



IMPACTOS DAS TECNOLOGIAS NA ENGENHARIA DE MATERIAIS E METALÚRGICA

**Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)**

Atena
Editora

Ano 2019

Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia
(Organizadores)

Impactos das Tecnologias na Engenharia de Materiais e Metalúrgica

Atena Editora
2019

2019 by Atena Editora

Copyright © da Atena Editora

Editora Chefe: Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Diagramação e Edição de Arte: Lorena Prestes e Geraldo Alves

Revisão: Os autores

Conselho Editorial

- Prof. Dr. Alan Mario Zuffo – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Álvaro Augusto de Borba Barreto – Universidade Federal de Pelotas
Prof. Dr. Antonio Carlos Frasson – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Antonio Isidro-Filho – Universidade de Brasília
Profª Drª Cristina Gaio – Universidade de Lisboa
Prof. Dr. Constantino Ribeiro de Oliveira Junior – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Daiane Garabeli Trojan – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Darllan Collins da Cunha e Silva – Universidade Estadual Paulista
Profª Drª Deusilene Souza Vieira Dall’Acqua – Universidade Federal de Rondônia
Prof. Dr. Eloi Rufato Junior – Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Gianfábio Pimentel Franco – Universidade Federal de Santa Maria
Prof. Dr. Gilmei Fleck – Universidade Estadual do Oeste do Paraná
Profª Drª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Profª Drª Ivone Goulart Lopes – Istituto Internazionele delle Figlie de Maria Ausiliatrice
Profª Drª Juliane Sant’Ana Bento – Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Prof. Dr. Julio Candido de Meirelles Junior – Universidade Federal Fluminense
Prof. Dr. Jorge González Aguilera – Universidade Federal de Mato Grosso do Sul
Profª Drª Lina Maria Gonçalves – Universidade Federal do Tocantins
Profª Drª Natiéli Piovesan – Instituto Federal do Rio Grande do Norte
Profª Drª Paola Andressa Scortegagna – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Profª Drª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof. Dr. Takeshy Tachizawa – Faculdade de Campo Limpo Paulista
Prof. Dr. Urandi João Rodrigues Junior – Universidade Federal do Oeste do Pará
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas
Profª Drª Vanessa Bordin Viera – Universidade Federal de Campina Grande
Profª Drª Vanessa Lima Gonçalves – Universidade Estadual de Ponta Grossa
Prof. Dr. Willian Douglas Guilherme – Universidade Federal do Tocantins

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (eDOC BRASIL, Belo Horizonte/MG)

I34 Impactos das tecnologias na engenharia de materiais e metalúrgica
[recurso eletrônico] / Organizadores Henrique Ajuz Holzmann,
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia. – Ponta Grossa (PR): Atena
Editora, 2019.

Formato: PDF

Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader.

Modo de acesso: World Wide Web.

Inclui bibliografia

ISBN 978-85-7247-235-7

DOI 10.22533/at.ed.234190204

1. Engenharia – Tecnologia. 2. Metalurgia. I. Holzmann, Ajuz. II.
Biscaia, Ricardo Vinicius Bubna.

CDD 620.002854

Elaborado por Maurício Amormino Júnior – CRB6/2422

O conteúdo dos artigos e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de
responsabilidade exclusiva dos autores.

2019

Permitido o download da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos aos
autores, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

www.atenaeditora.com.br

APRESENTAÇÃO

A engenharia de materiais e metalúrgica, vem cada vez mais ganhando espaço nos estudos das grandes empresas e de pesquisadores. Esse aumento no interesse se dá principalmente pela escassez de matérias primas, a necessidade de novos materiais que possuam melhores características físicas e químicas e a necessidade de reaproveitamento dos resíduos em geral.

Neste livro são apresentados trabalho teóricos e práticos, relacionados a área de materiais e metalurgia, dando um panorama dos assuntos em pesquisa atualmente.

A caracterização dos materiais é de extrema importância, visto que afeta diretamente aos projetos e sua execução dentro de premissas de desempenho técnico e econômico. Ainda são base da formação do engenheiro projetista cujo ofício se fundamenta na correta escolha de materiais e no processo de obtenção do mesmo, estando diretamente relacionados a área de metalurgia.

De abordagem objetiva, a obra se mostra de grande relevância para graduandos, alunos de pós-graduação, docentes e profissionais, apresentando temáticas e metodologias diversificadas, em situações reais.

Aos autores, agradecemos pela confiança e espírito de parceria.

Boa leitura

Henrique Ajuz Holzmann
Ricardo Vinicius Bubna Biscaia

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	1
ENGENHARIA METALÚRGICA NA UNIVERSIDADE DO ESTADO DE MINAS GERAIS: ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DO CURSO	
<i>Kelly Cristina Ferreira</i>	
<i>Júnia Soares Alexandrino</i>	
<i>Telma Ellen Drumond Ferreira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902041	
CAPÍTULO 2	8
EVOLUÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA DE MINAS NA UEMG/JOÃO MONLEVADE EM SEUS 10 ANOS DE EXISTÊNCIA	
<i>Kelly Cristina Ferreira</i>	
<i>Júnia Soares Alexandrino</i>	
<i>Telma Ellen Drumond Ferreira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902042	
CAPÍTULO 3	15
ACUMULADORES PB-ÁCIDO: CONCEITOS, HISTÓRICO E APLICAÇÃO	
<i>Abdias Gomes dos Santos</i>	
<i>Flávio José da Silva</i>	
<i>Magda Rosângela Santos Vieira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902043	
CAPÍTULO 4	21
ANÁLISE PRELIMINAR DA APLICABILIDADE DA SEPARAÇÃO BASEADA EM SENSORES EM MINA DE CALCÁRIO DE CAÇAPAVA DO SUL (RS)	
<i>Evandro Gomes dos Santos</i>	
<i>Régis Sebben Paranhos</i>	
<i>Carlos Otávio Petter</i>	
<i>Aaron Samuel Young</i>	
<i>Moacir Medeiros Veras</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902044	
CAPÍTULO 5	30
DESEMPENHO DE REAGENTES NA FLOTAÇÃO COLETIVA DE SULFETOS DE UM REJEITO AURÍFERO PARAIBANO	
<i>Marcelo Rodrigues do Nascimento</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902045	
CAPÍTULO 6	40
UTILIZAÇÃO DE SULFONATO DE ALQUILBENZENO LINEAR (LAS) E POLICARBOXILATO ÉTER (PCE) COMO REAGENTES PARA FLOTAÇÃO DE MINÉRIO DE FERRO	
<i>José Maria Franco de Carvalho</i>	
<i>Mariane Batista de Oliveira Vasconcelos</i>	
<i>Luanne Phâmella da Silva Henriques e Moreira</i>	
<i>Julia Castro Mendes</i>	
<i>Carlos Alberto Pereira</i>	
<i>Ricardo André Fiorotti Peixoto</i>	
DOI 10.22533/at.ed.2341902046	

CAPÍTULO 7 50

COMPORTAMENTO EM TRAÇÃO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER E FIBRAS DE CURAUÁ E BANANEIRA CONTÍNUAS E ALINHADAS

Michel José Caldas Carvalho

Douglas Santos Silva

Roberto Tetsuo Fujiyama

DOI 10.22533/at.ed.2341902047

CAPÍTULO 8 64

EFEITO DE UM ADITIVO ENZIMÁTICO COMERCIAL NA DEGRADAÇÃO DE PEBD EM MEIO SALINO

Jéssica Pereira Pires

Gabriela Messias Miranda

Gabriela Lagranha de Souza

Flávia Stürmer de Fraga

Alessandro da Silva Ramos

Rosane Angélica Ligabue

Jeane Estela Ayres de Lima

Rogério Vescia Lourega

DOI 10.22533/at.ed.2341902048

CAPÍTULO 9 81

PREPARAÇÃO DE MICROESFERAS DE QUITOSANA/ARGILA PARA USO COMO SISTEMA CARREADOR DO IBUPROFENO

Matheus Aleixo Maciel

Bárbara Fernanda Figueiredo dos Santos

Hanniman Denizard Cosme Barbosa

Albaniza Alves Tavares

Pedro Henrique Correia de Lima

Suédina Maria de Lima Silva

DOI 10.22533/at.ed.2341902049

CAPÍTULO 10 97

CONSOLIDAÇÃO POR SINTERIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DE ALUMÍNIO RECICLADO A PARTIR DE LATAS DE BEBIDA VIA METALURGIA DO PÓ

José Raelson Pereira de Souza

Regina Bertília Dantas de Medeiros

Mauricio Mhirdau Peres

DOI 10.22533/at.ed.23419020410

CAPÍTULO 11 113

ELETRODEPOSIÇÃO DE FILMES DE POLIPIRROL EM SUPERFÍCIES DE ALUMÍNIO 2024: INFLUÊNCIA DO ELETRÓLITO

Andrea Santos Liu

Alex Fernandes de Souza

Liu Yao Cho

DOI 10.22533/at.ed.23419020411

CAPÍTULO 12	128
UMA REVISÃO SOBRE A TECNOLOGIA DE PROCESSAMENTO DE LIGAS METÁLICAS NO ESTADO SEMISSÓLIDO	
<i>Luis Vanderlei Torres</i>	
DOI 10.22533/at.ed.23419020412	
CAPÍTULO 13	141
INFLUÊNCIA DA TAXA DE RESFRIAMENTO SOBRE MACROESTRUTURA DA LIGA DE ALUMÍNIO SAE 323 SOLIDIFICADO EM MOLDE DE AREIA	
<i>Rafael Brasil da Costa</i>	
<i>Rodrigo da Silva Miranda</i>	
<i>Adilto Pereira Andrade Cunha</i>	
DOI 10.22533/at.ed.23419020413	
CAPÍTULO 14	149
INFLUÊNCIA DE PARÂMETROS OPERACIONAIS DA MESA CONCENTRADORA WILFLEY NA CONCENTRAÇÃO DE ESCÓRIA METALÚRGICA DA LIGA FESIMN	
<i>Raulim de Oliveira Galvão,</i>	
<i>Filipe Brito Marinho de Barros</i>	
<i>José Carlos da Silva Oliveira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.23419020414	
CAPÍTULO 15	161
INFLUÊNCIA DO ENSAIO METALÚRGICO DE TEMPERA NA MICROESTRUTURA E PROPRIEDADES MECÂNICAS DOS AÇOS	
<i>Rodrigo da Silva Miranda</i>	
<i>Adilto Pereira Andrade Cunha</i>	
DOI 10.22533/at.ed.23419020415	
CAPÍTULO 16	171
ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA DISTÂNCIA ENTRE CAMADAS NA TÉCNICA DE RECONSTRUÇÃO 3D POR SEÇÃO SERIAL	
<i>Wesley Luiz da Silva Assis</i>	
<i>Talita Fonseca dos Prazeres</i>	
<i>Ana Beatriz Rodrigues de Andrade</i>	
<i>Douglas de Oliveira</i>	
DOI 10.22533/at.ed.23419020416	
SOBRE OS ORGANIZADORES	179

COMPORTAMENTO EM TRAÇÃO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER E FIBRAS DE CURAUÁ E BANANEIRA CONTÍNUAS E ALINHADAS

Michel José Caldas Carvalho

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica
Belém – Pará

Douglas Santos Silva

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica
Belém – Pará

Roberto Tetsuo Fujiyama

Universidade Federal do Pará, Faculdade de Engenharia Mecânica
Belém – Pará

RESUMO: Este trabalho tem como objetivo avaliar o comportamento mecânico em tração das fibras do pseudocaule da bananeira São Tomé e fibras de curauá, utilizados como reforços, contínuos e alinhados, em compósitos de matriz poliéster, de modo a comparar os resultados obtidos com compósito similar, mas reforçado com fibra de vidro. Os laminados foram fabricados através da técnica de laminação manual hand-layup, a partir dos quais se produziram corpos de prova em conformidade com a norma ASTM D3039, de modo a serem submetidos ao ensaio de tração. Foi verificado que os compósitos reforçados com fibras de bananeira e curauá obtiveram valores de resistência à tração de 228.6 MPa e 272.6 MPa, respectivamente, enquanto que

os compósitos reforçados com fibra de vidro obtiveram 126.1 MPa. Além disso, através de recursos microscópicos, foram avaliados os aspectos das falhas presentes nas superfícies dos materiais.

PALAVRAS-CHAVE: Propriedades mecânicas, compósitos poliméricos, laminados, fibras naturais.

ABSTRACT: The objective of this work was to evaluate the mechanical tensile behavior of the São Tomé banana pseudocaule fibers and curauá fibers, used as reinforcements, continuous and aligned, in polyester matrix composites, in order to compare the results obtained with a similar composite, but reinforced with fiberglass. The laminates were manufactured by hand-layup manual lamination technique, from which test pieces were produced in accordance with ASTM D3039, in order to be subjected to the tensile test. It was verified that the composites reinforced with banana fiber and curauá obtained values of tensile strength of 228.6 MPa and 272.6 MPa, respectively, while the fiberglass reinforced composites obtained 126.1 MPa. In addition, through microscopic resources, the aspects of the faults present on the surfaces of the materials were evaluated.

KEYWORDS: Mechanical properties, polymer composites, laminates, natural fibers.

1 | INTRODUÇÃO

Muitas pesquisas têm sido realizadas objetivando o desenvolvimento de novos materiais, principalmente os que relacionam interesses tecnológicos e ambientais, e que se tenha na junção ou união de seus elementos características desejadas não obtidas com a utilização de um só elemento constituinte do material (NIRMA et al., 2015).

Por esse motivo, os materiais compósitos que possuem fibras naturais vegetais como reforços têm despertado atenção, devido sua baixa densidade e advirem de fontes renováveis e serem biodegradáveis (BAYKUS, 2015).

Ainda que as fibras sintéticas, como as de vidro, como reforço em compósitos, possuam vantagens como a facilidade, quando tratadas com agente de acoplamento, de misturar-se à matriz, além da adequação às várias técnicas de fabricação, desenvolvimento de materiais com resistência específica muito elevada e boa interface fibra-matriz, melhorando resistência do compósito (JOSEPH et al., 2008).

Os compósitos de fibras alinhadas, de maneira geral, são de difícil fabricação, principalmente quando se trata de um processo manual ou que empregue o mínimo de maquinário possível. Porém, há na literatura estes tipos de compósitos desenvolvidos com fibra sintética. A exemplo de ABBAS (2013), que investigou a resistência mecânica da fibra de vidro contínuas e alinhadas variando a fração volumétrica da mesma e utilizando uma matriz de polietileno de alta densidade HDPE, que submetidos à tração revelaram resistência de $\sigma_C = 72,65 \text{ MPa}$ para uma fração volumétrica $v_f = 8,29\%$.

No contexto do desenvolvimento de compósitos com fibras contínuas e alinhadas, muitas pesquisas têm sido voltadas para a avaliação de fibras vegetais como o curauá, sisal, juta, rami, bananeira, entre outras, em substituição às fibras sintéticas (RASHDI, 2010). Dentre tais fibras, tem-se a do pseudocaulo da bananeira São Tomé e do curauá, as quais já foram caracterizadas sem nenhum tratamento superficial por El Banna (2012), segundo resistência à tração, diâmetro médio, alongamento, densidade e umidade, tal como é mostrado na Tabela 1.

Reforço	Diâmetro (μm)	Resist. Tração (MPa)	Alongamento (%)	Massa Específica (g/cm^3)	Teor de Umidade (%)
B. São Tomé Interna	55	233,9	9,4	1,45	14
Curauá	161,46	100,26	8	1,30	10

Tabela 1. Resultados da caracterização da fibra de bananeira e curauá

Segundo Piyush (2010), a fibra de bananeira quando utilizada em compósitos de matriz polimérica, há um aumento de resistência mecânica em função do aumento da fração volumétrica, o que está de acordo com a regra da mistura que prevê um aumento linear de resistência mecânica com aumento da fração volumétrica de fibras,

mesmo com uma baixa adesão entre fibra e matriz.

Já na fibra de curauá, segundo Silva (2010), a absorção de umidade faz com que diminua a resistência à tração dos compósitos com fibra alinhada e com matriz poliéster, podendo essa absorção diminuir caso estes compósitos sejam híbridos alternando uma camada de curauá e outra de fibra de vidro.

Monteiro et al (2006) estudou também o comportamento sob flexão do compósito de fibra de curauá contínua e alinhada, verificando um aumento superior, em relação às fibras descontínuas e alinhadas, com o aumento da fração volumétrica de fibras. A fração volumétrica de fibras variou de $v_f = 0\%$ à $v_f = 30\%$, onde foi encontrada resistência à tração de $\sigma_c = 41,4 \text{ MPa}$ e $\sigma_c = 94,0 \text{ MPa}$, respectivamente.

Assim, este trabalho tem por objetivo avaliar o comportamento mecânico em tração das fibras do pseudocaule da bananeira São Tomé e de curauá, utilizados como reforços, contínuos e alinhados, em compósitos de matriz poliéster, de modo a comparar os resultados obtidos com compósito similar, mas reforçado com fibra de vidro. A avaliação do comportamento mecânico é realizada através de propriedades como força máxima, resistência à tração, alongamento, módulo de elasticidade, além da fração mássica de fibra, correlacionadas com os aspectos da fratura dos compósitos, obtidos com auxílio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV).

2 | MATERIAIS

Para a confecção dos corpos de prova utilizou-se a resina de poliéster tereftálica insaturada e pré-acelerada, fabricada pela Royal Polímeros sob a denominação comercial de Denverpoly 754.

O agente de cura utilizado foi o peróxido de MEK (Butanox M-50), na proporção de 0,33% (v/v). Com esta proporção, Rodrigues (2008), obteve boas propriedades mecânicas em compósitos poliméricos reforçados por fibras naturais.

Os pseudocaulos de bananeira foram adquiridos na área rural de Santa Izabel/PA, as fibras de curauá foram obtidas na Embrapa (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e as fibras de vidro foram adquiridas no comércio de Belém/PA.

3 | MÉTODOS

3.1 Preparação das lâminas com as fibras de bananeira e curauá

As fibras de bananeira e curauá foram usadas para a confecção das lâminas. Foram trabalhados apenas os fios para poderem ser feitos os alinhamentos propostos. Os fios foram fixados em uma lâmina de vidro com a fita dupla face seguindo os alinhamentos de 0° . Ao final do processo foi utilizado papelão nas extremidades das fibras com objetivo de manter o alinhamento das mesmas. A Figura 1 mostra as fibras

alinhas, sendo esta a primeira camada do compósito.

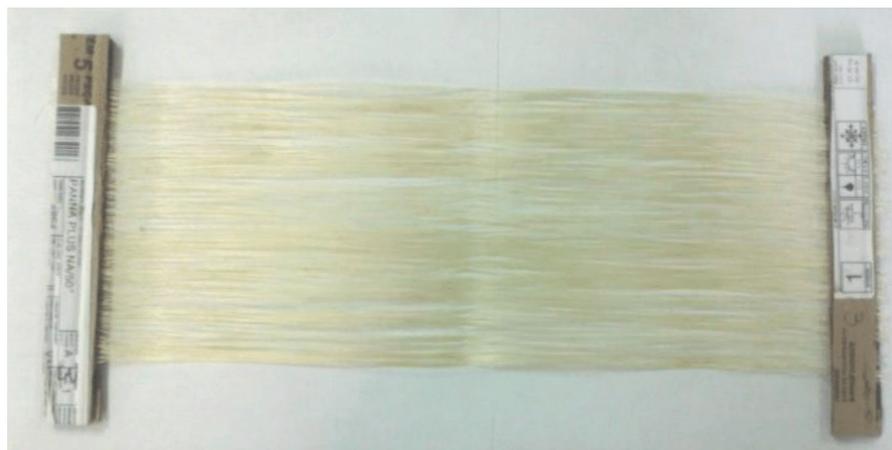


Figura 1. Fibras de bananeira alinhadas a 0° unidirecional.

3.2 Fabricação dos laminados

Na fabricação dos laminados foi utilizada uma base de compensado revestida com transparência, onde as lâminas foram organizadas e fixadas. Para cada uma das placas confeccionadas foi aferido 75 g de resina, utilizando 0,33% de peróxido de MEK e 0,15% de acelerador naftenato de cobalto (CoNap). A resina foi uniformemente distribuída por camada para garantir um padrão de fabricação através da técnica *hand-layup*.

Depois de produzidos, os laminados foram prensados em uma prensa hidráulica com uma carga de 500 kg com intuito de reduzir o aparecimento de bolhas ou vazios que pudessem provocar a falha dos compósitos.

3.3 Confeção dos corpos de prova e ensaio de tração

Os corpos de prova de prova foram produzidos segundo a norma ASTM D3039 e suas dimensões, são observadas na Figura 2.



Figura 2. Dimensões do corpo de prova segundo a norma ASTM D3039M.

Os alinhados a 0° foram obtidos com as seguintes dimensões: 250 mm de comprimento por 15 mm de largura e espessura de 1 mm, área de útil de tração de 140 x 15 mm. Os corpos de prova foram cortados dos laminados com o auxílio de disco de corte diamantado. O ensaio de tração foi realizado numa máquina universal marca KRATOS modelo IKCL3, com célula de carga de 5 KN e velocidade de ensaio

de 2 mm/min.



Figura 3. Corpos de prova prontos para o ensaio de tração.

Durante o ensaio de materiais compósitos, pode ocorrer o escorregamento e o esmagamento da região do corpo de prova que fica em contato com a garra. Para resolver este problema são colocados tabs nesta região do corpo de prova. As dimensões destes foram baseadas na mesma norma, cujo comprimento, largura e espessura deste para proteção do compósito é de 56 mm.

3.4 Obtenção da fração volumétrica

Para a obtenção da fração volumétrica dos compósitos, usaram-se 5 amostras de cada compósito. Foi medida a massa das amostras e em seguida foi medida a massa equivalente das fibras utilizadas no compósito. A fração volumétrica foi obtida utilizando a Equação 1.

$$v_f = \frac{M_{fibras}}{M_{amostra}} \quad (1)$$

Onde v_f , M_{fibras} e $M_{amostra}$ são fração volumétrica das fibras, massa de fibras da amostra e massa total da amostra, respectivamente.

3.5 Análises da superfície de fratura

Após serem feitos os ensaios mecânicos, as superfícies de fratura dos corpos de prova foram avaliadas com o objetivo de determinar os mecanismos de falhas de cada compósito fabricado. A morfologia da superfície de fratura foi analisada por microscopia eletrônica de varredura (MEV).

4 | RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Propriedades Mecânicas

A curva Força x Deslocamento do compósito de fibra de vidro é apresentada na

Figura 4.

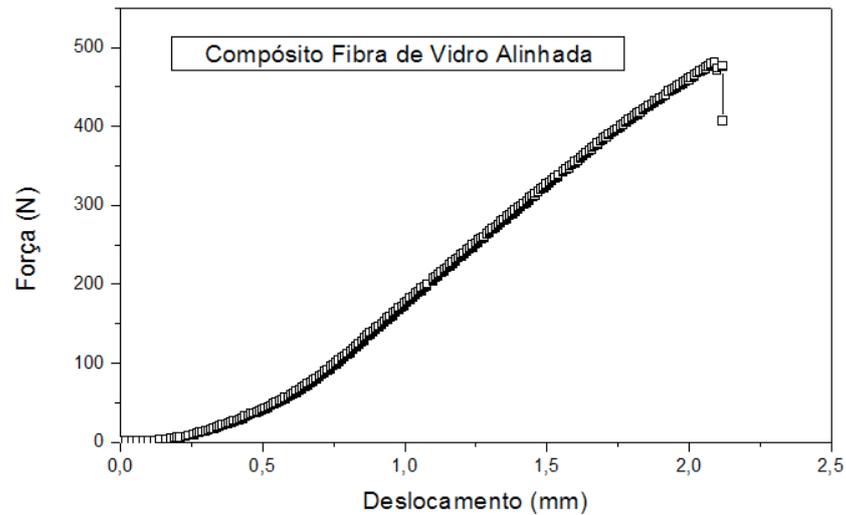


Figura 4. Curva Força x Deslocamento do compósito de fibra de vidro.

Na Figura 4 a curva apresenta uma tendência a um comportamento linear, típico da maioria dos compósitos com matrizes poliméricas termofixas e fibras sintéticas de vidro (BARROS, 2006).

A curva Força x Deslocamento do compósito laminado de fibra de bananeira é apresentado na Figura 5.

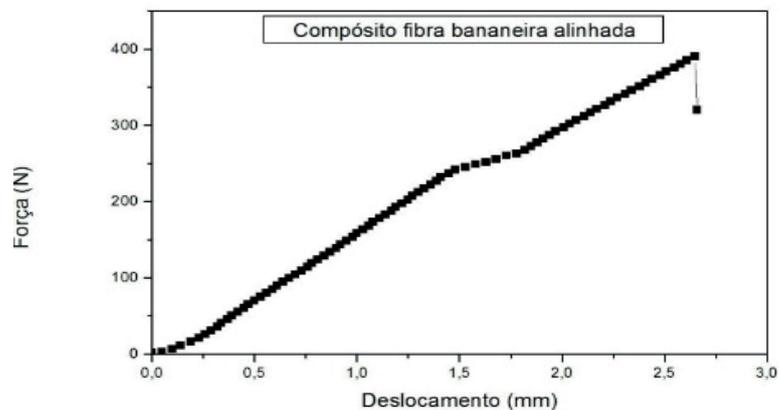


Figura 5. Curva Força x Deslocamento do compósito laminado de fibra de bananeira.

A Figura 5 apresenta a curva com uma tendência a um comportamento linear, típico de compósitos com matrizes termofixas (AQUINO et al., 1997)

A curva Força x Deslocamento do compósito de fibra de curauá é apresentada na Figura 6.

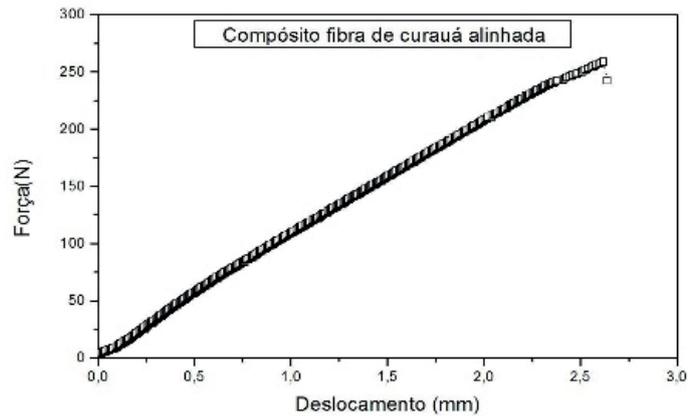


Figura 6. Curva Força x Deslocamento do compósito de fibra de curauá.

A Figura 6 descreve o comportamento com uma tendência linear, típico de laminados que possuem lâminas com a mesma constituição. A fratura se deu sob natureza frágil, com a presença de pouca deformação.

O gráfico da tensão pela fração volumétrica é mostrado na Figura 7.

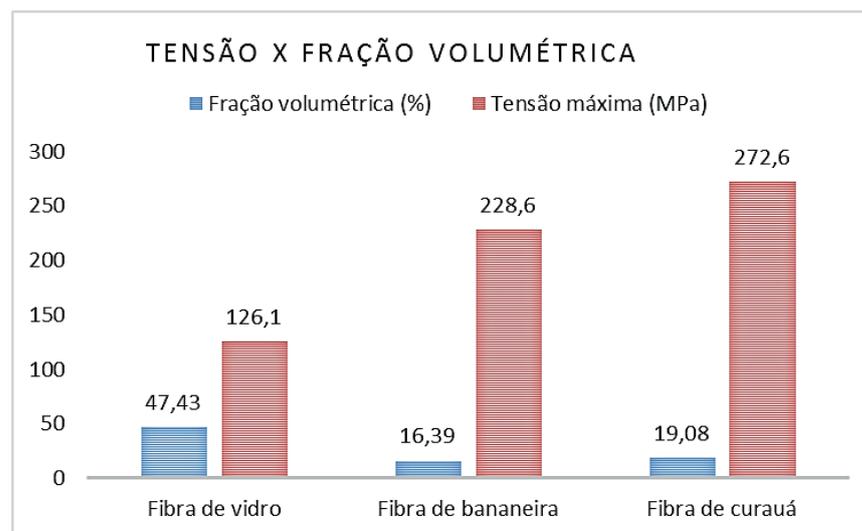


Figura 7. Gráfico Tensão x Fração volumétrica.

A Figura 7 mostra o gráfico de resistência à tração (MPa), resultado proveniente dos ensaios de tração mostrando também as frações volumétricas dos compósitos de fibra de vidro (CFV), compósito de fibra de bananeira (CFB) e compósito de fibra de curauá (CFC). As propriedades mecânicas de compósitos avaliados neste trabalho são mostradas na Tabela 2.

Reforço	Força Máxima(N)	Alongamento %	Fração Volumétrica de Fibras (v_f)	Tensão Máxima(MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Fibra de Vidro	543,35 ± (125,37)	3,84	47,43%	126,1 ± (27,9)	1,28
Fibra de Bananeira	406,67 ± (10,6)	3,04	16,39%	228,6 ± (37,71)	1,72
Fibra de Curauá	242,71 ± (16,6)	1,94	19,08%	272,6 ± (51,24)	0,44

Tabela 2. Comparativo dos resultados dos ensaios de tração dos compósitos.

A Tabela 2 mostra que o compósito que apresentou maior resistência mecânica sob tração foi o compósito feito com fibras de curauá que obteve 272,6 MPa, mas com uma fração volumétrica maior ($v_f = 19,08\%$) que o segundo maior resultado que foi o apresentado pela fibra de bananeira ($v_f = 16,39\%$).

Abbas (2013) investigou a resistência mecânica da fibra de vidro contínua e alinhada variando a fração volumétrica da mesma utilizando uma matriz de polietileno de alta densidade HDPE, incluindo nestes compósitos outros materiais como pó madeira, alcançando compósitos que submetidos à tração revelaram resistência de $\sigma_c = 72,65 \text{ MPa}$ para uma fração volumétrica $v_f = 8,29\%$ de fibra de vidro contínua e alinhada.

Piyush (2010) investigou a utilização da fibra de bananeira em um compósito de fibras contínuas e alinhadas variando a fração volumétrica $v_f = 10,03\%$ à $v_f = 29,48\%$ onde foi encontrado resistência à tração $\sigma_c = 54,29 \text{ MPa}$ e $\sigma_c = 103,58 \text{ MPa}$ respectivamente.

Monteiro et al (2006) estudou também o comportamento sob flexão do compósito de fibras de curauá contínuas e alinhadas e verificou um aumento superior, em relação às fibras descontínuas e alinhadas, com o aumento da fração volumétrica de fibras. A fração volumétrica de fibras variou de $v_f = 0\%$ à $v_f = 30\%$, onde foi encontrada resistência à tração de $\sigma_c = 41,4 \text{ MPa}$ e $\sigma_c = 94,0 \text{ MPa}$ respectivamente.

Na Tabela 3 estão os resultados de resistência à tração calculados pela Equação (2) a regra das misturas obtidas em função das frações volumétricas encontradas na caracterização dos compósitos de fibras naturais alinhadas. Vale lembrar que essa equação fornece valores teóricos de resistência à tração que na prática podem ser alcançados otimizando o processo de fabricação dos compósitos como o processo de pultrusão ou o processo de infusão à vácuo em que os defeitos são mínimos.

$$\sigma_c = V_f \cdot \sigma_f + V_m \cdot \sigma_m \quad (2)$$

Onde, σ_c , V_f , σ_f , V_m e σ_m representam resistência à tração do compósito, fração

volumétrica de fibras, resistência à tração de fibras, fração volumétrica da matriz e resistência à tração da matriz, respectivamente.

Reforço	$V_f = 47,43\%$ (CFV)	$V_f = 16,39\%$ (CFB)	$V_f = 19,09\%$ (CFC)
Fibra de Bananeira	$\sigma_c = 1128,74$	$\sigma_c = 414,08$	$\sigma_c = 475,55$
Fibra de Curauá	$\sigma_c = 494,86$	$\sigma_c = 195,04$	$\sigma_c = 220,83$
Fibra de Vidro	$\sigma_c = 818,87$	$\sigma_c = 307,01$	$\sigma_c = 351,04$

Tabela 3. Tensões (MPa) dos compósitos calculados pela regra das misturas para cada fração volumétrica encontrada.

Aplicando a Equação (2) e utilizando os dados encontrados nos testes de resistência à tração, podemos obter a resistência à tração teórica para cada compósito considerando a mesma fração volumétrica de fibras para todos os compósitos. A Figura 8 mostra os valores de resistência à tração pela regra das misturas.

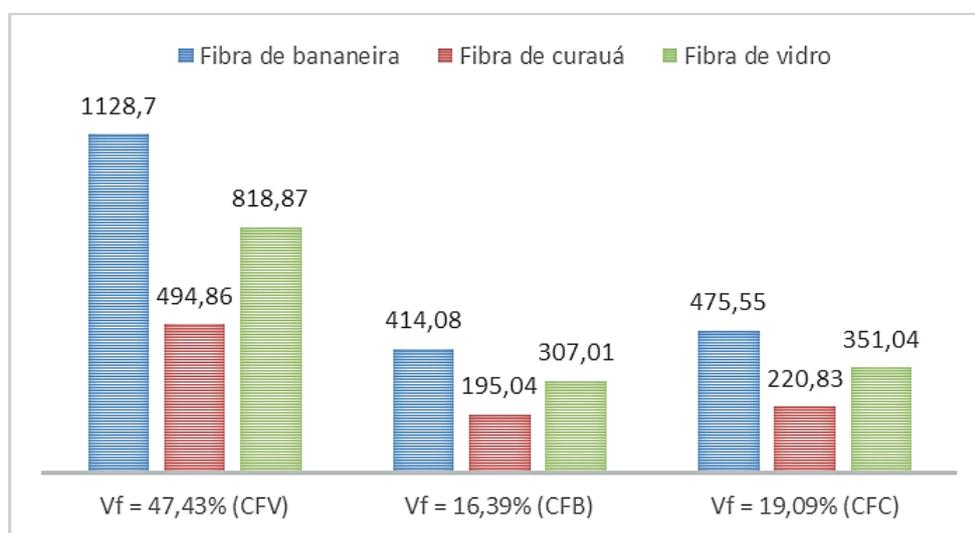


Figura 8. Gráfico dos compósitos calculados pela regra das misturas para cada fração volumétrica.

A Figura 8 mostra os valores de resistência à tração pela regra das misturas considerando fração volumétrica $v_f = 47,43\%$ (fração volumétrica do compósito de fibras de vidro CFV), $v_f = 16,39\%$ (fração volumétrica do compósito de fibras de bananeira CFB) e $v_f = 19,09\%$ (fração volumétrica do compósito de fibras de curauá CFC).

Se a fração volumétrica do compósito de fibra de bananeira São Tomé fosse $v_f = 47,43\%$ (fração volumétrica do compósito de fibras de vidro) apresentariam resultados de resistência à tração ainda maiores, na casa de $\sigma_c = 1128,7 MPa$, sendo que a resistência encontrada no ensaio foi para uma fração volumétrica de $v_f = 16,39\%$.

A resina utilizada na confecção dos corpos de prova foi à resina poliéster, se fosse utilizada uma resina com resistência mecânica maior, como a resina epóxi, a

resistência à tração dos compósitos seria amplificada.

4.2 Análise fractográfica

4.3 Fractografia do compósito de fibra de bananeira São Tomé

A fractografia do compósito de fibra de bananeira São Tomé foi feita utilizando o Microscópio Eletrônico de Varredura MEV. A Figura 9 mostra o que a literatura chama de marcas de praia, região mais esbranquiçada onde ocorrem as maiores tensões, o que evidencia a falha da matriz. Essas marcas de praia estão direcionadas para a fibra de bananeira evidenciando também a transferência de carga da matriz para a fibra.

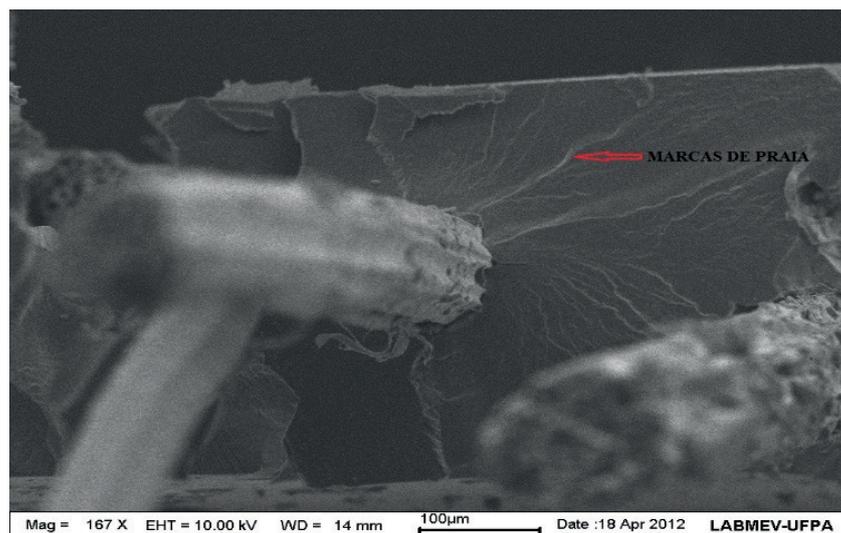


Figura 9. Região de fratura do compósito de fibra de bananeira.

A Figura 10 mostra um vazio que foi causado pelo arrancamento das fibras de bananeira da matriz poliéster, após as mesmas terem sido rompidas, sendo esse mais um mecanismo de falha apresentado pelo compósito.

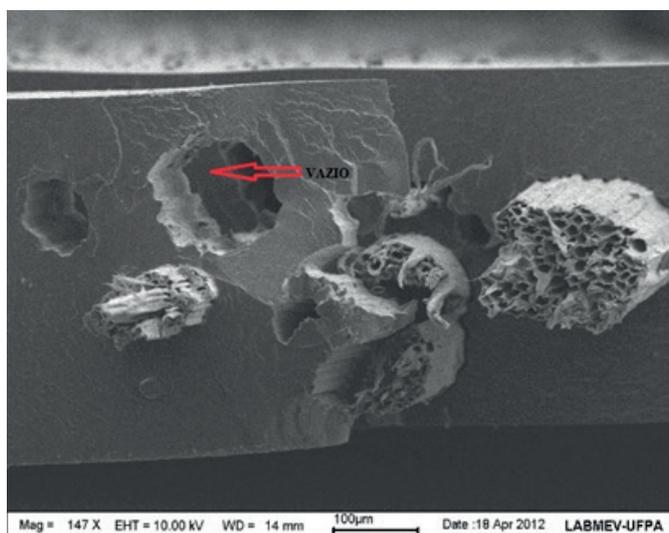


Figura 10. Região de fratura do compósito de fibra de bananeira após falha do compósito.

Na Figura 11 podemos observar a propagação de trincas que culminam na falha do compósito e que se dá na direção longitudinal a direção das fibras.

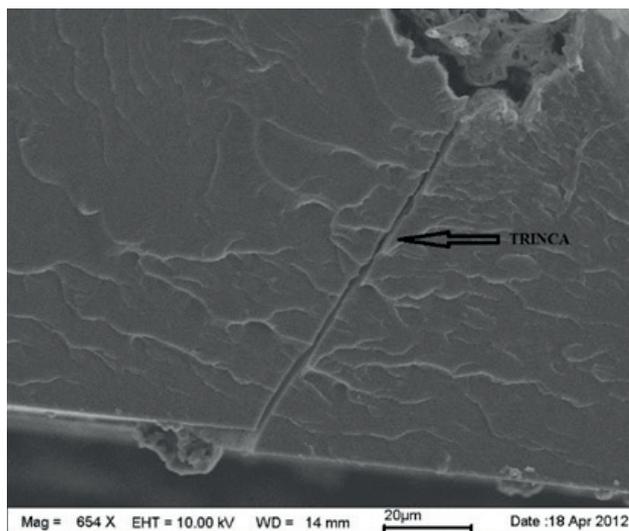


Figura 11. Propagação de trinca na direção longitudinal a direção das fibras.

A Figura 12 mostra o aspecto superficial da fibra de bananeira com a presença de lignina, as micro cavidades e o rompimento das fibrilas, podemos observar também que as fibras tem seção transversal aproximadamente circular.

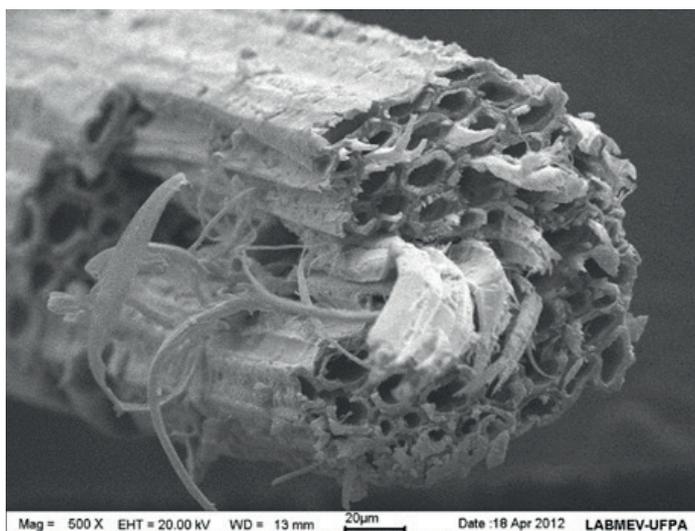


Figura 12. Fibra de bananeira observada no microscópio eletrônico de varredura.

4.4 Fractografia do compósito de fibra de curauá

Na Figura 13 podemos observar que as fibrilas foram rompidas, o que evidencia que a falha do compósito de fibras de curauá foi por rompimento das fibras.

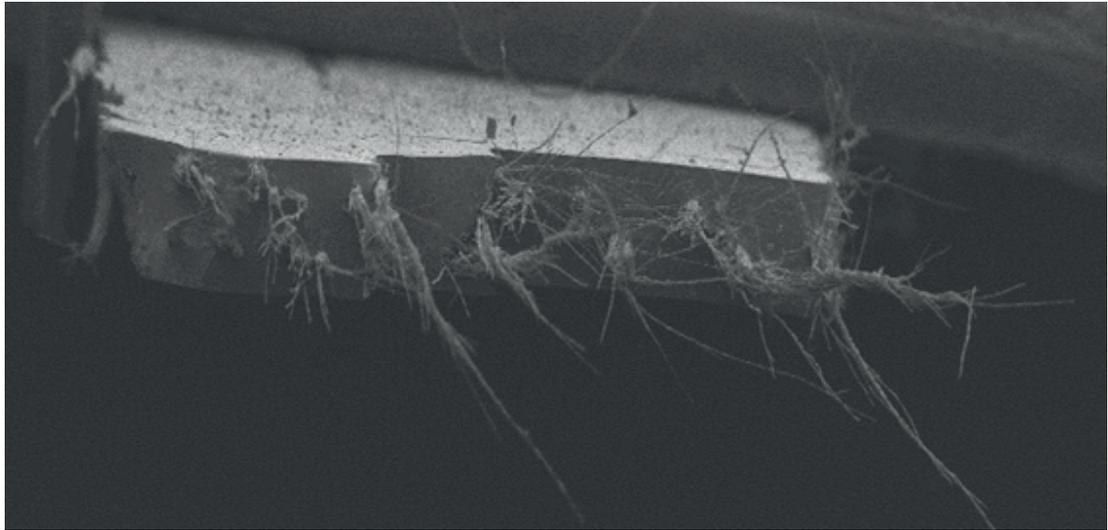


Figura 13. Região de fratura do compósito de fibra de curauá.

A Figura 14 mostra o aspecto superficial da fibra de curauá após a falha do compósito, onde podemos ver o rompimento das micro fibrilas e a presença de irregularidades na superfície.

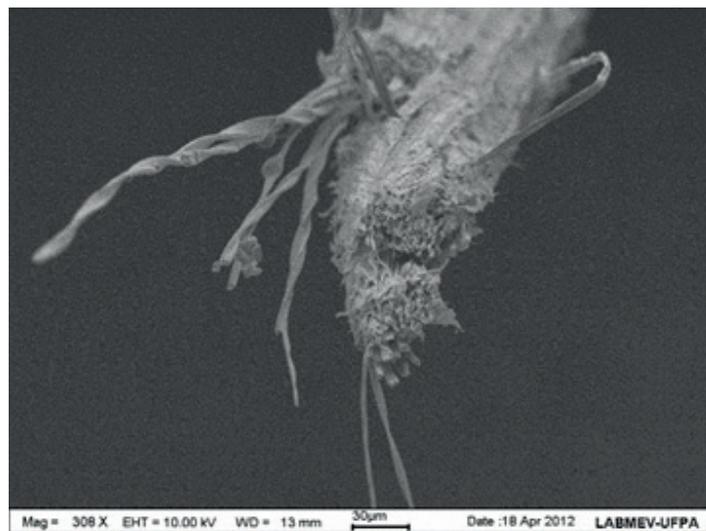


Figura 14. Aspecto superficial da fibra de curauá.

4.5 Fractografia do compósito de fibra de vidro

A Figura 15.a mostra as fibras de vidro rompidas. A fibra de vidro é um material frágil, ou seja, sem deformação elástica. O critério de falha comum para os compósitos de fibras contínuas e alinhadas foi à ruptura das fibras. Na figura 15.b podemos observar as fibras de vidro rompidas e os vazios provocados pelo arrancamento das fibras. Os compósitos de fibra de vidro apresentaram uma maior aderência entre a fibra e a matriz, o que pôde ser comprovado nos ensaios de fração volumétrica com a dificuldade de separação entre a fibra de vidro e a matriz poliéster.

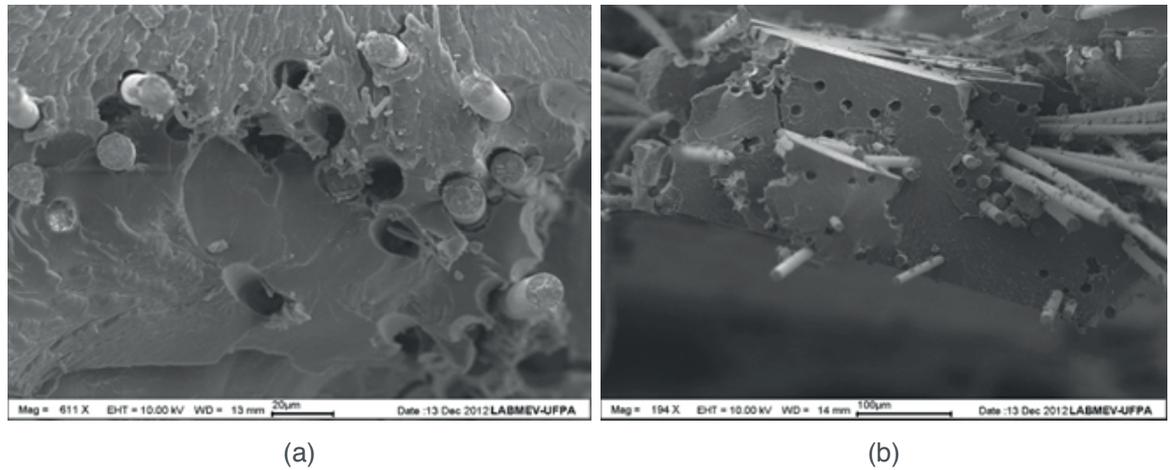


Figura 15. a) Região de fratura obtida em microscopia eletrônica de varredura e b) região de fratura do compósito de fibra de vidro.

5 | CONCLUSÃO

O compósito de fibra de curauá apresentou maior resultado de resistência à tração que os compósitos de fibra de bananeira São Tomé, mas com uma fração volumétrica maior, porém se fossem igualadas as frações volumétricas dos compósitos de fibra de bananeira, possivelmente a fibra de bananeira teria resistência mecânica superior.

A análise da fractografia com auxílio da Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) dos compósitos mostrou que o mecanismo de falha predominante foi o rompimento das fibras, no caso da bananeira houve arrancamento das fibras, o que indica falta de adesão na interface fibra/matriz, provocado em grande parte das vezes pela ausência de tratamento superficial nas fibras naturais. A análise do aspecto das fibras mostrou que as fibras naturais apresentam seção transversal quase circular com elevada porosidade.

REFERÊNCIAS

ASTM-D3039-D3039M-08 2008 **Standard test method for tensile properties of polymer matrix composite materials**, West Conshohocken, PA, 2008.

ABBAS ZOLFAGHARI, AMIR H. BEHRAVESH, ALIREZA ADLI. **Continuous glass fiber reinforced wood plastic composite in extrusion process: Mechanical properties**. Materials and Design. Maio 2013.

AQUINO, E.M.F. AND MARGARIA, G. **Influence of moisture absorption on the mechanical properties of polyester/fibre glass-E composites**. Proceedings of Second international congress on metallurgical and materials technology, São Paulo, Brazil, 1997.

BARROS, A. R. de F. **Compósitos híbridos: desenvolvimento de configuração e efeitos de umidificação**. Natal: 2006, 98f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

BAYKUS, O.; AYSEUR, M.; MEHMET, D. **The effect of pre-impregnation with maleated coupling agents on mechanical and water absorption properties of jute fabric reinforced polypropylene and polyethylene biocomposites.** Journal of Composite Materials, v. 50, p.257–267, 2015.

EL BANNA, W. R. **Estudo comparativo de material compósito reforçado por fibras de bananeira e curauá e matriz poliéster.** 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - UFPA. Belém, Pará. 2012.

JOSEPH, S; SREEKALA, M. S; KOSHY, P; THOMAS, S. **Mechanical Properties and Water Sorption Behavior of Phenol–Formaldehyde Hybrid Composites Reinforced with Banana Fiber and Glass Fiber.** Journal of Applied Polymer Science, 109 (3), pp.1439–1446, 2008.

MONTEIRO S. N. **Comportamento Mecânico e Características Estruturais de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras Contínuas e Alinhadas de Curauá.** Revista Matéria, v. 11, n. 3, pp. 197 – 203, 2006

NIRMA, U.; JAMIL, M. M. H.; AHMAD, M.; et al. **A review on tribological performance of natural fibre polymeric composites.** Tribol Inter 83:77–104. 2015.

PIYUSH P. GOHILA* & A. A. SHAIKHB. **Unidirectional Banana–Epoxy-Reinforced Composite: Experimentation And Theoretical Estimation.** Composites: Mechanics, Computations, Applications, An International Journal 1(3), 227–243 (2010)

RASHDI, A. A. A.; SAPUAN, S. M.; AHMAD, M. M. H. M.; KHALINA, A. **Combined effects of water absorption due to water immersion, soil buried and natural weather on mechanical properties of kenaf fibre unsaturated polyester composites (KFUPC).** International Journal of Mechanical and Manufacturing Engineering, 2010; 5(1):11-17.

RODRIGUES, J. S. **Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira.** 2008. Dissertação (Mestrado Engenharia Mecânica). Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica – Universidade Federal do Pará. 2008.

SILVA, H. S. P da. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro.** Porto Alegre: 2010, 72f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Departamento de Materiais da Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SOBRE OS ORGANIZADORES

Henrique Ajuz Holzmann - Professor assistente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduação em Tecnologia em Fabricação Mecânica e Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia de Produção pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia e Ciência dos Materiais pela Universidade Estadual de Ponta Grossa. Trabalha com os temas: Revestimentos resistentes a corrosão, Soldagem e Caracterização de revestimentos soldados.

Ricardo Vinicius Bubna Biscaia - Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestre em Engenharia Mecânica pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Doutorando em Engenharia de Produção pela UTFPR. Trabalha com os temas: análise microestrutural e de microdureza de ferramentas de usinagem, modelo de referência e processo de desenvolvimento de produto e gestão da manutenção.

Agência Brasileira do ISBN
ISBN 978-85-7247-235-7



9 788572 472357