREGA, M. M. S. Avaliação das propriedades mecânicas em impacto de compósitos poliméricos, reforçados com fibras de sisal e nanopartículas. IV Encontro Universitário da UFC no Cariri, **Anais Eletrônicos**, 2013.

AZIZ, S. H., ANSELL, M. P., CLARKE, S. J., PANTENY, S. R. Resinas de poliéster modificadas para compósitos de fibra natural. **Science and Technology**. v. 65, n. 3, 2005.

BAPTISTA, V. F. A relação entre o consumo e a escassez dos recursos naturais: uma abordagem histórica. **Revista Saúde e Ambiente**, Duque de Caxias, n.1, 2010.

BARBOSA JÚNIOR, T. P. **Estudo comparativo quanto à resistência ao impacto de telhas onduladas de fibrocimento e telhas onduladas de fibra vegetal**. 2021. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Curso Superior em Engenharia Civil, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2021.

BARRA, B. N. **Funcionalização de fibras vegetais com plasma frio de metano para desenvolvimento de novos produtos em fibrocimento**. 2014. 100 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos, 2014.

BENITES, L. L. L.; POLLO, E. F. A sustentabilidade como ferramenta estratégica empresarial: a governança corporativa e aplicação do Triple Bottom Line na Masisa. **Anais.** São Paulo: FEA/USP, 2013. Disponível em: <https://repositorio.usp.br/item/002318610>. Acesso em: 02/04/2022.

BIANCHINI, A.; OLEGÁRIO, J. E. S.; OBENAU, L. S.; SILVA, L. M. B.; BAUMGARTEN, V. H.; MAIA, J. V. Caracterização da fibra de bananeira Caturra (*Musa cavendish*) extraída de diferentes pontos do pseudocaule.

BITTENCOURT, E.. **Processamento e caracterização de compósitos lignocelulósica partir de resíduo de madeira partícula e fibras vegetais.** 2002. 159 f. Dissertação (mestrado em Engenharia de Materiais) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

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

CASTOLDI, R. S. **Propriedades mecânicas e durabilidade de concretos reforçados com fibras de polipropileno e sisal.** 2018. 147 f. Dissertação (mestrado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2018.

CNI. Perfil da indústria nos Estados. Disponível em: <https://perfildaindustria.portaldaindustria.com.br/estado/al>. Acesso em: 16/03/2022.

COSTA, L. F. da. **Utilização Análise do uso das fibras do pseudocaule da bananeira em misturas asfálticas SMA.** 2017. 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2017.

DANTAS, C. L. D. R. **Tratamento hidrotérmico em fibras de sisal e sua influência no comportamento de compósitos cimentícios.** 2019. 89 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Feira de Santana, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Feira de Santana, 2019.

DUARTE, G. M.; SANTOS, N. C. S. **Aproveitamento de resíduos da produção de pedras decorativas em argamassas de revestimentos.** 2019. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Universidade Evangelista, Anápolis, 2019.

DULLEY, R. D. Noção de natureza, ambiente, meio ambiente, recursos ambientais recursos naturais. **Agrícola São Paulo**, v. 51, n. 2, 2004.

ELLENBERGER, A.; BELINI, U. L.; BRESSIANI, I.; KEINERT, A. C. Utilização de fibras do pseudocaule da bananeira. **Revista Científica Rural**, v. 22, n. 1, 2020.

FERMOSELLI, K. K. G.; SPINACEA, M. A. S.; LAMBERT, C. S.; PAOLI, M. A. Tratamento superficial de fibras de curuá para reforço de compósitos com polímeros. In: Congresso Brasileiro de polímeros. **Anais eletrônicos**. 2003.

FERREIRA, E. J. M.; FINATTO, C. P.; NEIVA, S. S.; GUERRA, J. S. O. A. As contribuições da quarta revolução industrial para ecoinovações: uma revisão bibliométrica. **Revista Gestão e Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, 2020.

FICHER, I. M.; EICHHOLZ, E.; MARANGON, E. Estudo do comportamento à tração direta de compósitos cimentícios reforçados com fibra de juta. In: anais do 9º salão internacional de ensino, pesouisa e extensão – SIEPE. **Anais Eletrônicos**. 2017.

FIGUEIREDO, A. D. **Concreto reforçado com fibras**. 2011. 256 f. Tese (Doutorado) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

FLORES, J. M.; STELLO, C. C.; MARANGON, E. Estudo da resistência à tração de corpos de prova de concreto armado. In: anais do 9º salão internacional de ensino, pesouisa e extensão – SIEPE. **Anais Eletrônicos**. 2017.

FLORINDO, D. N. F. **Obtenção de compósitos poliméricos com fibras naturais de bagaço de malte**. 2017. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Química) - Curso Superior em Engenharia Química, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

FONSECA, R. P. **Influência de diferentes tipos de fibras vegetais amazônicas no desempenho de uma argamassa a base de cimento Portland e Metacaulim**. 2021. 177f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2021.

FRANÇA, M. V.; MEDEIROS, R. M.; HOLANDA, R. M.; SILVA, V. P.; FERRAZ, J. X. V.; SOBRAL, D. M. Aptidão climática para o cultivo da banana em Caruaru-PE, Brasil. **Journal of Environmental Analysis and Progress**, v. 3, n. 3, 2018.

FURTADO, S. C.; ARAÚJO, G. L. **Determinantes do crescimento do setor de construção civil no Brasil: uma análise de 2000 a 2014**. 2017. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário UNIFACIG, Manhuaçu-MG, 2019.

GONÇALVES, L. M. N. **Preparação e caracterização de celulose a partir do pseudocaule da bananeira por hidrólise ácida**. 2016. 56 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Graduação em Engenharia de Materiais da Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2016

GUIMARÃES, E. A. **Efeito da adição de fibras da palma do licuri (*Syagrus coronata*) no comportamento físico e mecânico de compósitos de matriz cimentícia**. 2013. 132 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Natal, 2013.

GRAZINA, C.; REIS, C.; PALMA, R.; MARTINS, S.; PEREIRA, P. Esgotamento dos recursos naturais renováveis. **Educação e matemática**, n. 56, 1999.

HENRIQUES, J. D. O.; RAMBALDUCCI, R. G.; PIN, T. C.; FHECHIANI, V. V.; PUGET, F. P. Produção de telha de fibrocimento sem amianto. **Enciclopédia Biosfera**, v. 10, n. 19, 2014.

HERMANN, A.; ROCHA, J. P. A. **Pesquisa de viabilidade da utilização da argamassa estabilizada modificada para revestimento sem a necessidade de aplicação do chapisco**. 2013. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

HOMMA, A. K. O. A incerteza na dimensão real dos recursos naturais como fator de depredação. **Boletim FBCN**, v. 21, 1986.

KERSTING, D. F. **Avaliação de resinas epóxi para fabricação de materiais compósitos pelo processo de pultrusão**. 2004. 117 f. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, 2004.

KILBERT, C. J. Princípios de Construção Sustentável. In: Conferência Internacional sobre Construção Sustentável, 1994, Tampa, FL. **Anais eletrônicos**. Tampa, 1994.

LIMA, A. G. T. **Caracterização do isolamento acústico de polímeros reciclados adicionados de fibras de bambu utilizando análise do coeficiente de absorção sonora em tubos de impedância**, 2016. 84 f. Dissertação (Mestrado) -, Universidade Federal do Ceará, Program de Pós-Graduação em Engenharia de Materiais, Fortaleza, 2016

LIMA, B. S.; LENZ, D.M.; VERNEY, J. C. K.; PEREIRA, F. M. 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. 3, n. 1, 2011.

LIMA, L. M. **Produção e caracterização de compósitos cimentícios reforçados com fibras de bambu (*Bambusa vulgaris*)**. 2019. 123 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Amazonas, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Manaus, 2019.

LIMA, P. R. L. **Análise teórica e experimental de compósitos reforçados com fibras de sisal**. 2004. 146 f. Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de Feira de Santana,, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Rio de Janeiro, 2004.

MACEDO, M. C.; SOUZA, L. G. M; GOMES, I. R. B. MEDEIROS, L. C. Materiais compósitos à base de gesso e isopor para construção de casas populares. **Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal**, 2011.

MACIOSKI, G.; MARTINS, L. A.; MUELLER, T.; MATOSKI, A. Avaliação das propriedades de argamassas com adição de fibra curuá (*Ananas erectifolius*). **Revista Engenharia e Construção civil**, v. 3, n. 2, 2015.

MAGALHÃES, R.; VENDRAMINI, A. Os impactos da quarta revolução industrial. **GVExecutivo**, v. 17, n. 1, 2018.

MAGALHÃES, W. L. E.; CASTRO, A. O.; VANALLI, L. Compósitos cimentícios reforçados com fibras da capa do palmito pupunha. **Embrapa Florestas**, 2022.

MARINHO, J. L. A. **A parceria público-privada nas relações com os resíduos da construção civil: desafios contemporâneos fundamentados na solidariedade para a concretização de um direito fundamental ao meio ambiente equilibrado**. 2017. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Programa de Pós-Graduação em Direito, Santa Cruz do Sul, 2017.

MELO FILHO, J. A. **Durabilidade química e térmica e comportamento mecânico de compósitos de alto desempenho reforçados com fibra de sisal**. 2012. 184 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

MESQUITA, G. M.; MEDEIROS, M. D. A certificação leed como uma ferramenta norteadora da sustentabilidade na construção civil. **Revista Eletrônica de Educação da Faculdade Araguaia**, v. 13, n.1, 2018.

MIRANDA, F. S. M. P. A mudança do paradigma econômico, a revolução industrial e a positivação do direito do trabalho. **Revista eletrônica direito, justiça e cidadania**, v. 3, n. 1, 2012.

MOREIRA, A. M. Materiais compósitos. **Instituto politécnico de tomar escola superior de tecnologia de tomar**, 2009.

OLIVEIRA, G. R.; PACHECO, T. S. K.; ZENI, A. M. G. Seletividade a gases de membranas de poli (ácido láctico) reforçadas com fibra de bananeira. **Revista Iberoam**, v. 14, n. 4, 2013.

OLIVEIRA, J.; POTIGUARA, R. C. V.; LOBATO, L. C. B. Fibras vegetais utilizadas na pesca artesanal na microrregião do Salgado, Pará. **Boletim Museu Paraense Emílio Goeldi**, v. 1, n. 2, 2006.

OLIVEIRA, M. M.; CAVALCANTE, Y. R. S. **Análise de viabilidade econômica em uma unidade residencial utilizando recursos renováveis**. 2017. 60 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário CESMAC, Maceió-AL, 2017.

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

OLIVEIRA, T. Y. M. **Estudo sobre o uso de materiais de construção alternativos que otimizam a sustentabilidade em edificações**. 2015. 81 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015.

PAIVA, A. E. M.; SOUSA, P. A.; POLITI, F. S.; SILVA, K. R. C. Efeito da fibra de buriti nas propriedades físicas de argamassas de cimento portland. *Revista Tecnológica*, v. 25, n. 1, 2015.

PASSUELO, A. C. B.; OLIVEIRA, A. F.; COSTA, E. B.; KIRCHHEIM, A. P. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida na análise de impactos ambientais de materiais de construção inovadores: estudo de caso da pegada de carbono de **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 14, n. 4, 2014.

PAZ FILHO, E. R.; SOARES, H. M.; DIAS, L. R. C.; MOURA FILHO, G.; ROCHA, F. S.; MUNIZ, M. F. S. Extratos aquosos de *Azadirachta indica* e de *Annona* spp. no controle de nematoides da bananeira. **Diversitas Journal**, v. 6, n. 3, 2021.

PICANÇO, M. S.; GHAVAMI, K. Comportamento à compressão de argamassas reforçadas com fibras vegetais da Amazônia. **Revista Escola de Minas**, Ouro Preto, v. 61, n. 1, 2008.

PINTO, K. N. C. **Reciclagem de resíduos de materiais compósitos de matriz polimérica: poliéster insaturado reforçado com fibras de vidro**. 2017. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade de Santa Cruz do Sul, Programa de Pós-Graduação em Direito, Santa Cruz do Sul, 2017.

ROCHA, J. S.; PONTES, C. L. F.; CÂMARA, V. M. O.; RAMOS, K. B. L.; BESSA, T. M. F. Aproveitamento de fibras vegetais para a construção sustentável. **Inclusão Social**, v. 6, n. 2, 2013.

ROTH, C. G.; GARCIAS, C. M. Construção civil e a degradação ambiental. **Revista Desenvolvimento em Questão**, v. 7, n. 13, 2009.

SANTOS, A. C. V.; SOUZA, R. M. A construção civil em Aracaju. **Revista FAE**, Curitiba, v. 12, n. 1, 2009.

SANTOS, D. G. **Estudo termo-hídrico e caracterização mecânica de compósitos de matriz polimérica reforçados com fibra vegetal: simulação 3d e experimentação**. 2017. 172 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Processos, Campina Grande, 2017.

SANTOS, R. D.; FERREIRA, S. R.; OLIVEIRA, G. E.; FERNANDES, E.; SILVA, F. A.; TOLEDO, R. D. In: Congresso Brasileiro do Concreto. **Anais eletrônico**. 2017.

SANTOS, D. O. J.; FONTES, C. M. A.; LIMA, P. R. L. Uso de agregado miúdo reciclado em matrizes cimentícias para compósitos reforçados com fibras de sisal. **Revista matéria**, v. 22, n. 1, 2017.

SANTOS, W. P. C.; SUZART, V. P.; SILVA JÚNIOR, N. F. Tendências tecnológicas para o processo de preparação de compósito à base de solo-cimento e fibra de bananeira para fabricação de tijolos e tecnologias correlatas através da pesquisa em

documentos de patentes. **Prospecções Tecnológicas de Assuntos Específicos**, v. 6, n. 1, 2013.

SATO, S. A. S. **Desenvolvimento sustentável para a base da pirâmide (BOP) baseado em recursos naturais renováveis amazônicos (PFNMS): o caso reca.** 2013. 81 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Administração, Programa de Pós-Graduação em Administração, Porto Alegre, 2013.

SAVASTANO JÚNIOR, H. **Materiais a base de cimento reforçados com fibra vegetal: reciclagem de resíduos para a construção de baixo custo.** 2000. 152 f. Tese (Livre Docência em Materiais e Componentes de Construção) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

SAVASTANO JÚNIOR, H.; PIMENTEL, L. L. Viabilidade do aproveitamento de resíduos de fibras vegetais para fins de obtenção de material de construção. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, v. 4, n. 1, 2000.

SCARTOLIN, F. D.; MISAEL, M. C. Uma nova estratégia de desenvolvimento sustentável: alguns pontos para o debate. **Economia e Tecnologia**, v. 26, 2011.

SILVA, A. C. **Estudo da durabilidade de compósitos reforçados com fibras de celulose.** 2002. 145 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil, São Paulo, 2002.

SILVA, C. J. **Absorção de Água em Materiais Compósitos de Fibra Vegetal: Modelagem e Simulação via CFX.** 2014. 114 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2014.

SILVA, E.; MARQUES, M.; FORNARI, C. Aplicação de fibra de coco em matrizes cimentícias. **Revista eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v. 8, n. 8, 2012.

SILVA, I. B. **Caracterização físico-mecânica das fibras da folha de Carnaúba da região do vale do Açu-RN.** 2011. 109 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Programa de Pós-Graduação em Processamento de Materiais, Natal, 2016.

SILVA, V. A.; COSTA JÚNIOR, R. F.; VIANNA, A. S. L.; BARTKO, N.; RODRIGUES JÚNIOR, A. S.; GOMES, G. J. C. Análise do comportamento de estruturas de concreto com fibra de polipropileno sob flexão. **Revista Teccen**, v. 12, n. 2, 2019.

SILVA, V. B.; CRISPIM, J. Q. Um breve relato sobre a questão ambiental. **Revista Geomae**, Campo Mourão, v. 2, n. 1, 2011.

SOUZA, E. L.; LIEBL, G. F.; MANGARONI, C.; SELLIN, N. MONTAGNOLI, S. M.; SOUZA, O. Bioetanol de pseudocaule de bananeira fresco e seco. **Revista Chemical Engineering**, v. 38, 2014.

TURATSINZE A.; GRANJU, J. L.; SABATHIER, V.; FARHAT, H. Durabilidade de sobreposições cimentícias coladas: efeito do reforço de fibras metálicas. **Estrutura Mater**, v. 38, 2005.

VALOTO, F. M.; ANDRADE, B. S. Construção civil e o ensino de práticas sustentáveis em prol do meio ambiente. In: Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, 2011, Blumenau, SC. **Anais eletrônicos**. Blumenau: Abenge, 2011.