



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
BACHARELADO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MAICON CÍCERO FERREIRA TAVARES

**INFLUÊNCIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE CAULIM E FIBRAS DE BAMBU
(BAMBUSA VULGARIS) NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE FLEXÃO
EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS**

ANANINDEUA-PA 2024

MAICON CÍCERO FERREIRA TAVARES

**INFLUÊNCIA DE RESÍDUOS SÓLIDOS DE CAULIM E FIBRAS DE BAMBU
(BAMBUSA VULGARIS) NAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DE FLEXÃO
EM COMPÓSITOS POLIMÉRICOS**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Ciência e Tecnologia com ênfase em tecnologia mecânica, pela Universidade Federal do Pará, Campus Universitário de Ananindeua.

Orientadora: Prof^ª. Ma. Franciele Gomes Ferreira

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a)
autor(a)

F383i Ferreira Tavares, Maicon Cícero.
Influência de resíduos sólidos de caulim e fibras de
bambu (*bambusa vulgaris*) nas propriedades mecânicas de
flexão em compósitos poliméricos / Maicon Cícero Ferreira
Tavares. — 2024.
15 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^a. MSc. Franciele Gomes Ferreira
Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade
Federal do Pará, Campus Universitário de Ananindeua,
Curso de Ciência e Tecnologia, Ananindeua, 2024.

1. Compósitos poliméricos. 2. caulim. 3. fibras de
bambu. 4. flexão. 5. sustentabilidade.. I. Título.

CDD 620.1

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela sabedoria divina que me guiou e pela força que me manteve firme até este momento.

À minha mãe, Francisca, expresso minha eterna gratidão. Sem seu amor incondicional, apoio e crença em meu potencial, nada disso faria sentido. Sua dedicação, investimento e insistência em meu futuro foram os alicerces que me permitiram chegar aqui. Ela é a representação máxima da educação e dos valores que carrego, e por isso, meu reconhecimento a ela é infinito.

À minha tia Petinha, por sempre acreditar em mim e me encorajar a persistir, mesmo nos momentos mais desafiadores. Seu incentivo foi fundamental para que eu não desistisse.

Ao meu pai e a todos os membros da família Tavares, bem como à família Ferreira, pelo apoio constante. Juntos, rompemos a barreira da ausência de formação em universidade pública, e hoje tenho a honra de ser o primeiro a concluir um curso na maior e melhor universidade do Norte do país – a Universidade Federal do Pará (UFPA). Esta conquista não é apenas minha, mas de todos que caminharam comigo.

À UFPA, agradeço pela oportunidade de ingressar no ensino público e vivenciar uma educação superior de qualidade, que transformou minha visão de mundo.

À Faculdade de Ciência e Tecnologia, em especial ao corpo técnico e docente, pelo conhecimento compartilhado e pela estrutura que possibilitou meu crescimento acadêmico.

À minha orientadora, Professora Ma. Franciele Gomes Ferreira, pela paciência, dedicação e orientação minuciosa durante a elaboração do meu Trabalho de Conclusão de Curso. Seu comprometimento foi essencial para o êxito desta jornada.

Por fim, aos meus amigos, que estiveram ao meu lado nos momentos de alegria e nas adversidades: Fagner Sales dos Santos, Thalya Thaina Junqueira Montes, Vitória Beatriz da Silva Wanzeler, Mellani Vitória de Farias Juca e Thamires Amanda Gavinho Baia. Suas presenças iluminaram minha trajetória, e sou imensamente grato por cada incentivo e sorriso compartilhado.

RESUMO

Este estudo propõe a produção de compósitos poliméricos híbridos utilizando resíduos de caulim e fibras curtas de bambu (*Bambusa vulgaris*) tratadas alcalinamente, visando a sustentabilidade ambiental. Foram realizados ensaios de flexão conforme a norma ASTM D790-10, obtendo-se resistência máxima de 108,81 MPa para compósitos com 30% de caulim e 3% de fibras de bambu. A análise por microscopia eletrônica de varredura (MEV) identificou mecanismos de falha como vazios na matriz e "pull-out" das fibras. Concluiu-se que a técnica é viável para aplicações industriais, com potencial de reutilização de resíduos e melhoria das propriedades mecânicas.

Palavras-chave: Compósitos poliméricos, caulim, fibras de bambu, flexão, sustentabilidade.

ABSTRACT

This study proposes the production of hybrid polymer composites using kaolin waste and alkali-treated short bamboo fibers (*Bambusa vulgaris*), aiming at environmental sustainability. Flexural tests were conducted according to ASTM D790-10, achieving a maximum strength of 108.81 MPa for composites with 30% kaolin and 3% bamboo fibers. Scanning electron microscopy (SEM) analysis identified failure mechanisms such as matrix voids and fiber pull-out. The technique proved viable for industrial applications, with potential for waste reuse and improved mechanical properties.

Keywords: Polymer composites, kaolin, bamboo fibers, flexural strength, sustainability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Resíduo de caulim e fibras de bambu.....	12
Figura 2 – Etapas de produção dos compósitos	12
Figura 3 – Esquemático das dimensões para ensaios de flexão	12
Figura 4 – Microscópio Eletrônico de Varredura da UFPA.....	13
Figura 5 – Comportamento da tensão de flexão	13
Figura 6 – Imagens obtidas pelo MEV (a) RCA30%FB3% e (b) RCA10%FB3%..	14

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Resultados de resistência a flexão.....	13
--	-----------

LISTA DE SIGLAS

ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
MEV	Microscópio Eletrônico de Varredura
NaOH	Hidróxido de Sódio
RCA	Resíduo de Caulim
FB	Fibras de Bambu

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	11
3	MATERIAIS E METODOLOGIA.....	11
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	13
4.1	Limite de Resistência à Flexão.....	13
4.2	Microscopia Eletrônica de Varredura.....	14
5	CONCLUSÃO.....	14
6	AGRADECIMENTOS.....	14
7	REFERÊNCIAS.....	14
8	DIREITOS AUTORAIS.....	14



Influência de Resíduos Sólidos de Caulim e Fibras de Bambu (*Bambusa Vulgaris*) nas Propriedades Mecânicas de Flexão em Compósitos Poliméricos

Alessandro José Gomes dos Santos, Fagner Sales dos Santos, Mellani Vitória de Farias Jucá, Daivison de Tarcio Pinheiro Moraes, Maicon Cícero Ferreira Tavares, Deibson da Silva Costa, José Antônio da Silva Souza

Laboratório de Engenharia Química – LEQ/UFPA, e-mail: ajgs@ufpa.br

Palavras-chave

Compósitos Poliméricos, Caulim, Fibras de Bambu, Flexão, Sustentabilidade.

1. INTRODUÇÃO

Diversos setores industriais têm buscado mitigar os impactos ambientais decorrentes dos processos produtivos, bem como do uso dos produtos fabricados e seu descarte.

Dentre estes setores, o automotivo, frequentemente enfatizado como vilão em efeitos como o aquecimento global, tem se destacado na busca de alternativas ambientalmente viáveis (RODRIGUES, 2014).

2. OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivos:

- Produção de compósitos poliméricos híbridos com a inserção de resíduos industriais de caulim e fibras curtas de bambu;
- Utilizar a norma para elaboração e análise dos ensaios mecânicos de flexão dos corpos de prova produzidos;
- Analisar os mecanismos de falha predominantes na fratura através do MEV.

3. MATERIAIS E METODOLOGIA

Para a realização deste trabalho foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Moinho de Bolas;
- Agitador de Peneiras;
- Peneira manual 100 MESH - Fabricante Tyler;
- Estufa - Fabricante DE LEO Equipamentos Laboratoriais;
- Balança analítica – Fabricante URANO RASIL;
- Prensa hidráulica (capacidade de 15 ton.) – Fabricante MARCON, modelo MPH-15;
- Serra de bancada – Laboratório de Engenharia Química;
- Máquina de ensaio universal – Fabricante KRATOS.

Já os materiais sintéticos necessários para a composição da matriz polimérica foram fornecidos pela empresa Aerojet Brasileira de Fiberglass: A Resina Poliéster Isoftálica (Resina AM 910 AEROJET), de média reatividade, amarelada, não acelerada (ausência de promotor de reticulação), baixa viscosidade, boa resistência química; O acelerador de Cobalto (Promotor de Reticulação) utilizado no presente trabalho foi o produto comercial denominado CAT MET UMEDECIDO 1,5 % (Solução de Octoato de cobalto 1,5 %); O catalisador o produto comercial BUTANOX M-50 marca de AEROJET (Peróxido de metil etil cetona [MEK-P]). Na tabela XX são apresentadas as características da Resina AM 910.

As matérias primas utilizadas foram o resíduo de caulim, fornecidos pela empresa Imerys Rio Capim Caulim. Já as fibras de bambu foram extraídas no Campus profissional da Universidade Federal do Pará (UFPA). Conforme mostrados na figura seguir.

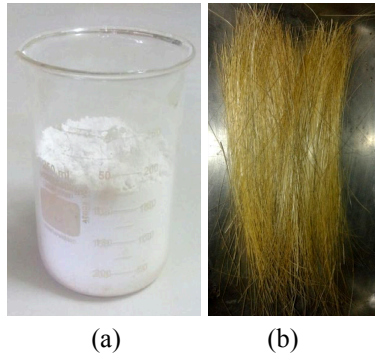


Figura 1: (a) resíduo de caulim e (b) fibras de bambu

As fibras de bambu após serem extraídas dos colmos e cortadas no tamanho de 15 mm, foram colocadas em recipientes plásticos com solução alcalina de hidróxido de sódio – NaOH, com concentração de 5 % v/v, para uma proporção de 1:20 de grama de fibra para volume de solução, ficaram durante o período de 2 h, após o período a solução foi drenada e as fibras foram lavadas com água destiladas para retirar o excesso de NaOH, e colocadas para secarem na estufa a 60 °C.

Na Figura 2 é demonstrado um fluxograma de todo o processo de confecção dos compósitos.

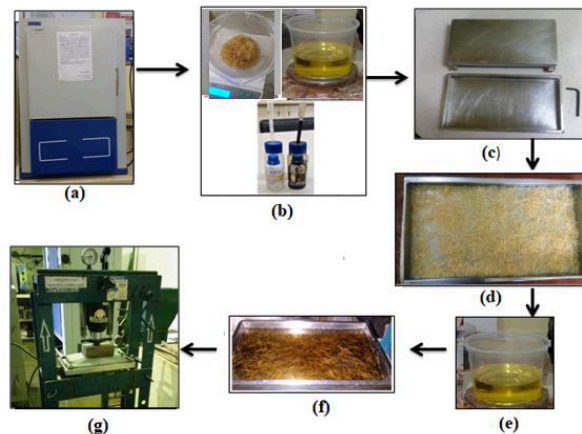


Figura 2 - Etapas de produção dos compósitos.

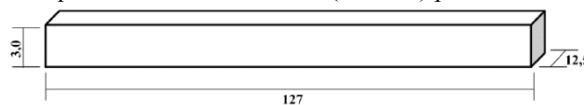
Para a caracterização mecânica por meio de flexão, onde o módulo de elasticidade é definido igualmente ao ensaio de tração, ou seja, a razão entre a tensão e a deformação, dentro do regime elástico. A norma ASTM D790-10 descreve o ensaio de flexão para materiais plásticos reforçados e não reforçados.

Com base nas curvas carga-deslocamento e conhecendo as dimensões dos corpos de prova é possível determinar a resistência do compósito a flexão (σ) e o módulo de elasticidade na flexão (E). Conforme descrito na equação a seguir.

$$\sigma = \frac{3PL}{2BW^2} \quad (1)$$

Para este ensaio são estabelecidos 3 (três) pontos dos materiais em estudo de acordo com a norma ASTM D790-10, com as dimensões dos corpos de prova de acordo como mostra esquematicamente na Figura 3.

Figura 3: Esquemático das dimensões (em mm) para ensaios de flexão.



Para a geração das imagens, relacionadas a superfície de fratura, foram feitas por meio de MEV pelo equipamento localizado na Universidade Federal do Pará – UFPA, Campus Belém. Identificado abaixo.



Figura 4: Microscópio Eletrônico de Varredura da UFPA

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Limite De Resistência A Flexão

Na tabela a seguir são mostrados os resultados de resposta da aplicação da carga nos ensaios de flexão.

Tabela 1: Resultados de resistência a flexão

Material	σ (MPa)	Deflexão (mm)
MP	79,98	0,76
FB 3% TR 15 mm RCA10%	102,30	2,05
FB 3% TR 15 mm RCA20%	106,95	1,15
FB 3% TR 15 mm RCA30%	108,81	1,64

Estes resultados estão próximos aos obtidos por COSTA (2016) que trabalhou com lama vermelha e EL BANA (2017) que utilizou resíduo de cobre em matriz polimérica

A seguir, na figura 5, observa-se graficamente o comportamento tensão x deformação com a variação da fração mássica dos resíduos de caulim e as fibras curtas de bambu.

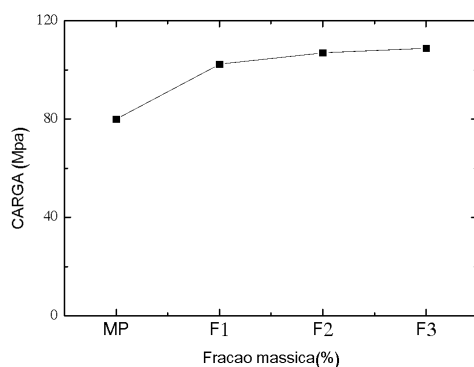


Figura 5: comportamento da tensão de flexão

Nota-se o crescimento progressivo com o aumento das frações mássicas na matriz polimérica em comparação com a matriz plena.

4.1 Microscopia Eletrônica De Varredura

Na figura a seguir são mostradas imagens obtidas por meio de MEV das superfícies fraturadas.

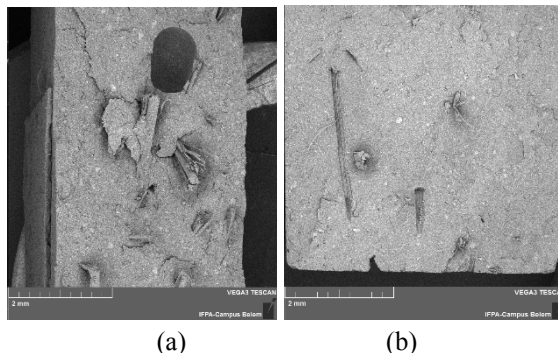


Figura 6: imagens obtidas pelo MEV (a) RCA30%FB3% e (b) RCA10%FB3%

Observa-se os mecanismos de falha por conta de vazios presentes na matriz (a) e também o fenômeno de pull-out presentes na matriz (b).

5. CONCLUSÕES

A técnica de fabricação dos compósitos poliméricos foi satisfatória, já que foram obtidos materiais com boa ancoragem e aparência externa e interna consistentes.

Os resultados do limite de resistência a flexão foram crescentes, chegando ao valor de 108,81MPa para a fração de resíduo de caulim de 30% e fibras de bambu a 3%.

Os mecanismos de falha predominantes foram de acordo com os pesquisados na literatura pesquisada.

6. AGRADECIMENTOS

A CAPES, ao Laboratório de Engenharia Química (LEQ) e ao Laboratório de Engenharia Mecânica (LABEM), localizados na Universidade Federal do Pará (UFPA), Campus Belém.

7. REFERÊNCIAS

- ASTM D 790 - 2010 "Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials.
- 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.
- EL BANNA, W. H. Influência do Resíduo de Flotação de Minério de Cobre nas Propriedades Físicas Mecânicas de Compósitos de Matriz Termofixa e Fibras de Bananeira (Musacae). 2017. 166 p. Tese (Doutorado), (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais) – Universidade Federal do Pará, Belém. 2017.
- RODRIGUES, J. S. Estudo da técnica de infusão de resina aplicada à fabricação de compósitos de matriz poliéster reforçados por fibras naturais da Amazônia. 177 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2014.
- SANTOS, A. J. G. Compósitos de Matriz Poliéster com Reforços Híbridos de Fibras de Piaçava, Sisal, Palha da Costa E Juta: Comportamento em Tração e Aspectos Fractográficos. 2015. 126 p. Dissertação (Mestrado), (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Pará, Belém. 2015.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores aqui apresentados são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.