



FIBRAS DE AÇAÍ (*Euterpe oleracea* Mart.) EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS: PROPRIEDADES MECÂNICAS DE TRAÇÃO E FLEXÃO

Monteiro, M. V. F.¹; Fernandes, J. F.¹; Sousa, A. P. S.²; Lima, H. B. S.²; Estumano, D.
C.²; Rodrigues, E. C.³; Costa, D. S.¹

¹Universidade Federal do Pará - *Campus* Ananindeua, FEMAT/UFPA.

²Universidade Federal do Pará - *Campus* Belém, PPGEQ/ UFPA.

³Universidade Federal do Pará - *Campus* Belém, FEQ/ UFPA.

Rua Augusto Corrêa, 01 - Guamá. CEP: 66075-110; Belém, Pará - Brasil.

¹E-mail: manoeiviniciuz@gmail.com

RESUMO

O açaí é reconhecido pelo seu impacto econômico positivo na Amazônia. Entretanto, com o elevado consumo, surge uma problemática relacionada ao descarte inadequado dos caroços, que possuem potencial para diferentes aplicações. Nesse contexto, fibras de açaí foram utilizadas para produção de compósitos de matriz polimérica, posteriormente, analisados quanto à resistência mecânica de tração e flexão. Para isso, os caroços de açaí foram adquiridos de um comércio em Belém-PA; as fibras foram manualmente extraídas e submetidas a análise morfológica e de densidade. Para os compósitos, utilizou-se o método hand lay up, a resina poliéster ortoftálica como matriz e as fibras nas frações mássicas de 1%, 2% e 3% como reforço. Os corpos de prova foram ensaiados quanto à tração (ASTM D638) e flexão (ASTM D790). Observou-se que as fibras possuem baixa densidade, morfologia superficial rugosa e irregular, atuando como carga de enchimento nos compósitos, quando submetidos a esforços mecânicos de tração e flexão.

Palavras-chave: Fibras naturais, Resina poliéster, Sustentabilidade.

INTRODUÇÃO

O açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) é uma fruta originária da Amazônia, classificada como uma “superfruta” devido às suas diversas propriedades funcionais. Essa fruta é mais concentrada nos estados do Pará, Amapá e Maranhão (1), sendo o Pará o principal produtor, responsável por mais de 90% da produção nacional (2).

À vista disso, o açaí pode ser aproveitado integralmente: da palmeira se extrai o palmito; da semente, obtém-se farinha para uso alimentar e na construção civil; e do fruto, a polpa, que pode ser utilizada na produção de licor, geléia e doces. Apesar dos benefícios da polpa para a saúde, o descarte inadequado do caroço, apresentado na Figura 1 (4), pode gerar problemas ambientais devido à sua grande quantidade, além da falta de reconhecimento do potencial desse resíduo (3).

Figura 1 – Descarte irregular dos caroços de açaí.



A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) define resíduos sólidos como material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, e estabelece que a gestão integrada de resíduos sólidos consiste em um conjunto de ações voltadas para a busca de soluções para os resíduos sob a premissa do desenvolvimento sustentável, além de destacar processos de alteração dos resíduos sólidos, envolvendo mudanças em suas propriedades físico-químicas e biológicas para transformá-los em insumos e novos produtos (5). Nesse contexto, a busca por novos materiais sustentáveis tem se tornado cada vez mais frequente na pesquisa tecnológica e na engenharia.

Compósitos são materiais formados por duas fases distintas: a fase matriz e a fase dispersa. A fase matriz proporciona aderência e flexibilidade, enquanto a fase dispersa, geralmente um reforço, melhora as propriedades do material por meio da ação combinada. Nos compósitos de matriz polimérica, a fase matriz transfere

esforços mecânicos à fase dispersa, melhorando as propriedades mecânicas do compósito (6).

A importância das fibras naturais como reforços para produtos poliméricos tem aumentado significativamente devido ao alto custo das fibras sintéticas e à crescente demanda por materiais de baixo custo provenientes de fontes renováveis (7). As fibras de açaí possuem grande potencial para uso em compósitos de matriz polimérica devido à sua boa estabilidade térmica e disponibilidade (8). Portanto, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a fibra do açaí e analisar seu desempenho mecânico em compósitos poliméricos por meio de ensaios de tração e flexão.

MATERIAIS E MÉTODOS

A extração da fibra e a fabricação dos compósitos foram realizadas nos Laboratórios de Engenharia Química - LEQ da Universidade Federal do Pará - UFPA.

Utilizou-se a resina poliéster ortoftálica insaturada, um polímero termofixo, em conjunto com o iniciador de cura BUTANOX M-50 (MEK-P), na proporção de 1% (v/v), para a fase matriz. A fibra do açaí, utilizada na confecção dos compósitos, foi coletada em um comércio local na Região Metropolitana de Belém-PA (RMB). A Figura 2 apresenta a resina e o ativador utilizados (a) e a fibra desfiada (b).

Figura 2 – Principais materiais do processo de fabricação.



Fonte: Autores, 2024.

Determinação da massa específica da fibra (MEA)

A determinação da massa específica da fibra foi obtida por meio de ensaios de picnometria, onde, a água é usada como não solvente e a fibra é imersa observando-se o volume que é deslocado; sendo o valores obtidos por meio da Equação 1, onde: DS = massa específica do sólido, A_1 = massa do picnômetro, A_2 =

massa do picnômetro + massa da amostra, A_3 = massa do picnômetro + massa da amostra + massa de água e A_4 = massa do picnômetro + massa de água.

$$DS (g/cm^3) = \frac{A_1 - A_2}{(A_4 + A_2) - (A_1 - A_3)} \quad (1)$$

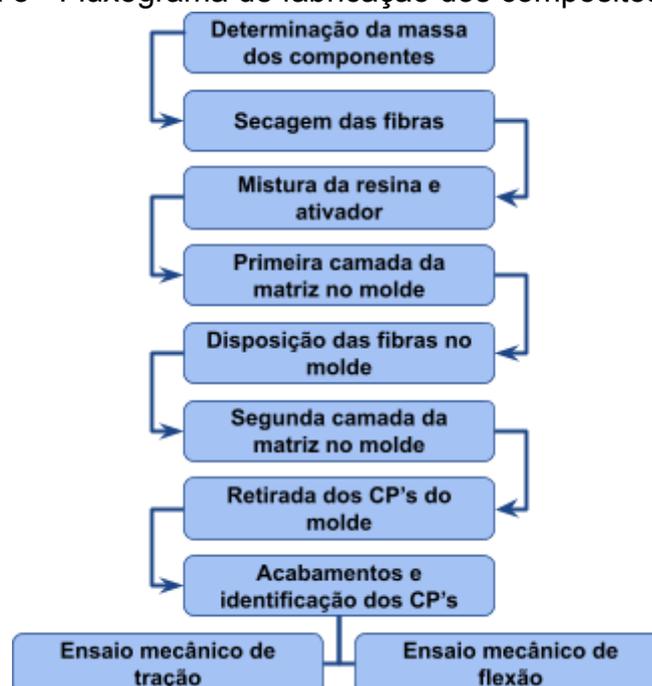
Caracterização morfológica da fibra

A análise de caracterização morfológica da fibra foi realizada em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV), modelo TESCAN MIRA3, no Laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura (LME), no conjunto de Laboratórios Institucionais do Museu Paraense Emílio Goeldi.

Processo de fabricação dos compósitos

A fabricação ocorreu de maneira manual pelo método *hand lay-up* e foram estabelecidas as frações mássicas de 1%, 2% e 3% de fibras; as etapas do processo de fabricação, como: secagem das fibras por 20 minutos a, aproximadamente, 100° C, a mistura da resina com o iniciador por cerca de 1 minuto e disposição das fibras no molde de maneira uniforme, além de outros processos especificados na Figura 3.

Figura 3 - Fluxograma de fabricação dos compósitos.



Fonte: Autores, 2024.

Ensaio de tração dos compósitos

O ensaio de tração foi conduzido conforme os padrões estabelecidos pela norma (9). Oito corpos de prova foram fabricados para cada composição, sendo o ensaio realizado em uma máquina universal de ensaios da marca Kratos, modelo KE-3000 MP, equipada com uma célula de carga de 5 kN e uma velocidade de 5 mm/min.

Ensaio de flexão dos compósitos

O ensaio de flexão foi conduzido no Laboratório de Caracterização de Materiais da Universidade Federal do Pará (Campus Ananindeua), seguindo a norma (10). O equipamento utilizado para a realização do ensaio é da marca INTERMETRIC, modelo iM50. A velocidade de ensaio foi de 2 mm/min e configurada com uma célula de carga de 5 kN.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

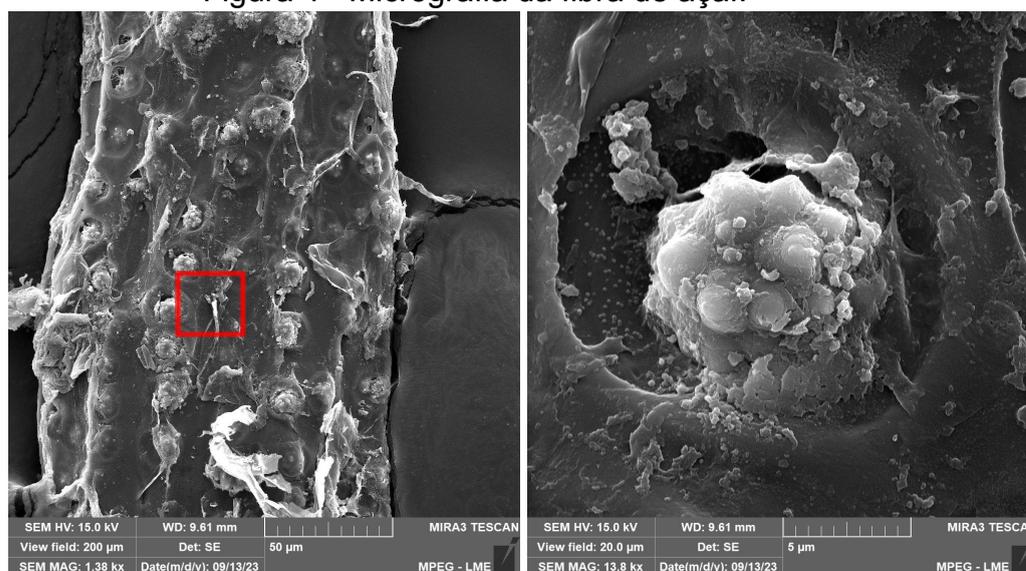
Massa específica da fibra (MEA)

O valor da MEA da fibra de açai, calculado por meio da Equação 1, foi de $1,109 \text{ g/cm}^3$, onde o mesmo está de acordo com outras literaturas (11,12) que apresentam valores de massa específica semelhantes, sendo, $1,362 \text{ g/cm}^3$ e $1,400 \text{ g/cm}^3$, respectivamente.

Análise morfológica da fibra

Na caracterização morfológica da fibra por meio de microscopia eletrônica de varredura, apresentada na Figura 4, foi observada a presença de círculos com saliência interna em relevo, destacado em vermelho, ao longo da superfície da fibra.

Figura 4 - Micrografia da fibra de açai.

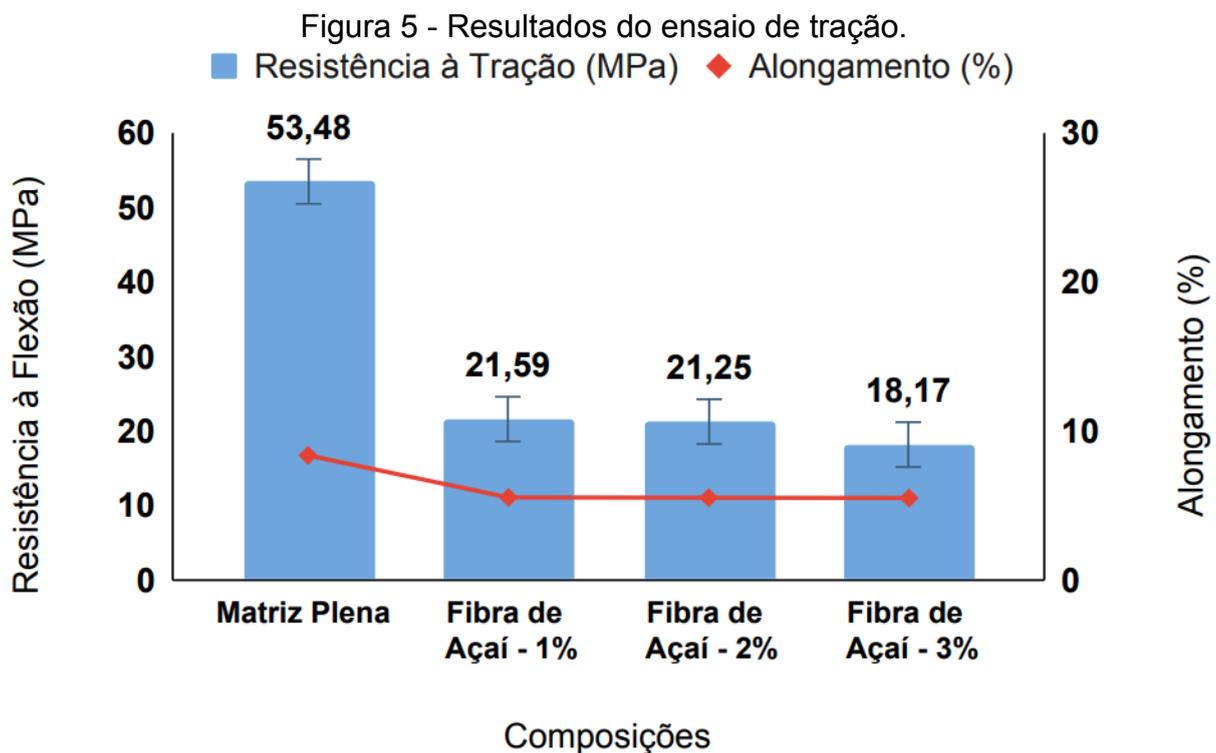


Fonte: Autores, 2024.

De acordo com a literatura (13), pode-se observar por meio do MEV que as fibras do caroço do açaí não possuem superfície homogênea ou lisa e são recobertas com células do parênquima. Observa-se também que possuem forma irregular, não podendo ser classificadas como esféricas ou elípticas.

Análise do ensaio de tração dos compósitos

Os valores médios do ensaio de tração, que atendeu a norma (8), para a Matriz Plena (MP) e com as diferentes porcentagens de fibras de açaí, sendo elas: 1%, 2% e 3%, são apresentados na Figura 5 e, para fins de comparação, na Tabela 1.



Fonte: Autores, 2024.

Os resultados de resistência à tração obtidos nos compósitos poliméricos reforçados com fibra de açaí foram inferiores aos da matriz plena, sugerindo que a fibra atuou como carga de enchimento na matriz polimérica, ao invés de servir como reforço. Isso pode ser atribuído a dificuldades na homogeneização, impregnação e compactação na interface entre matriz e reforço, além de um possível aumento na porosidade do compósito, o que compromete sua resistência à tração (14).

Observou-se uma diminuição gradual na resistência à tração à medida que se aumentou a fração mássica de fibras inseridas no compósito, levantando-se a hipótese de saturação da matriz. Levando em consideração o desvio padrão, as resistências alcançadas pelos compósitos foram lineares, assim como o alongamento alcançado pelos mesmos. Entretanto, destaca-se, o compósito com 1% de fibra de açaí que alcançou o maior valor de resistência, com 21,59 MPa. Uma comparação de resultados de tração obtidos com diferentes compósitos fibrosos de mesma matriz polimérica está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Comparativo do resultado de tração com outras literaturas.

Composições	Resistência à Tração (MPa)	Fonte
Fibra de Açaí - 1%	21,59 ± 3,30	Este trabalho
Fibra da Coroa do Abacaxi - 1%	18,86 ± 3,59	(15)
Fibra de Sisal- 5%	15,85 ± 2,12	(16)
Fibra de Coco - 5%	8,40 ± 0,14	(17)

Fonte: Autores, 2024.

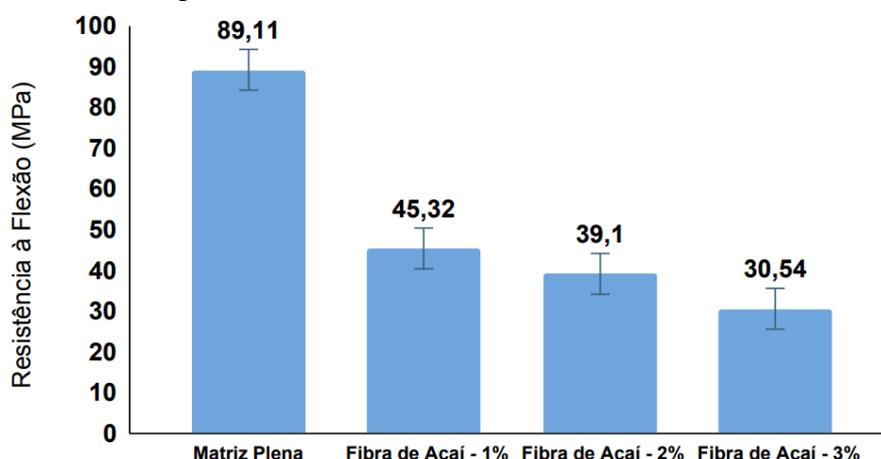
O desempenho do compósito contendo 1% de fibra de açaí foi superior a outras literaturas, demonstrando potencial significativo. Ao comparar diferentes frações mássicas de fibras vegetais, observou-se um aumento superior a 26% na resistência à tração em relação ao compósito com 5% de fibra de sisal. Esse resultado pode estar relacionado a variáveis como: formação de feixes de fibras durante a extração e a qualidade da interface matriz/reforço, que podem influenciar nas propriedades mecânicas e no desempenho estrutural dos compósitos (18).

Ao comparar o compósito contendo 1% de fibra de açaí com o compósito contendo 5% de fibras de coco, é importante notar que uma maior quantidade de fibras não necessariamente resulta em um melhor desempenho. Além disso, destaca-se que apesar da fibra de coco ter passado por um tratamento químico com hidróxido de sódio (NaOH), que tem o intuito de aumentar a resistência mecânica, o compósito com essa fibra não conseguiu superar a resistência à tração do compósito com fibra de açaí.

Análise do ensaio de flexão dos compósitos

Os valores médios do ensaio de flexão, que atendeu a norma (9), são apresentados na Figura 6 e, para fins de comparação, na Tabela 2.

Figura 6 - Resultados do ensaio de flexão.



Composições

Fonte: Autores, 2024.

Na Figura 6, é possível avaliar que a resistência à flexão apresenta comportamento decrescente dos compósitos em relação à matriz poliéster. Dessa forma, as fibras atuaram apenas como carga de enchimento, este comportamento pode estar associado à má distribuição de fibras na matriz, baixa adesão ou a presença de vazios no material (19). Entretanto, do ponto de vista sustentável, o uso da fibra de açaí em compósitos destaca-se por serem renováveis e biodegradáveis, o que contribui para a sustentabilidade ambiental dos produtos em que são incorporadas, além de serem uma opção mais econômica em comparação a outros reforços sintéticos (20). Uma comparação dos resultados de flexão obtidos em compósitos poliméricos, de mesma matriz, com diferentes proporções de fibras vegetais está presente na Tabela 2.

Tabela 2 - Comparativo do resultado de flexão com outras literaturas.

Composições	Resistência à Flexão (MPa)	Fonte
Fibra de açaí - 1%	45,32 ± 2,08	Este trabalho
Fibra de bambu - 5%	35,93 ± 5,04	(21)
Fibra da coroa do abacaxi - 1%	30,42 ± 2,86	(15)
Fibra de palha da costa - 5%	19,12 ± 0,02	(22)

Fonte: Autores, 2024.

De acordo com a Tabela 2 pode-se notar que a depender da fibra incorporada, a interação com a matriz proporcionou comportamentos distintos no ensaio de flexão.

A resistência à flexão dos compósitos com fibras de açaí apresentou-se superior às demais composições, destacando o ganho de mais de 55% em relação ao compósito com fibra de palha da costa; dessa forma, esse resultado pode estar relacionado aos parâmetros de fabricação de cada compósito, além da presença de excesso de poros que podem diminuir a resistência mecânica (23).

CONCLUSÃO

Em conclusão, a massa específica da fibra de açaí se mostrou, de acordo com as encontradas na literatura; a morfologia da fibra apontou uma superfície predominantemente rugosa.

Os ensaios de tração e flexão realizados nos compósitos demonstraram que, embora a incorporação das fibras de açaí tenham diminuído a resistência mecânica, atuando como carga de enchimento, o compósito com 1% de fibra de açaí apresentou desempenho superior em comparação com outros compósitos de fibras vegetais. Este resultado sugere que a quantidade de fibra e a qualidade da interface entre matriz e reforço são fatores importantes para otimizar as propriedades mecânicas dos compósitos.

Além disso, as fibras vegetais, como o açaí, oferecem vantagens sustentáveis e econômicas, tornando-se uma opção viável para aplicações onde a sustentabilidade é uma prioridade.

REFERÊNCIAS

- (1) HOMMA AKO. **Sistema de produção do açaí**. Embrapa Amazônia Oriental. Belém, 2022.
- (2) CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Açaí (fruto)**: Análise mensal, março 2019. Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2019. Disponível em: <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-acai/download>. Acesso em: 24 jul 2019.
- (3) ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G. Inovações em pesquisas agrárias e ambientais-Volume I. 2023. **Editora Pantanal**. Disponível em: <https://editorapantanal.com.br/ebooks/2023/inovacoes-em-pesquisas-agrarias-e-ambientais-volume-i/ebook.pdf>
- (4) VIDIGAL, V. **Metade das batedeiras de açaí em Macapá e Santana fazem descarte incorreto do caroço**. 2022. Portal G1, Macapá, 24, ago, 2024. Disponível em: <https://g1.globo.com/ap/amapa/natureza/amazonia/noticia/metade-das-batedeiras-de-acai-em-macapá-e-santana-fazem-descarte-incorreto-do-caroco-diz-pesquisador.html>
- (5) BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Presidência da República, Departamento da Casa Civil. Brasília: DOU, 2010.
- (6) TAJ, S.; MUNAWAR, M.A.; KHAN, S. "Cotton reinforced polymer composites. Tribology Of Natural Fiber Polymer Composites". **Pakistan Academy of Science**, [S.L.], p. 129-161, 2008.
- (7) MARCONCINI, J. M.; ITO, E. N.; PESSOA, J. D. C.; RIOS, C. T.; MATTOSO, L. H. C.; HAGE JUNIOR, E. Caracterização de Compósitos de Poliolefinas Recicladas com Fibras de Açaí. In: **Documentos 36**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2008. p. 1-15. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/31741/caracterizacao-de-compositos-de-poliolefinas-recicladas-com-fibras-de-acai>. Acesso em: 31 jul. 2024.
- (8) **ASTM D638** - Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics. ASTM Standards, 2014.
- (9) **ASTM D 790** – "Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2017.
- (10) MARTINS, M. A.; PESSOA, J. D. C.; GONÇALVES, P. S.; SOUZA, F. I. Thermal and mechanical properties of the açaí fiber/natural rubber composites. **Journal of materials science**, v.43, p. 6531-6538, 2008. DOI.org/10.1007/s10853-008-2842-4.

- (11) MESQUITA, A. L. **Estudos de processos de extração e caracterização de fibras do fruto do açaí (euterpe oleracea mart.) da Amazônia para produção de ecopanel de partículas homogêneas de média densidade.** 2013. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia) – Universidade Federal do Pará, Belém/PA, 2013.
- (12) QUIRINO, M. G. **Estudo de matriz polimérica produzida com resina natural e fibra da semente de açaí (Euterpe precatória).** 2010. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC) Universidade Federal do Amazonas. Manaus/AM, 2010.
- (13) LIMA JR, U. M. **Fibras da semente do açaizeiro (euterpe oleracea mart.): avaliação quanto ao uso como reforço de compósitos fibrocimentícios.** 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais) - Pontifícia Universidade Católica Do Rio Grande Do Sul, Porto Alegre, 2007.
- (14) COSTA, D. S. **Estudo da influência de resíduos gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais.** 229p. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais - PRODERNA), Universidade Federal do Pará, Belém-PA, 2016.
- (15) PAMPOLHA, I. C.. **Fibras da coroa do abacaxi em compósitos de matriz ortoftálica: caracterizações físicas e mecânicas.** 2024. Trabalho de Conclusão de Curso Tese (Bacharel em Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2024.
- (16) BARBOSA, K. S. L. Efeito da adição do resíduo de mármore e granito com fibras de sisal nas propriedades de compósitos poliméricos. **Brazilian Journal Of Development**, [S.I.], v. 6, n. 2, p. 7653-7667, 17 fev. 2020.
- (17) WEARN, Y. N.; MONTAGNA, L. S.; PASSADOR, F. R. Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes. **Matéria (Rio de Janeiro)**, v. 25, p. e-12548, 2020.
- (18) WEARN, Y. N., MONTAGNA, L. S., PASSADOR, F. R. Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes. **Revista Matéria**, 2021.
- (19) JOSEPH P.V. **Composites Science and Technology**, 62, pp. 1357–1372, 2002.
- (20) TAVARES, R. N.; AQUINO, E. M.. F. **Controle da moldagem a vácuo melhora a qualidade das peças de plásticos reforçado.** Plástico Industrial. Vol 04, 2009.
- (21) OLIVEIRA, S. M. S. **Estudo do reaproveitamento da casca do coco verde na cidade de Salvador: alternativas sustentáveis.** 2018.
- (22) LIMA, H. B. S. **Avaliação da resistência à chamas de compósitos poliéster isoftálico insaturado com resíduo de lama vermelha e fibra de bambu.** 2022.

Trabalho de Conclusão de Curso Tese (Bacharel em Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2022.

(23) TAVARES, A. R. Dias. **Caracterização mecânica e morfológica de compositos com fibras de vidro e palha da costa (*Raphia Taedigera* Mart).** 2018. Trabalho de Conclusão de Curso Tese (Bacharel em Engenharia de Materiais), Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2018.

TITLE

AÇAÍ FIBERS (*Euterpe oleracea* Mart.) IN POLYMER COMPOSITES: TENSILE AND FLEXURAL MECHANICAL PROPERTIES

ABSTRACT

Açaí is recognized for its positive economic impact in the Amazon region. However, with its high consumption, a problem has emerged related to the improper disposal of the seeds, which have potential for various applications. In this context, açaí fibers were used to produce polymer matrix composites, which were then analyzed for their tensile and flexural mechanical strength. For this purpose, açaí seeds were obtained from a market in Belém, Pará, and the fibers were manually extracted and subjected to morphological and density analysis. For the composites, the hand lay-up method was used, with orthophthalic polyester resin and a curing initiator as the matrix, and fibers in mass fractions of 1%, 2%, and 3%. The specimens were tested for tensile strength (ASTM D638) and flexural strength (ASTM D790). It was observed that the fibers have low density, their surface morphology is rough and irregular, and they acted as a filler material when subjected to mechanical stress.

Keywords: Natural Fibers, Polyester Resin, Sustainability.