



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE ANANINDEUA
FACULDADE DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

NAYLA GONÇALVES DA SILVA

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO QUÍMICO DAS FIBRAS DE BAMBU
(*Bambusa vulgaris*) NA PROPRIEDADE MECÂNICA DE TRAÇÃO DOS
COMPÓSITOS HÍBRIDOS (FIBRA E LAMA VERMELHA)**

Ananindeua, PA

2019

NAYLA GONÇALVES DA SILVA

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO QUÍMICO DAS FIBRAS DE BAMBU
(*Bambusa vulgaris*) NA PROPRIEDADE MECÂNICA DE TRAÇÃO DOS
COMPÓSITOS HÍBRIDOS (FIBRA E LAMA VERMELHA)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Ciência e Tecnologia, da Universidade Federal do Pará-UFPA/Campus Ananindeua, como requisito para obtenção do Bacharelado em Ciência e Tecnologia com ênfase em Mineral.

Orientador: Prof^o. Me. Eng.^o Alessandro José Gomes dos Santos

Coorientador: Prof^o. Dr. Eng.^o Deibson Silva da Costa

Ananindeua, PA
2019

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)

D111i da Silva, Nayla Gonçalves

Influência do tratamento químico das fibras de bambu (*Bambusa vulgaris*) na propriedade mecânica de tração dos compósitos híbridos (Fibra e lama vermelha) / Nayla Gonçalves da Silva. — 2019.
52 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Me. Alessandro José Gomes dos Santos

Coorientador(a): Prof. Dr. Deibson Silva Costa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Campus Universitário de Ananindeua, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2019.

1. Desenvolvimento Sustentável. 2. Fibras Vegetais. 3. Limite de Resistência. I. Título.

CDD 620.118

NAYLA GONÇALVES DA SILVA

**INFLUÊNCIA DO TRATAMENTO QUÍMICO DAS FIBRAS DE BAMBU
(*Bambusa vulgaris*) NA PROPRIEDADE MECÂNICA DE TRAÇÃO DOS
COMPÓSITOS HÍBRIDOS (FIBRA E LAMA VERMELHA)**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Faculdade de Ciência e Tecnologia, da Universidade Federal do Pará- UFPA/ Campus Ananindeua, como requisito para obtenção do Bacharelado em Ciência e Tecnologia com ênfase em Mineral.

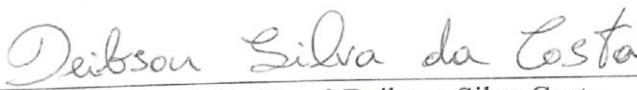
Data da Aprovação: 25 / 06 / 2019

Conceito: Excelente

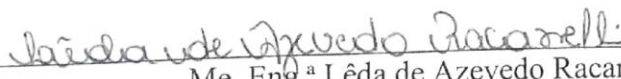
BANCA EXAMINADORA



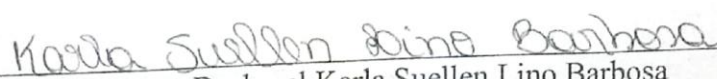
Prof.º. Me. Eng.º Alessandro Jose Gomes dos Santos
(FACeT/CAMPANIN/UFPA – Orientador)



Prof.º. Dr. Eng.º Deibson Silva Costa
(FEMat/CAMPANIN/UFPA – Coorientador)



Me. Eng.ª Leda de Azevedo Racanelli
(PRODERNA/ UFPA – Examinador Externo)



Bacharel Karla Suellen Lino Barbosa
PPGEQ/ITEC/ UFPA – Examinador Externo)

Ananindeua, PA

2019

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus que tem me sustentado e suprido todas as minhas necessidades, me proporcionado realizar meus sonhos, sem Ele nada seria possível. Toda honra e gloria seja dada a Ele.

A minha família que me apoiou, principalmente a minha mãe Waldenice e meu pai Otavio que sempre acreditaram no meu potencial. A irmã Natalia que sempre me motivou a prosseguir.

Aos meus amigos Thamires Maiara, Leonardo Miranda, Thiago Miranda, e Adriano Queiros que sempre estiveram do meu lado.

Aos amigos de sala que vivenciaram todos os momentos bons e principalmente os ruins da caminhada de formação do curso. Em especial a Dorivane Cohen que sempre esteve do meu lado e foi mais que uma colega de sala, se tornou uma amiga.

Ao meu orientador Prof. Me. Eng.º Alessandro Gomes pela confiança depositada, pela paciência em repassar o vasto conhecimento que possui.

Ao meu Coorientador Dr. Eng.º Deibson Silva pela disponibilidade de sanar todas as dúvidas relacionadas ao trabalho, e principalmente por acreditar no meu potencial de desenvolver um trabalho de qualidade.

Ao Bruno Mendes que sempre esteve disponível para me orientar em procedimentos químicos. Aos meus amigos Rogerio, Naon, Israel, Ian, e Jaymes que auxiliaram nos processos de fabricação dos compósitos.

Ao Emerson pela ajuda nos Ensaios de Tração. Ao Rogerio, pela ajuda nas análises das superfícies de fratura dos compósitos no MEV.

A todos que contribuíram de alguma forma, direta ou indireta para alcançar o obtivo, que era a realização desse trabalho.

“O sucesso é a soma de pequenos esforços
repetidos dia após dia”.
(Robert Collier).

RESUMO

Com aumento do interesse pelo desenvolvimento sustentável, a uma preocupação dos pesquisadores em criar alternativas para contribuir para a preservação do meio ambiente, desenvolvendo materiais sustentáveis e de qualidade. Nesse trabalho foram desenvolvidos materiais compósitos de matriz polimérica com inserção de lama vermelha nas frações de 10, 20, 30 e 40 % e compósitos híbridos de lama vermelha nas frações de 10, 20, 30 e 40 % e fibras de bambu na fração de 3 % no comprimento de 30 mm tratada e não tratada quimicamente, os materiais sintéticos utilizados foram: resina polimérica poliéster isoftálica, acelerador de cobalto, catalizador e desmoldante. Foram confeccionados 10 (dez) corpos de prova para cada série fabricada, utilizando o método *hand lay-up* os quais foram submetidos à avaliação por meio de ensaios de tração para determinar as propriedades mecânicas dos materiais. O ensaio mecânico realizado nos compósitos obedeceu a norma ASTM D-3039, após ensaiados os corpos de prova foram submetidos a análise da superfície de fratura através da microscopia eletrônica de varredura – MEV. Os resultados obtidos mostraram que houve aumento no limite de resistência dos compósitos em relação à matriz plena. Os melhores resultados de limite de resistência foram: 36,63 MPa na fração de LV 20 % de resíduo, 28,85 MPa na fração de LV 10 % + FTR3 % para compósitos híbridos resíduo / fibra com tratamento químico e 31,06 MPa na fração de LV 10 % + FNT3 % para compósitos híbridos resíduo / fibra sem tratamento químico. As análises morfológicas das superfícies de fraturas foram eficientes pois evidenciaram as falhas predominantes, como: arrancamento de fibras, rompimento, trincas e vazios.

Palavras-chave: Desenvolvimento Sustentável. Fibras Vegetais. Limite de Resistência.

ABSTRACT

With increasing interest in sustainable development, researchers are concerned to create alternatives to contribute to the preservation of the environment by developing sustainable and quality materials. In this work, composite materials of polymer matrix with red mud insertion in 10, 20, 30 and 40% fractions and red mud hybrid composites were developed in fractions of 10, 20, 30 and 40% and bamboo fibers in the fraction of 3 % in the length of 30 mm treated and not chemically treated, the synthetic materials used were: polymer resin isophthalic polyester, cobalt accelerator, catalyst and release agent. Ten (10) test specimens were made for each fabricated series using the hand lay-up method, which were submitted to evaluation by means of tensile tests to determine the mechanical properties of the materials. The mechanical test performed on the composites obeyed the standard ASTM D-3039, after being tested the test specimens were submitted to fracture surface analysis by scanning electron microscopy (SEM). The results showed that there was an increase in the resistance limit of the composites in relation to the full matrix. The best resistance limit results were: 36.63 MPa in the fraction of LV 20% of residue, 28.85 MPa in the fraction of LV 10% + FTR3% for hybrid composites residue / fiber with chemical treatment and 31.06 MPa in the fraction of LV 10% + FNT3% for hybrid composites residue / fiber without chemical treatment. The morphological analyzes of the fracture surfaces were efficient because they showed the predominant faults, such as fiber pullout, rupture, cracks and voids.

Keywords: Sustainable Development. Plant Fibers. Resistance Limit

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 2.1	- Classificação hierárquica de compósitos sintéticos e naturais.....	17
Figura 2.2	- Esquema de classificação de compósitos poliméricos.....	19
Figura 2.3	- Estrutura química do polímero de poliéster Isoftálico.....	20
Figura 2.4	- Fibra descontínua embebida em matriz.....	21
Figura 2.5	- Morfologia do crescimento de uma planta de bambu.....	23
Figura 2.6	- Bauxita.....	24
Figura 2.7	- Representação do mecanismo de fratura.....	26
Figura 3.1	- Fluxograma do processo de produção.....	27
Figura 3.2	- Equipamentos: a) estufa; b) balança; c) molde metálico e d) prensa hidráulica...28	
Figura 3.3	- Materiais sintéticos.....	29
Figura 3.4	- Lama Vermelha.....	29
Figura 3.5	- Bambuzal.....	30
Figura 3.6	- Resíduo industrial após o peneiramento.....	31
Figura 3.7	- Fibras: (a) feche, (b) curta.....	32
Figura 3.8	- Tratamento alcalino.....	32
Figura 3.9	- Produção dos compósitos.....	34
Figura 3.10	- Dimensões (mm) estabelecidas para corpos de prova.....	34
Figura 3.11	- Máquina universal de tração.....	35
Figura 3.12	- Corpos de prova para o MEV.....	35
Figura 4.1	- Difractometria da Lama Vermelha.....	36
Figura 4.2	- Comportamento de resistência mecânica dos compósitos LV.....	38
Figura 4.3	- Comportamento de resistência mecânica dos compósitos LV + FNT.....	39
Figura 4.4	- Comportamento de resistência mecânica dos compósitos LV + FTR.....	41
Figura 4.5	- Micrografia dos Compósitos de LV: (a) LV 10 %, (b) LV 20 %.....	43
Figura 4.6	- Micrografia dos Compósitos de LV + FNT: (a) LV 10 %, (b) LV 30 %.....	44
Figura 4.7	- Micrografia dos Compósitos de LV + FTR: (a) LV 10 %, (b) LV 30 %.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	- Algumas Características apresentadas por compósitos poliméricos.....	18
Tabela 2	- Variações de resinas existentes.....	20
Tabela 4.1	- Resistência mecânica dos compósitos LV.....	37
Tabela 4.2	- Resistência mecânica dos compósitos LV + FTR.....	39
Tabela 4.3	- Resistência mecânica dos compósitos LV + FNT.....	40
Tabela 4.4	- Comparação das propriedades mecânicas dos compósitos em estudo e de alguns compósitos poliméricos com resíduos industriais encontradas na literatura.....	42

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	-	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	-	American Society for Testing and Materials
DRX	-	Difração de Raios – X
FTR	-	Fibra Tratada
FNT	-	Fibra Não Tratada
ICDD	-	International Center for Diffraction Data
PDF	-	Power Diffraction
PNMCU	-	Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu
LV	-	Lama Vermelha
LTDA	-	Limitada.
MEV	-	Microscopia Eletrônica de Varredura
UFPA	-	Universidade Federal do Pará

LISTA DE SÍMBOLOS

σ - Tensão

F - Força aplicada

A_0 - Área da reta inicial

ε - Deformação

l - Comprimento Instantâneo

l_0 - Comprimento inicial

% - Porcentagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Problemática e justificativa	15
1.2 Objetivo	16
1.2.1 Objetivo Geral.....	16
1.2.2 Objetivos Específicos.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA.....	17
2.1 Materiais Compósitos	17
2.2 Matriz.....	19
2.2.1 Matriz polimérica.....	19
2.2.2 Resina poliéster isoftálica	20
2.3 Fibras	21
2.3.1 Bambu (<i>Bambusa vulgaris</i>)	22
2.3.2 Tratamento Alcalino das fibras.....	23
2.4 Lama Vermelha.....	23
2.5 Compósitos Híbridos	24
2.6 Ensaio Mecânico	25
2.7 Fractografia.....	26
3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	27
3.1 Equipamentos Utilizados.....	27
3.2 Materiais Utilizados.....	28
3.2.1 Materiais Sintéticos.....	28
3.2.2 Lama Vermelha.....	29
3.2.3 Fibra Vegetal de Bambu.....	30
3.3 Procedimentos Experimentais.....	30
3.3.1 Resíduo Industrial: Lama Vermelha.....	30
3.3.2 Difração de Raios – X (DRX).....	31
3.3.3 Bambu.....	31
3.3.4 Tratamento Químico nas Fibras de Bambu.....	32
3.3.5 Produção dos Compósitos	33
3.3.6 Ensaio de Resistência à Tração.....	34
3.3.7 Análises das Superfícies de Fratura.....	35

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	36
4.1 Difração de Raios – X (DRX): Lama Vermelha.....	36
4.2 Ensaios de Resistência à Tração.....	37
4.2.1 Compósito com inserção de lama vermelha.....	37
4.2.2 Compósito híbrido com lama vermelha e fibra de bambu 30 mm sem tratamento.....	38
4.2.3 Compósito híbrido com lama vermelha e fibra de bambu 30 mm tratadas quimicamente.....	40
4.2.4 Comparação dos compósitos produzidos com os encontrados na literatura.....	42
4.3 Micrografia dos compósitos.....	43
4.3.1 Micrografia do compósito LV.....	43
4.3.2 Micrografia do compósito LV + FNT.....	44
4.3.2 Micrografia do compósito LV + FTR.....	45
5 CONCLUSÃO.....	46
6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	48
REFERÊNCIAS.....	49

1 INTRODUÇÃO

O crescente desenvolvimento industrial tem aumentado a preocupação ambiental com os resíduos gerados, favorecendo a pressão de agências ambientais e incentivando a busca de competitividade no mercado através das certificações; tais desenvolvimentos fazem com que as pesquisas para utilização dos resíduos industriais sejam mais intensificadas (ANDRADE *et al.*, 2016).

Os compósitos têm sido usados como alternativa para o controle dos resíduos industriais gerados. Os materiais compósitos são formados pela mistura de dois ou mais materiais em fases distintas em propriedade química e física, produzindo um novo material, com propriedade diferente dos materiais que o formaram (NEWELL, 2010).

Segundo Rocha (2015) os compósitos poliméricos apresentam características peculiares que os fazem ser de fácil utilização nos diversos segmentos industriais, a sua diversidade de aplicação os torna atraente para a utilização na indústria além de ser economicamente viável.

Os compósitos formados por matrizes poliméricas com inserção de fibras vegetais constituem uma das mais importantes áreas de interesse na pesquisa de materiais compósitos (BORGES, 2017). O uso de fibras vegetais com intuito de oferecer reforço a matriz polimérica, traz como vantagem a introdução de propriedades desejáveis ao material final, favorecendo o baixo custo de produção e efeitos socioeconômicos positivos (SARANDI, 2002).

As cargas minerais também são consideradas utilizáveis como material de reforço em matrizes poliméricas, pois promovem muitos benefícios econômicos e aumento das propriedades mecânicas dos compósitos (FIRMINO *et al.*, 2017). Cargas (materiais de enchimento) podem ser adicionadas nas resinas por diversas razões, mas uma das principais é a redução de custos gerais na manufatura (COSTA, 2016).

Este trabalho busca contribuir para minimizar problemas ambientais gerados por resíduo industrial, produzindo materiais compósitos com inserção de resíduo industrial e fibra de bambu. Nesse trabalho foi avaliado a resistência à tração de materiais compósitos de matriz polimérica e analisada as superfícies de fratura geradas nos compósitos produzidos.

1.1 Problemática e justificativa

A uma gama de trabalhos sendo desenvolvidos para avaliar a incorporação de resíduos industriais na composição de materiais compósitos, pois é considerado uma forma de contribuir para minimizar a degradação ambiental. De uma maneira geral, pode-se considerar um compósito como sendo qualquer material multifásico que possua propriedades distintas de ambas as fases que o constituem, de tal modo que é obtida uma melhor combinação de propriedades (CALLISTER, 2012).

Há um grande interesse na indústria em impulsionar os investimentos em fibras vegetais, que a cada dia estão ocupando mais espaço dentro da rotina das pessoas. Estas fibras, com relação as sintéticas, possuem um valor de processamento bem mais elevado e, geralmente, têm maior densidade nos materiais compósitos produzidos (SANTOS, 2015).

Considerando o interesse da indústria em desenvolver as pesquisas com as fibras vegetais, este trabalho procurou desenvolver o material compósito que agregasse fibras vegetal (Bambu) e resíduo industrial (Lama Vermelha) utilizando o mínimo de processamento tecnológico nas etapas produtivas. A pesquisa buscou apresentar soluções para problemas enfrentados pelas indústrias mineradoras, que geram grande quantidade de resíduos, e com isso desenvolver um novo material.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo desse trabalho é produzir e avaliar compósito de matriz polimérica com a inserção de lama vermelha e compósitos híbridos de matriz polimérica com inserção de lama vermelha e fibras de bambu no comprimento de 30 mm tratadas e não tratadas quimicamente.

1.1.2 Objetivos específicos

- Produzir material compósito de matriz polimérica com inserção de lama vermelha nas frações de 10, 20, 30 e 40 %;
- Produzir compósito híbrido de matriz polimérica com inserção de lama vermelha nas frações de 10, 20, 30 e 40 % e fibra de bambu no comprimento de 30 mm na fração de 3%, tratadas e não tratadas quimicamente;
- Avaliar mecanicamente, por meio de ensaio de tração, os compósitos poliméricos produzidos;
- Avaliar os mecanismos de falha da superfície de fratura gerada nos compósitos poliméricos, por meio da microscopia eletrônica de varredura (MEV).

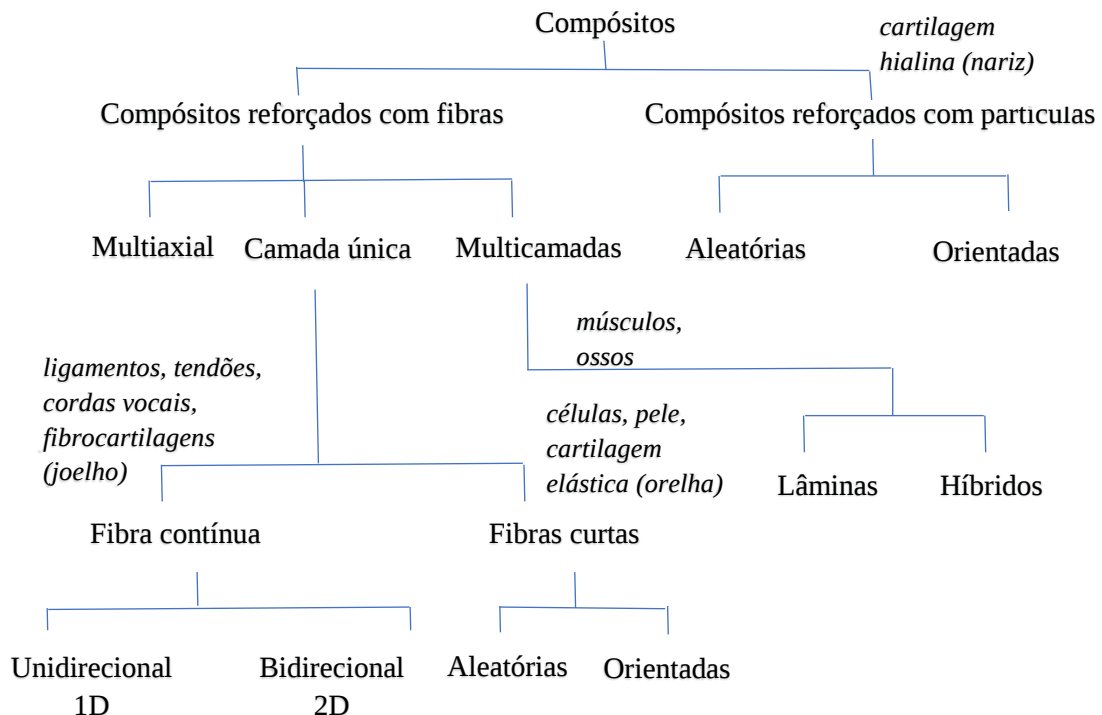
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Materiais compósitos

Os compósitos são definidos como materiais constituídos por uma mistura de fases macrocomponentes compostas por materiais que, geralmente, são diferentes sob os pontos de vista de composição química e física (COSTA, 2016). Os compósitos constituem uma classe de materiais heterogêneos, multifásicos, podendo ser ou não polímeros, em que um dos componentes, pertencentes a fase descontínua, dá a principal resistência ao esforço (componente estrutural), e o outro, contínuo, é o meio de transferência desse esforço (componente matricial) (MANO; MENDES, 2011).

Os compósitos podem ser produzidos a partir de matrizes metálicas, cerâmicas ou poliméricas. Há também, uma abundância de compósitos que ocorrem na natureza, como a madeira, que é formada por fibras de celulose resistentes e flexíveis, que são envolvidas e mantidas unidas por meio de um material menos rígido que é a lignina (ROCHA, 2015). Na Figura 2.1 é mostrado um esquema da classificação dos diversos tipos de compósitos.

Figura 2.1 - Classificação hierárquica de compósitos sintéticos e naturais.



Fonte: LEVY NETO; PARDINI (2006).

Segundo Callister (2012), as propriedades dos compósitos dependem das funções das propriedades das fases constituinte, das suas quantidades relativas e da geometria da fase dispersa, permitindo que os compósitos sejam classificados de acordo com os materiais utilizados, apresentando dessa feita vantagens e desvantagens a partir de seu processamento.

Os componentes de um compósito exercem funções específicas, dependendo de suas próprias características. A matriz de um compósito representa a superfície final, determinando importantes propriedades como resistência a agentes químicos, comportamento térmico e elétrico, aparência superficial e, muito importante, a capacidade de transferência das tensões externas para a fase dispersa. A função da fase dispersa recaem no aspecto rigidez / estabilidade dimensional, podendo também melhorar as resistências tênsil e ao impacto do material (RABELLO, 2000). Na Tabela 1 pode ser observadas algumas características dos compósitos poliméricos.

Tabela 1- Algumas Características apresentadas por compósitos poliméricos.

Leveza	Devido ao peso específico das resinas e das fibras, os compósitos poliméricos apresentam um baixo peso específico.
Resistência Química	Materiais com excepcional inércia química, permitindo sua utilização em ambientes quimicamente agressivos.
Durabilidade	Material de alta durabilidade em consequência de sua composição e a ligação polimérica formada durante o processo de moldagem.
Resistência Mecânica	Apresenta excelente resistência mecânica devido as suas características e a variedade de combinações que podem ser realizadas entre as resinas e o material de reforço.
Resistência as Intempéries	Grande resistência aos problemas causados pelos ventos, a umidade, o sol e as mudanças climáticas.
Facilidade de Manutenção	Sujeitos a fáceis e simples técnicas de manutenção.
Flexibilidade Arquitetônica	Os compósitos têm grande vantagem sobre os materiais estruturais, devido a sua fácil modelagem às formas complexas.

Fonte: MARTINS NETO (2010).

2.2 Matriz

2.2.1 Matriz polimérica

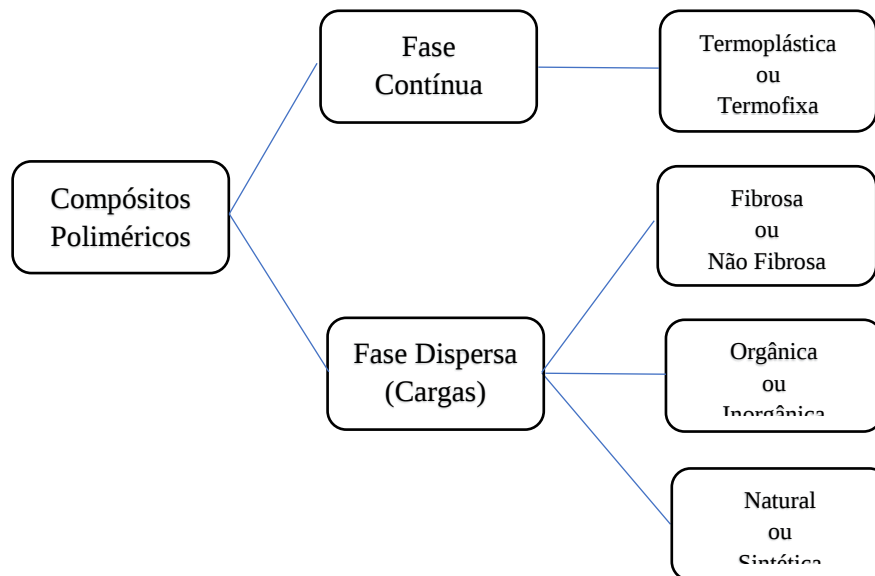
A matriz de um material compósito pode ser cerâmica, metálica ou polimérica. A escolha da matriz está diretamente ligada a aplicação do material compósito e as características que se pretende obter, como por exemplo, quando se busca a ductilidade deste compósito as matrizes empregadas são de metais e polímeros; já com a matriz cerâmica é aplicado o reforço quando se quer uma melhor tenacidade à fratura (CALLISTER, 2012).

A maioria dos compósitos reforçados por fibras usa materiais poliméricos como a fase matriz, embora algumas aplicações se beneficiem do uso de metais ou de cerâmicas. Quando as propriedades mecânicas da matriz não são cruciais a aplicação, resinas poliéster fornecem a escolha mais econômica (NEWELL, 2010).

O papel da matriz é manter a organização do compósito, favorecendo a orientação das fibras e seu espaçamento, transmitir as forças de cisalhamento entre as camadas de fibra (para que o compósito resista a dobras e a torções) e proteger a fibra de danos superficiais (MANO, 2004).

As propriedades da matriz polimérica dependem da composição da resina e conseqüentemente do tipo de polímero que as constitui. (BORGES, 2017). A Figura 2.2 demonstra um esquema de classificação de compósito de matriz polimérica.

Figura 2.2 - Esquema de classificação de compósitos poliméricos



Fonte: RABELLO (2000). Adaptado pelo autor

1.1.3 Resina poliéster isoftálica

As resinas de poliéster são uma família de polímeros formados da reação de ácidos orgânicos dicarboxílicos (anidrido maleico ou ftálico) e glicóis, que, quando reagidos, dão origem a moléculas de cadeias longas lineares. O tipo de ácido influencia as propriedades finais da resina e poliésteres ortoftálicas, isoftálicas e tereftálicas podem ser produzidas (SILVA, 2010). A tabela 2 apresenta algumas variações de resinas existentes.

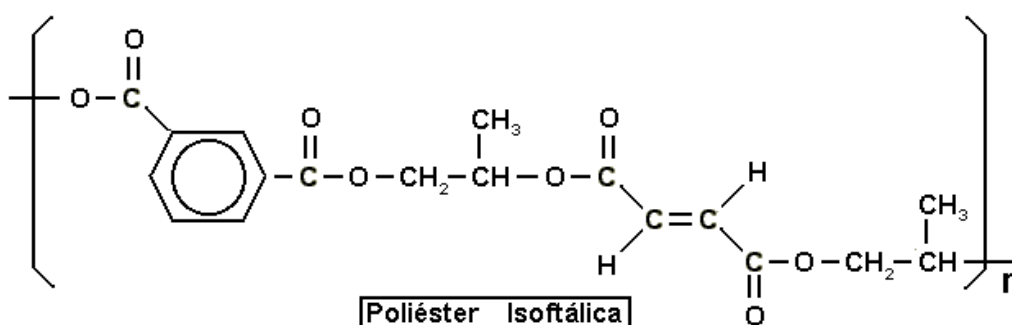
Tabela 2- variações de resinas existentes.

Ortoftálica	Resina mais comum de menor custo para usos básicos não nobres
Tereftálicas	Possui resistências físicas pouco superiores a ortoftálica porém baixa resistência a UV
Isoftálicas	Melhores características mecânicas, químicas e térmicas que as anteriores
Isoftálica c/ NPG	O NPG melhora a resistência a hidrólise
Bisfenólica	Possui melhores características químicas e térmicas

Fonte: SILAEX (2019)

O ácido isoftálico não forma anidrido cíclico, não sofre desvantagem de regeneração, como no caso das ortoftálicas, e conseqüentemente, podem ser obtidos poliésteres de alto peso molecular, ou seja, com cadeias mais longas. Tais cadeias conferem ao produto final maior resistência mecânica pois absorvem melhor impactos. Conseqüentemente tornam-se polímeros de maior resistência química e térmica (SILAEX, 2019). A Figura 2.3 mostra esquematicamente a estrutura química do polímero de poliéster Isoftálico.

Figura 2.3 - Estrutura química do polímero de poliéster Isoftálico.



Fonte: SILAEX (2019)

2.3 Fibras

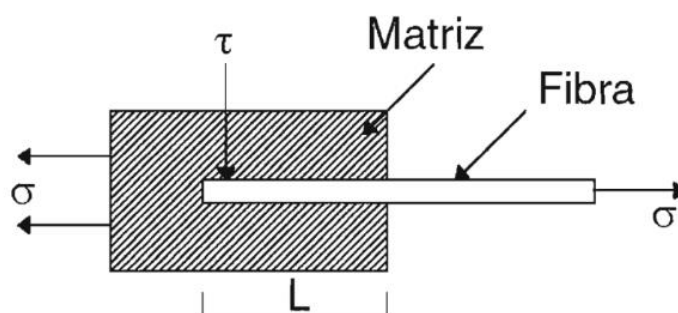
As fibras naturais são aquelas encontradas na natureza e podem ser de origem mineral (amianto), animal (lã e seda) e vegetal (algodão, sisal, linho, abacaxi, curauá, entre outras). As fibras vegetais são as de maior interesse econômico devido a sua diversidade da flora mundial e por ser uma fonte de recursos renovável (ROCHA, 2015).

As fibras vegetais recebem a sua classificação de acordo como a forma de sua origem e podem ser agrupadas em fibras de semente (algodão), fibras de caule (juta, linho, cânhamo), fibras de folhas (bananeira, sisal, piaçava, curauá, abacá, henequém), fibras de fruto (côco) e fibras de raiz (zacatão). As fibras oriundas do caule ou das folhas são chamadas fibras duras e são mais utilizadas como reforço em compósitos poliméricos (SILVA, 2003).

Nas fibras naturais, a celulose é um dos seus componentes principais e é um fator determinante das propriedades mecânicas. A celulose é um polissacarídeo, composto de carbono, oxigênio e hidrogênio e sua fórmula química é $(C_6H_{10}O_5)_n$. Durante a síntese da celulose, as ligações poliméricas formam longas cadeias de maneira que as moléculas ficam muito próximas através de longos segmentos, dando origem a fortes ligações químicas secundárias intermoleculares que são responsáveis pela grande resistência dos materiais (ROCHA, 2015).

Segundo Rabello (2000) as fibras são as cargas mais eficazes para melhorar as propriedades mecânicas dos polímeros em virtude da elevada razão de aspecto que possuem. As fibras podem ser dispostas de diversas maneiras, e a escolha do seu alinhamento depende do tipo de aplicação. A Figura 2.4 mostra a fibra descontínua embebida em matriz.

Figura 2.4 - Fibra descontínua embebida em matriz.



Fonte: RABELLO (2000).

2.3.1 Bambu (*Bambusa vulgaris*)

O bambu é predominantemente tropical, renovável, perene, de produção anual, de rápido crescimento, com centenas de espécies espalhadas por todo o planeta e com milhares de aplicações. Considerado um rápido sequestrador de carbono atmosférico possui, ainda, características físicas e mecânicas que o tornam apto a ser utilizado no desenvolvimento de produtos normalmente produzidos com madeira nativa ou de reflorestamento (PEREIRA, 2012).

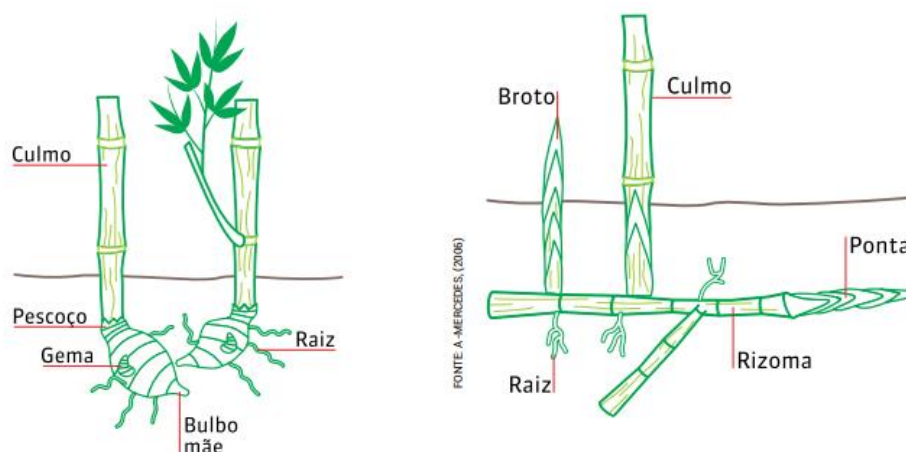
A cultura do bambu é condizente com preceitos de sustentabilidade, já que por ser uma planta perene, apresenta um rápido crescimento e produção anual de colmos, pode ser rapidamente implementada e explorada no campo e, se adequadamente manejado, pode ser utilizado geração após geração por longos períodos de tempo num mesmo local (PEREIRA, 2012).

O bambu traz excelentes vantagens em relação a outras fibras, por conta do ciclo de corte. Após o primeiro corte, aos três anos, seu ciclo passa a ter periodicidade bienal, o que representa maior produção de matéria-prima quando se adota como critério a área de plantação e o tempo. O reduzido tempo de corte se deve ao fato de que os novos colmos de bambu brotam assexuadamente ano após ano, sendo seu crescimento máximo atingido em alguns meses. (SANTI, 2015)

No ano de 2011 foi criado no Brasil a Lei n.º 12.484/2011, que trata sobre a Política Nacional de Incentivo ao Manejo Sustentado e ao Cultivo do Bambu (PNMCB), a lei estabelece as diretrizes para o cultivo da planta, buscando a valorização do bambu como produto agro-silvo-cultural capaz de suprir necessidades ecológicas, econômicas, sociais e culturais; com grande potencial de desenvolvimento tecnológico do manejo sustentado (PLANALTO, 2011).

A Figura 2.5 mostra a morfologia do crescimento de uma planta de bambu, destacando as partes que os compõem.

Figura 2.5 - Morfologia do crescimento de uma planta de bambu



Fonte: DRUMOND (2017).

2.3.2 Tratamento Alcalino das Fibras

Os tratamentos químicos são aqueles em que se emprega algum tipo de substância química que irá reagir com a fibra, permitindo maior interação entre os constituintes do compósito. Essa ligação entre os diferentes materiais pode ser uma ligação química efetiva, especialmente as de caráter covalente, ou do tipo ligação hidrogênio ou, ainda, ácido-base. (ALBINANTE; PACHECO; VISCONTE, 2013)

A escolha de um tratamento nas fibras vegetais engloba vários fatores que devem ser considerados, tais como, a toxicidade do reagente, facilidade de remoção do reagente em excesso, custo do processo, disponibilidade de recursos, tempo de aplicação, quantidade de resíduos gerados (THOMAS, 2011).

Segundo Borges (2017) o tratamento alcalino nas fibras de bambu, geram uma diminuição das rugosidades das mesmas, remoção de impurezas das fibras, remoção de componentes hidrófilos das fibras diminuindo seu caráter hidrófilo, gerando com isso uma melhor interação na interface matriz/fibras provocando um aumento da resistência à tração dos compósitos.

2.4 Lama Vermelha

A Bauxita é o minério a partir do qual se obtém o alumínio, o terceiro elemento em maior abundância na crosta terrestre, depois do oxigênio e silício. Para que a produção de alumínio seja economicamente viável, a bauxita deve apresentar no mínimo 30 % de óxido de

alumínio (Al_2O_3) aproveitável. São necessários 5 a 7 toneladas de bauxita para produzir 2 toneladas de alumina (óxido de alumínio), que se convertem em 1 tonelada de alumínio. A bauxita apresenta coloração avermelhada e é encontrada sobretudo em regiões tropicais e subtropicais do planeta, por ação do intemperismo sobre aluminossilicatos (ABAL, 2017)

Ocorrências de bauxita são generalizadas, principalmente em áreas tropicais, onde tem havido um intemperismo intenso para gerar bauxita; no entanto, os recursos são firmemente retidos por alguns concorrentes. Geralmente, a bauxita ocorre em uma camada fina (tipicamente, de 2 a 5 metros) na superfície ou próxima dela (HYDRO, 2019).

A lama vermelha é obtida a partir do refino da bauxita, através de um processo conhecido como o processo Bayer. O Processo Bayer se utiliza da propriedade dos hidróxidos de alumínio presentes na bauxita se dissolverem em solução de hidróxido de sódio. Nesse processo, as espécies que contém alumínio são dissolvidas formando um licor verde que é utilizado na produção de alumina. Os resíduos de óxidos de ferro e outros compostos presentes na bauxita são separados, gerando um resíduo insolúvel, altamente alcalino, denominado lama vermelha (*red mud*) (ANTUNES; CONCEIÇÃO; NAVARRO, 2011). Na Figura 2.6 mostra o minério de bauxita.

Figura 2.6 - Bauxita



Fonte: HYDRO (2019).

2.5 Compósitos híbridos

Os materiais compósitos híbridos apresentam na sua estrutura, combinações de vários tipos de reforços, combinando fibras e partículas no mesmo material ou ainda combinando mais de um tipo de fibra ou de partícula no mesmo material (BARROS, 2006).

Segundo Callister (2012) os compósitos híbridos apresentam a melhor combinação de propriedades, do que as apresentadas por compósitos que contém apenas um único tipo de fibra. A junção desse material geralmente diminui as falhas que podem ser observadas por esses

materiais.

Existe uma variedade de aplicações para materiais compósitos híbridos, destacando-se como as principais aplicações a fabricação de componentes estruturais de baixo peso para transportes terrestres, aquáticos e aéreos, artigos esportivos e componentes ortopédicos de baixo peso (CALLISTER, 2012).

2.6 Ensaio mecânico

As propriedades mecânicas dos materiais poliméricos são de grande importância e interesse científico e tecnológico, devido aos requisitos e/ ou exigências que diversos polímeros existentes devem atender na maior parte de suas aplicações. Valores de propriedades mecânicas, tais como resistência a tensão, módulo de elasticidade, alongação, entre outros, permitem a comparação do desempenho mecânico dos diferentes polímeros, assim como a avaliação dos efeitos decorrentes da modificação do polímero base (reforços, cargas, aditivos, plastificantes), para especificações etc. (BORGES, 2017).

O ensaio de tração fornece inúmeras informações sobre um material. Embora diversas normas ASTM específicas governem os procedimentos de ensaio próprios para diferentes tipos de matérias, os dados de força e de alongamento podem ser usados para calcular quantidades fundamentais, tais como a tensão de engenharia (σ) (NEWELL, 2010).

A Equação 1 a seguir demonstra a fórmula de tensão dos materiais, cálculo da tensão nominal.

$$\sigma = \frac{F}{A_0}, \quad (1)$$

Onde

σ = Tensão

F = Força aplicada

A_0 = Área da reta inicial

A Equação 2 a seguir demonstra a fórmula da deformação na engenharia.

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0}, \quad (2)$$

Onde

ε = Deformação

l = Comprimento instantâneo

l_0 = Comprimento inicial

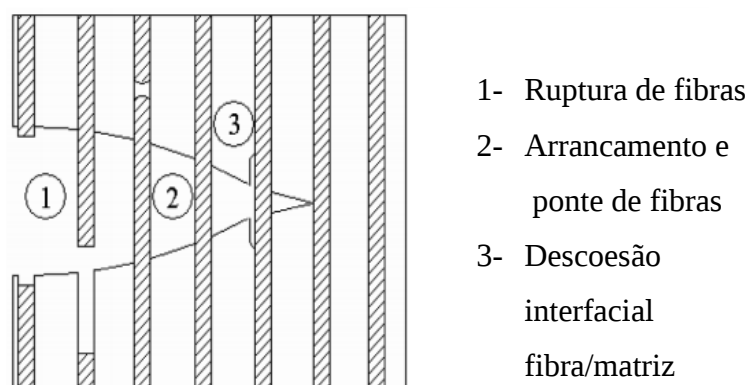
2.7 Fractografia

Ver diretamente as características seria, frequentemente, a melhor maneira de entender a estrutura de um material. Algumas características, incluindo o tamanho dos grãos, incluindo defeito no material, trinca estrutura presente em liga são, por vezes, visíveis ao olho nu. Frequentemente, entretanto as características estruturais de interesses são muito pequenas para serem vistas diretamente (NEWELL,2010).

As fraturas geralmente ocorrem durante a solicitação de serviço e/ou esforços mecânicos da peça de trabalho do componente. Com isso fica a responsabilidade de se efetuar o levantamento da causa do ocorrido para que a fratura seja documentada, através de fotos dos aspectos gerais detalhados. Nesse momento que são de responsabilidade do investigador dar as informações esclarecidas e seguras sobre todos os tipos de fraturas ocorridos (SANTOS, 2015).

Os microscópios eletrônicos de varredura (MEVs) usam o feixe de secundário ou de eletros retroespalhados para projetar uma imagem em um monitor, semelhante ao que ocorre em uma televisão ou em uma tela de computador. Características superficiais são diretamente visíveis, o que torna o MEV ideal para superfícies rugosas, mesmo sobre baixa ampliação (NEWELL, 2010). A Figura 2.7 mostra uma representação esquemática do mecanismo de fratura.

Figura 2.7 - Representação do mecanismo de fratura

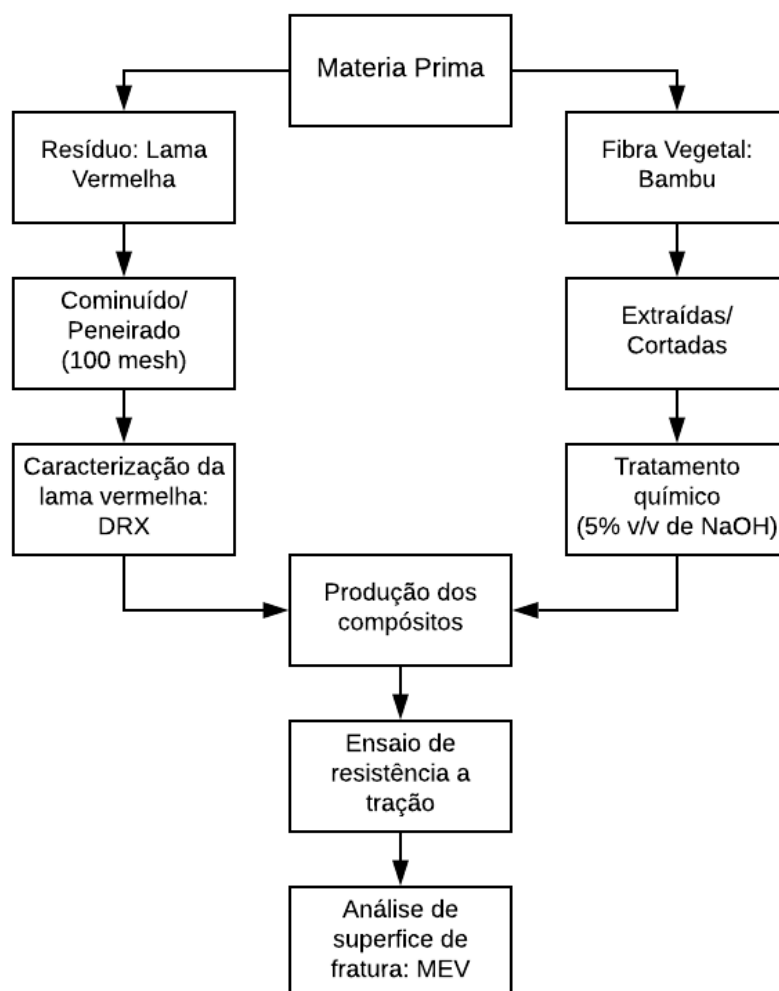


Fonte: MOURA; MORAIS; MAGALHÃES (2010)

3 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

O método empregado para a produção experimental do trabalho foi o método manual também chamado *hand lay-up*, onde buscou-se utilizar materiais com baixo custo para a produção dos compósitos. A Figura 3.1 ilustra um fluxograma do processo adotado para a produção experimental do trabalho.

Figura 3.1- Fluxograma do processo de produção



3.1 Equipamentos Utilizados

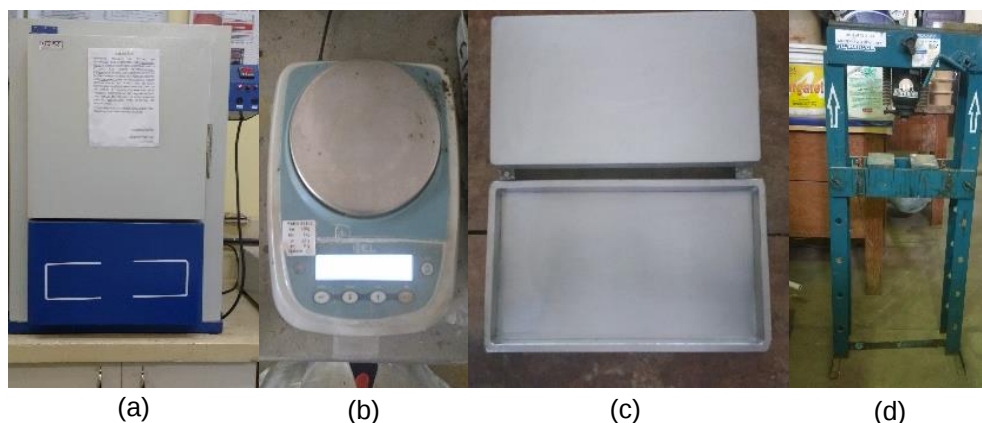
Equipamentos utilizados na produção do trabalho

- Estufa, de Leo – Equipamentos Laboratoriais, T 50 °C a 250 ° C.;
- Balança, Urano Brasil;
- Molde Metálico, Dimensões (320 mm x 172,5 mm x 5 mm);
- Prensa Hidráulica, Marcon, modelo MPH-15, capacidade de 15 ton.;

- Máquina de Corte, DeWALT, modelo DW860B.
- Máquina Universal de Ensaio Mecânicos, KRATOS, modelo IKCL3.
- Microscópio Eletrônico de Varredura, HITACHI, modelo TM 3000.

A Figura 3.2 ilustra alguns dos equipamentos utilizados.

Figura 3.2 - Equipamentos: a) estufa; b) balança; c) molde metálico e d) prensa hidráulica



3.2 Materiais Utilizados

3.2.1 Materiais Sintéticos

- A Resina polimérica utilizado no trabalho foi o poliéster isoftálica (Resina AM 910 AEROJET), de média reatividade, amarelada, não acelerada, com baixa viscosidade, adquirida na empresa de Aerojet Brasileira de Fiberglass LTDA.
- Acelerador de Cobalto, produto comercial denominado CAT MET UMEDECIDO (Solução de Octoato de cobalto 1,5 %), adquirida na empresa de Aerojet Brasileira de Fiberglass LTDA.
- O agente de cura utilizado foi o catalisador, produto comercial BUTANOX M-50, marca de AEROJET (Peróxido de metil etil cetona [MEK-P]), adquirido da empresa Aerojet Brasileira de Fiberglass LTDA.
- O desmoldante utilizado foi o desmoldante líquido para fibra de vidro, produto adquirido da empresa Aerojet Brasileira de Fiberglass LTDA.

A Figura 3.3 mostra os materiais sintéticos utilizados na preparação das placas de compósitos: catalisador, acelerador de cobalto, desmoldante e resina poliéster isoftálica.

Figura 3.3 - Materiais sintéticos



3.2.2 Lama Vermelha

O Resíduo industrial de lama vermelha utilizado no decorrer do trabalho, foi fornecido pela empresa Hydro Alunorte, localizada no Distrito de Murucupi, Barcarena – PA. O resíduo industrial de lama vermelha, é gerado no processo de produção de alumina a partir do refino da bauxita. A Figura 3.4 mostra o resíduo industrial utilizado.

Figura 3.4 - Lama Vermelha



3.2.3 Fibra Vegetal de Bambu

Os colmos de bambu utilizadas no presente trabalho foram extraídos de maneira manual do campus profissional I (Um) da Universidade Federal do Pará – UFPA. A Figura 3.5 mostra o bambuzal de onde os colmos foram extraídas.

Figura 3.5 - Bambuzal



3.3 Procedimentos Experimentais

3.3.1 Resíduo Industrial: Lama Vermelha

O resíduo industrial de lama vermelha foi submetido a operação de secagem em estufa por 24 h à uma temperatura de 105 °C, em seguida foi cominuído em moinhos de bola. Após a cominuição o resíduo industrial de lama vermelha sofreu peneiramento manual em peneira de 100 mesh da série Tyler (tamanho da abertura 0,147 mm), no intuito de separar o resíduo na granulometria desejado para o trabalho. A Figura 3.6 ilustra o resíduo após o peneiramento.

Figura 3.6 - Resíduo industrial após o peneiramento



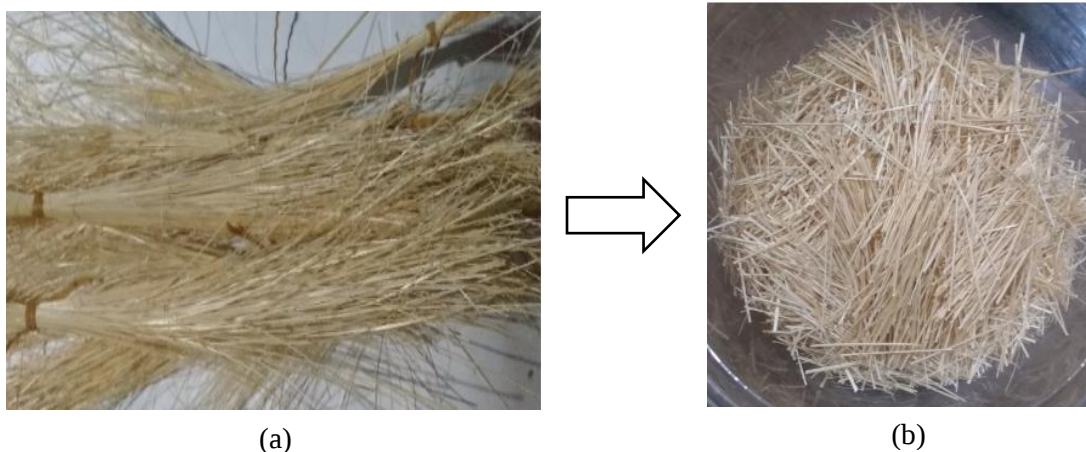
3.3.2 Caracterização da Lama Vermelha: Difração de Raios – X (DRX)

O resíduo industrial de lama vermelha foi caracterizado por meio de Difração de Raio-X (DRX), com o intuito de verificar os minerais presentes na amostra. Para a análise foi utilizado um difratômetro de Raios – X: D8 Advance da Bruker, com tubo de Raios – X. Os dados foram adquiridos através do software X Pert Data collector, versão 3.0, para o tratamento dos dados utilizou-se o software X Pert High Score Plus, versão 3.0, da PAnalytical consultando o banco de dados PDF (Power Diffraction File) do ICDD (International Center for Diffraction Data).

3.3.3 Bambu

Após a extração dos colmos de bambu, os colmos foram armazenados em baldes com água, em seguida foi feito a extração das fibras de forma manual, onde foram cortadas com auxílio de uma tesoura metálica no tamanho de 30 mm. A Figura 3.7 mostra o processo de corte das fibras de bambu.

Figura 3.7- Fibras: (a) Feixes de fibra; (b) Fibras 30 mm.



3.3.4 Tratamento Químico nas Fibras de Bambu

Após a extração das fibras de bambu, foi realizado o tratamento químico, onde as fibras foram depositadas em um recipiente plástico e deixadas imersas em água por 24 h, após esse tempo foi adicionado ao recipiente uma solução alcalina de hidróxido de sódio – NaOH de 5 % v/v, onde as fibras permaneceram na solução durante 2 h, em seguida foram lavadas com água corrente, por fim as fibras foram colocadas para serem secas em estufa por aproximadamente 1 h. A Figura 3.8 ilustra a fibras de bambu em solução de hidróxido de sódio.

Figura 3.8- Tratamento químico.



3.3.5 Produção dos Compósitos

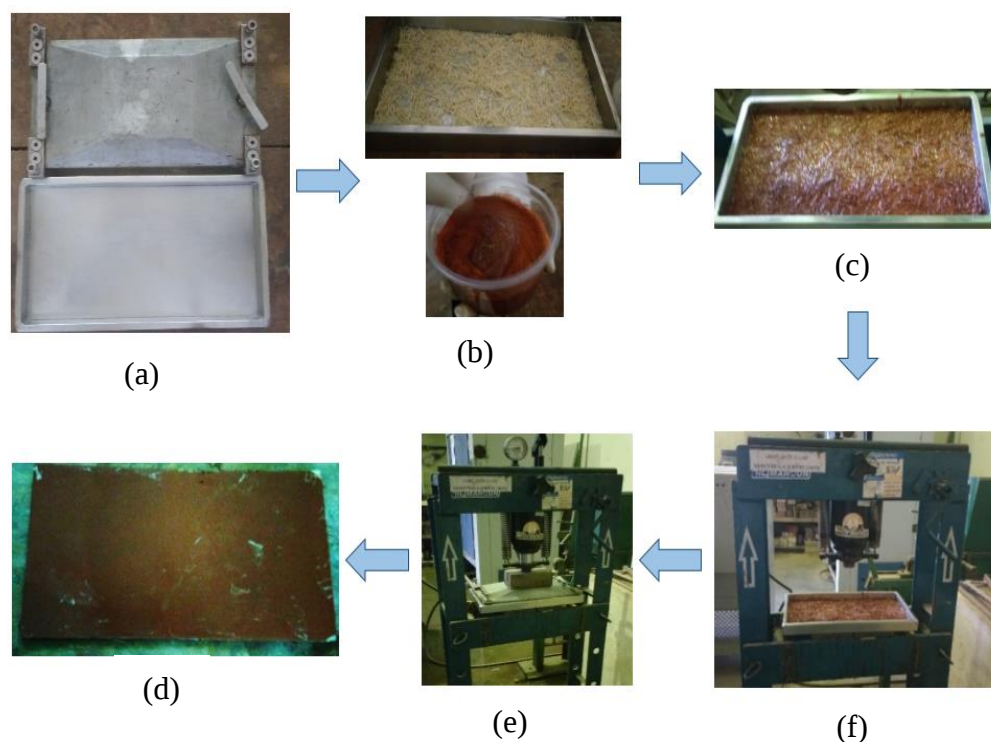
Para a produção dos compósitos de matriz polimérica com inserção de lama vermelha e compósito polimérico híbrido com inserção de lama vermelha e fibra de bambu, tratadas quimicamente com hidróxido de sódio 5 % v/v e não tratada quimicamente, nos tamanhos de 30 mm, foi utilizado um molde metálico na forma retangular nas dimensões de 320 mm x 172,5 mm x 5 mm. Etapas da Produção dos Corpos de Prova.

1- Primeiramente foram calculadas as massas dos materiais e o volume de resina Isoftálica necessárias para a fabricação das placas compósito, para cada fração se estabeleceu um valor que correspondia entre 10 a 40 % do volume total da placa para resíduos, mais 3 % da proporção total para as fibras.

2- Com os valores devidamente estabelecidos utilizou-se uma balança para determinar as massas e volumes de todo o material necessário para produção de cada placa de compósito de acordo com a porcentagem desejada. Tanto as fibras quanto o resíduo, após a pesagem foram colocados na estufa a uma temperatura de 105° C por 10 e 20 minutos, respectivamente, para a retirada da umidade.

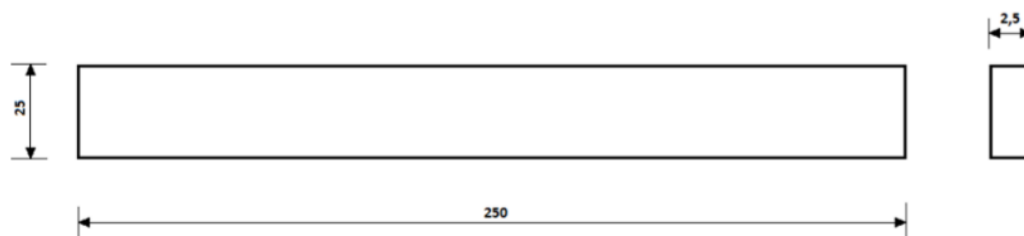
3- Posteriormente foram produzidas as placas de compósitos, se iniciou a produção pelas placas de matriz sem carga, em seguida foram produzidas as placas de resina poliéster Isoftálica com inserção de resíduo de lama vermelha nas proporções de 10, 20, 30 e 40 % de resíduo. Na sequência foram confeccionadas as placas de compósitos híbridos resíduo/ fibra utilizando o resíduo industrial de lama vermelha nas proporções 10, 20 e 30 e 40 %.

4- As placas produzidas foram prensadas em prensa hidráulica com carga de 25 kN durante o tempo estimado de 20 minutos. Após a produção das placas, foram realizados os cortes nas placas para adequação dos corpos de prova para o ensaio de tração. A norma adotada na realização dos ensaios de tração foi a ASTM D3039. As placas foram cortadas com o auxílio de uma máquina de corte, marca DeWALT, modelo DW860B. A Figura 3.9 mostra a sequência de produção dos compósitos.

Figura 3.9 - Produção dos compósitos

3.3.6 Ensaio de Resistência à Tração

Os ensaios mecânicos de tração foram realizados com base na norma ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) ou ASTM (American Society for Testing and Materials). A norma estabelece que as dimensões dos corpos de prova para ensaios de tração sejam de 250 mm x 25 mm x 2,5 mm, como pode ser observado na Figura 3.10.

Figura 3.10 - Dimensões (mm) estabelecidas para corpos de prova

Fonte: ASTM D3039 (2005).

Os ensaios foram feitos de acordo com a norma ASTM D3039, na máquina universal de tração, da marca KRATOS modelo IKCL3, foi utilizado uma célula de carga de 5 kN, e foi adotando uma velocidade de 2 mm / min e comprimento útil de 180 mm. A Figura 3.11 mostra a máquina universal de tração.

Figura 3.11 - Máquina universal de tração.



3.3.7 Análises das Superfícies de Fratura

Após a realização dos ensaios mecânicos, foram analisadas as superfícies de fratura dos corpos de prova de modo a se estudar os mecanismos de falhas de cada material fabricado. A superfícies de fratura dos compósitos foi analisada por microscopia eletrônica de varredura MEV. Para as análises, primeiramente foram preparadas as amostras nos tamanhos adequados, em seguida as amostras foram levadas ao equipamento para serem realizadas a captura das imagens. A Figura 3.12 a seguir mostra os corpos de prova para a microscopia eletrônica de varredura (MEV).

Figura 3.12- Corpos de prova para o MEV.



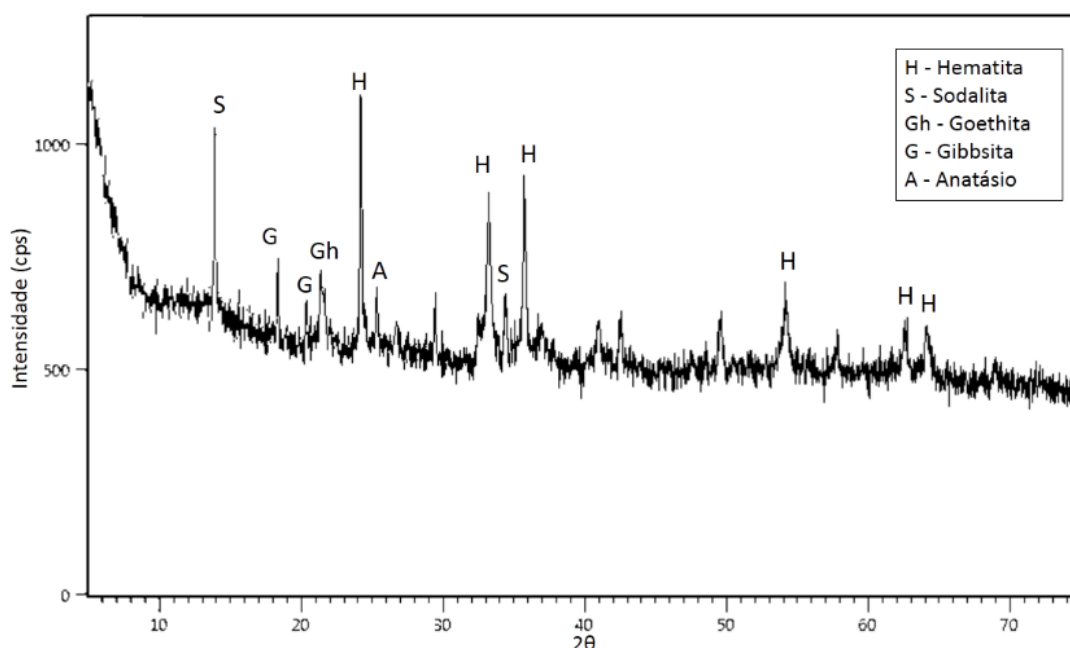
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Difração de Raios – X (DRX): Lama Vermelha

As composições mineralógicas da lama vermelha foram analisadas por meio da Difração de Raio-X. No difratograma da lama vermelha apresentado na Figura 4.1 identifica-se como os principais componentes mineralógicos de acordo com suas fichas PDF em ordem decrescente de intensidade a Hematita (Fe_2O_3), Sodalita ($\text{NaAlSi}_4\text{O}_{12}\text{Cl}$), Gibsita ($\text{Al}(\text{OH})_3$), Goethita ($\text{FeO}(\text{OH})$) e Anatásio (TiO_2). Estes resultados estão de acordo com as composições mineralógicas encontradas por outros pesquisadores (COSTA, 2016; CUNHA, 2015; ANTUNES et al., 2011).

Nota-se que a LV no intervalo de temperaturas de 500 °C e 1000 °C, apresenta picos de difração, em destaque a hematita. Segundo Cunha (2015) em temperatura mais baixas a hematita é encontrada como goetita, tal modificação se dá pela transformação de fase.

Figura 4.1- Difratometria da Lama Vermelha



4.2 Ensaios de Resistência à Tração

4.2.1 Compósito com inserção de lama vermelha

A caracterização mecânica em relação a resistência a tração da matriz polimérica sem carga e compósitos com lama vermelha estão mostrados na Tabela 4.1

Tabela 4.1 – Resistência mecânica dos compósitos RLV.

Fração Mássica Lama Vermelha	Resist. Tração (MPa) (Desvio Padrão)	Alongamento (mm)	Módulo de Elasticidade (GPa)
0 %	24,24 ($\pm$ 2,38)	4,08	1,03
LV 10 %	32,99 ($\pm$ 5,05)	4,47	1,38
LV 20 %	36,63 ($\pm$ 1,91)	5,27	1,36
LV 30 %	30,90 ($\pm$ 3,21)	4,79	1,26
LV 40 %	29,00 ($\pm$ 1,93)	3,94	1,35

Verifica-se pelos resultados da Tabela 4.1 que as resistências a tração dos compósitos com resíduo de lama vermelha são maiores do que a resistência a tração da matriz polimérica sem carga, demonstrando que o resíduo de lama vermelha apresentou um desempenho a função de reforço efetivo, evidenciando melhorias da resistência a tração dos compósitos. Com relação ao módulo de elasticidade não houve diferenças expressiva entre os compósitos e a matriz sem carga, mantendo resultados próximos.

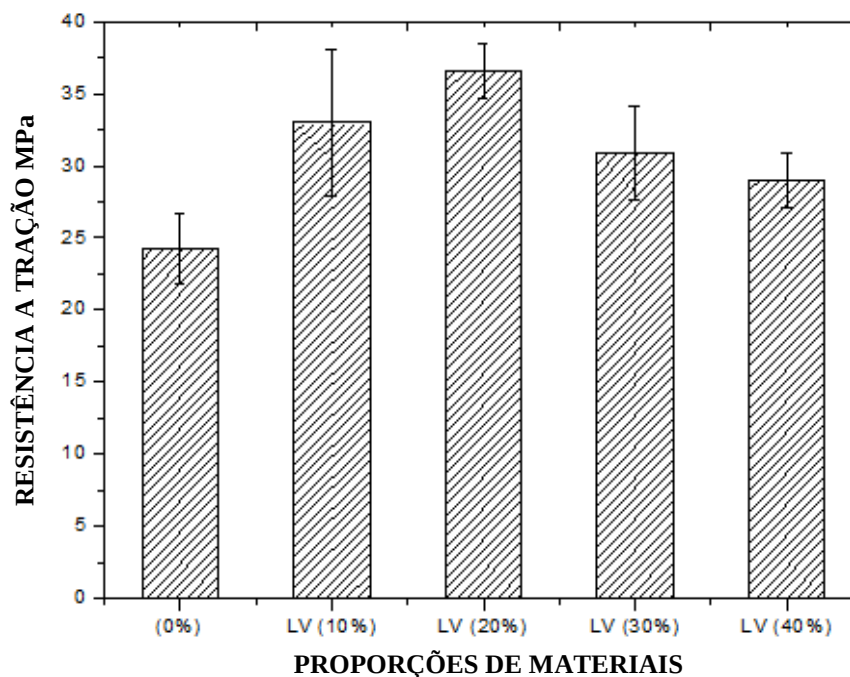
A fração de compósito produzido com lama vermelha que apresentou o melhor resultados foi o LV 20 % com a resistência de 36,63 MPa, e o compósito que apresentou menor desempenho foi o LV 40 % com a resistência de 29,00 MPa.

Os resultados de resistência a tração encontrados nos compósitos de lama vermelha produzidos por Costa (2016), apresentaram um resultado inferior ao da matriz sem carga no ensaio de resistência a tração, desse modo funcionando como carga de enchimento, não contribuindo para o aumento da resistência a tração dos compósitos.

Segundo Cunha (2015), com o aumento da fração de resíduo dentro da matriz, a possibilidades de aglomeração das partículas de LV, dificultando a dispersão destas no polímero, favorecendo o enfraquecimento da adesão poliéster/LV. Com a não dispersão das partículas há uma tendência de diminuição da resistência a tração conforme aumenta-se a proporção de lama vermelha dentro da matriz polimérica.

A Figura 4.2 ilustra o gráfico de barra comparativo dos compósitos de matriz sem carga e dos compósitos com adição de lama vermelha nas frações de LV 10 %, LV 20 %, LV 30 % e LV 40 %.

Figura 4.2- comparação da resistência mecânica dos compósitos LV.



A Figura 4.2 mostra o gráfico do comportamento de resistência à tração em função proporção de resíduo, pode-se observar que a fração de resíduo de LV 20 % se destaca das demais e apresenta um desvio padrão inferior das outras proporções.

4.2.2 Compósito Híbrido com Lama Vermelha e Fibra de Bambu 30 mm Sem Tratamento.

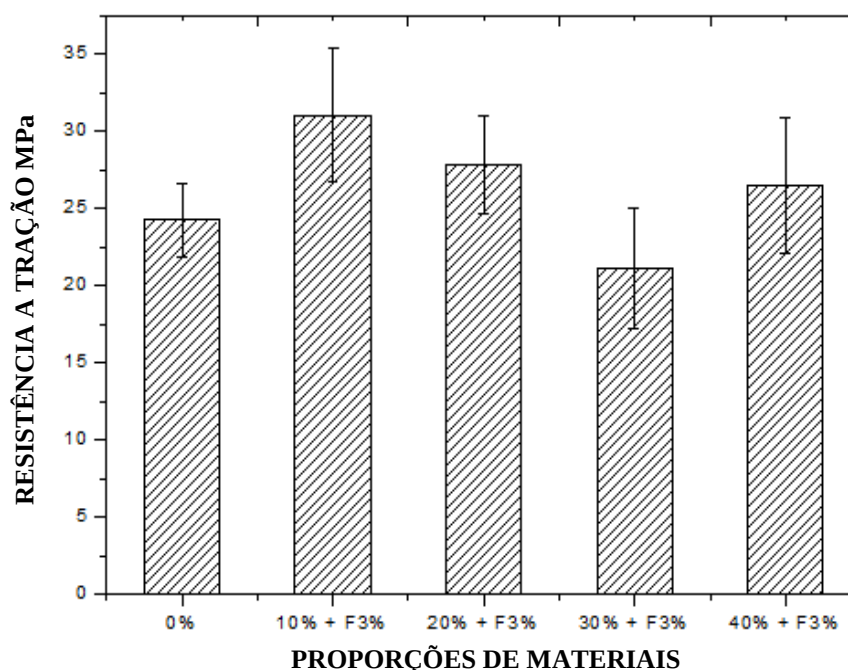
Os compósitos híbridos com inserção de lama vermelha e fibra de bambu de 30 mm sem tratamento foram caracterizados em relação a resistência a tração, onde foram obtidos os seguintes resultados como mostra a Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Resistência mecânica dos compósitos híbridos LV + FNT.

Fração mássica lama vermelha + fibras	Resist. Tração (MPa) (Desvio Padrão)	Alongamento (mm)	Módulo de elasticidade (GPa)
0%	24,24 ($\pm 2,38$)	4,08	1,03
LV 10% + FNT3%	31,06 ($\pm 4,28$)	5,92	1,05
LV 20% + FNT3%	27,83 ($\pm 3,18$)	5,63	0,92
LV 30% + FNT3%	21,14 ($\pm 3,91$)	5,20	0,71
LV 40% + FNT3%	26,53 ($\pm 4,39$)	5,03	1,00

Na Tabela 4.2 é mostrado os resultados de resistência à tração da matriz sem carga e dos compósitos híbridos com inserção de lama vermelha e reforço de fibras de bambu 30 mm não tratadas, observou-se que a medida que aumenta a fração de resíduo, ocorre uma sutil diminuição na resistência, com exceção dos compósito LV 30 % + FNT3 %, que ocorreu uma diminuição drástica, onde o resíduo e as fibras não funcionaram como carga de reforço, pois sua resistência foi inferior ao da matriz sem carga, tal situação pode ser justificada por conta do processo de fabricação, que pelo fato de ser manual, pode ter ocasionado algum problema na na impregnação e compactação dos compósitos, o que pode ter interferido negativamente na resistência dos mesmos.

Figura 4.3 - Comportamento de resistência mecânica dos compósitos híbridos LV + FNT.



A Figura 4.3 ilustra o gráfico de barra comparativo da matriz sem carga e dos compósitos híbridos com inserção de lama vermelha nas frações de LV 10 %, LV 20 %, LV 30 % e LV 40 % e reforço de fibras de bambu na fração FTR3 % de 30 mm não tratadas, quanto as suas resistências à tração. Com o gráfico verificasse visualmente o comportamento dos compósitos com relação a sua resistência mecânica, ratificando o que anteriormente já identificado como o melhor resultado apresentado.

4.2.3 Compósito Híbrido com Lama Vermelha e Fibra de Bambu 30 mm Tratadas Quimicamente.

Os compósitos poliméricos com inserção de lama vermelha e reforço de fibra de bambu de 30 mm tratadas quimicamente, foram submetidos a avaliação mecânica, para verificação da resistência por meio do ensaio de tração, onde foram obtidos os seguintes resultados como mostra a Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Resistência mecânica dos compósitos híbridos LV + FTR.

Fração mássica lama vermelha + fibras	Resist. Tração (MPa) (Desvio Padrão)	Alongamento (mm)	Módulo de elasticidade (GPa)
0%	24,24 ($\pm$ 2,38)	4,08	1,03
LV 10 % + FTR3 %	28,85 ($\pm$ 0,67)	6,19	0,97
LV 20 % + FTR3 %	28,87 ($\pm$ 1,27)	5,12	1,09
LV 30 % + FTR3 %	24,47 ($\pm$ 3,05)	5,00	0,89
LV 40 % + FTR3 %	24,73 ($\pm$ 1,23)	5,07	0,94

Na Tabela 4.3 são mostrados os resultados de resistência à tração da matriz sem carga e dos compósitos híbridos com inserção de lama vermelha e fibras de bambu 30 mm tratadas quimicamente. Observa-se que os resultados de resistência a tração encontrados nos compósitos híbridos produzidos foram superiores a resistência apresentada pela matriz sem carga nas frações de LV 10 % +FTR3 % e LV 20 % +FTR3 %, obtendo-se um aumento da resistência à tração do compósito híbridos quando as fibras são tratadas quimicamente.

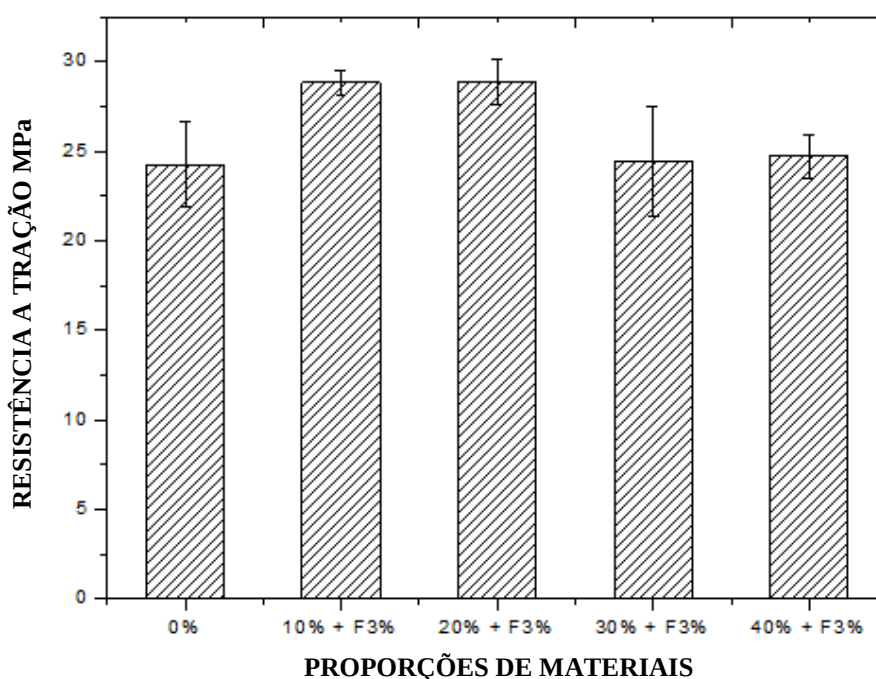
O híbrido que apresentou melhor resultado foi o LV 10 % + FTR3 % com a resistência de 28,85 MPa, foi considerado o melhor resultado em comparação com a fração de LV 20 % + FTR3 % que apresentou uma resistência de 28,87 MPa, pois seu desvio padrão foi menor. Os compósitos híbridos com inserção de resíduo de cobre e reforço de fibras de bambu 30 mm tratadas produzidos Borges (2017) alcançaram resultados de 22,74; 31,96; 31,31 MPa nas

frações de 10, 20 e 30 % respectivamente, sendo superior a matriz plena que apresentou uma resistência de 19,54 MPa.

Quando comparado os compósitos híbridos com inserção de lama vermelha e fibra tratadas e não tratadas quimicamente, verificasse que não houve ganhos expressivos com relação a resistência mecânica nos compósitos produzidos com lama vermelha e fibras tratadas quimicamente.

A Figura 4.3 ilustra o gráfico de barra comparativo da matriz sem carga e dos compósitos híbridos com inserção de lama vermelha nas frações de 10, 20, 30 e 40 % com fibras de bambu na fração de 3 % no comprimento de 30 mm tratadas, quanto as suas resistências à tração.

Figura 4.3 - Comportamento de resistência mecânica dos compósitos híbridos LV + FTR.



A Figura 4.3 mostra o gráfico do comportamento de resistência à tração em função da proporção de resíduo, pode-se observar que a fração de resíduo de LV 10 % + FTR3 %, LV 20 % + FTR3 % se destacam das demais, apresentando resultados superiores das outras proporções.

4.2.4 Comparação dos compósitos produzidos com os encontrados na literatura.

Na Tabela 4.4 contém dados de propriedades mecânicas, obtidas através do ensaio mecânico de tração de alguns compósitos de matrizes poliméricas e fibras vegetais de bambu encontradas na literatura e dos compósitos estudados neste trabalho.

Tabela 4.4 - Comparação das propriedades mecânicas dos compósitos em estudo e de alguns compósitos poliméricos com resíduos industriais encontradas na literatura.

Literatura	Ganho de Resistência (%)	Resist. à tração (MPa) (Desvio Padrão)	Módulo de elasticidade (GPa)
Matriz polimérica/ Lama Vermelha (20 %) (Neste trabalho)	51,11%	36,63 (±1,91)	1,36
Matriz polimérica/ Lama Vermelha (30 %) (CUNHA,2015)	- 9,37 %	20,22 (±0,18)	1,07
Matriz polimérica/ Lama Vermelha (10 %) (COSTA, 2016)	- 22,35 %	24,85 (±1,22)	0,96
Lama Vermelha (10 %) / Fibra (3 %) 30 mm TR/ Poliéster (Neste trabalho)	19,01 %	28,85 (±0,67)	0,97
Cobre (20 %) / Fibra (3 %) 30 mm TR/ Poliéster (BORGES, 2017)	63,56 %	31,96 (± 2,58)	1,25
Caulim (10 %) / Fibra (3 %) 15 mm TR/ Poliéster (SANTOS, 2018)	72,82 %	36,88 (± 3,57)	—
Lama Vermelha (10 %) / Fibra (3 %) 30 mm NT/ Poliéster (Neste trabalho)	28,13 %	31,06 (±4,28)	1,05
Cobre (20 %) / Fibra (3 %) 30 mm NT/ Poliéster (BORGES, 2017)	64,27 %	32,10 (± 4,21)	1,28
Caulim (20 %) / Fibra (3 %) 30 mm NT/ Poliéster (BARBOSA, 2018)	39,23 %	33,75 (± 9,89)	1,32

Fonte: Autor (2019). Adaptado dos autores citados.

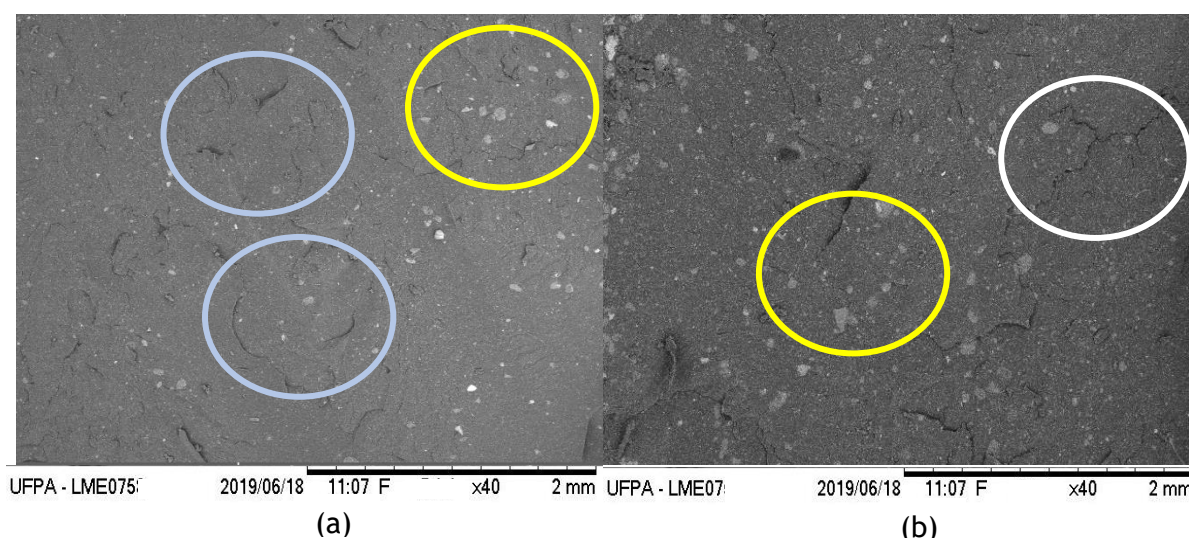
A Tabela 4.4 foi usada unicamente com o intuito comparativo de resultados, pois foi considerado que cada produção seguiu uma metodologia distinta. Observou-se que apesar das diferentes condições de produção dos compósitos, pode-se considerar que os compósitos produzidos neste trabalho apresentaram um bom desempenho mecânico.

4.3 Micrografia dos compósitos

4.3.1 Micrografia: Compósito LV

Foram realizadas as análises de microscopia eletrônica por varredura (MEV) nos compósitos LV nas frações 10 % e 20 %. A Figura 4.5 apresenta as imagens desses resultados.

Figura 4.5 – Micrografia dos Compósitos de LV: (a) LV 10 %, (b) LV 20 %.



A micrografia apresentada na Figura 4.5 mostra a superfície de fratura do compósito com LV 10 % e 20 %. Na Figura 4.5 (a) nota-se imperfeições na superfície do compósito como pequenos vazios (círculos azul) e aglomerados de materiais (círculo amarelo) que podem ter interferido na resistência do compósito.

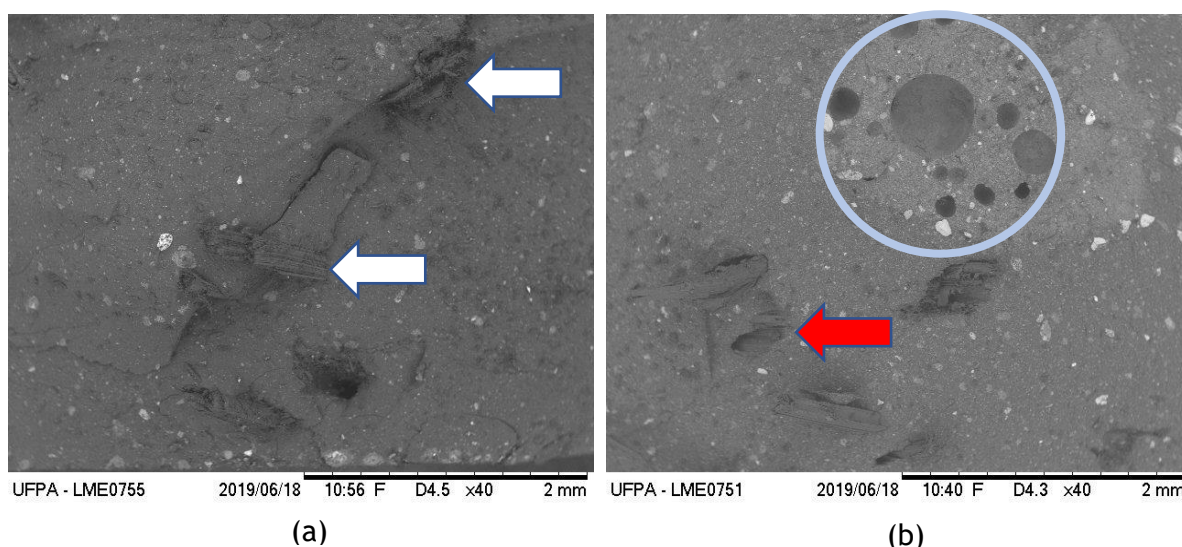
Na Figura 4.5 (b) observa-se aglomerados de materiais na superfície dos compósitos (círculo amarelo) e formação de trincas (círculo branco) o que podem ter sido causados por concentração de tensão, esses fenômenos podem ter interferido na resistência do material.

Segundo Cunha (2015) a partir do carregamento de 25 % de LV a uma maior interação matriz/ LV nos compósitos, o que propicia uma menor formação de agregados, apresentando uma maior interligação das “nano estruturas”, conferindo o efeito de reforço ao compósito.

4.3.2 Micrografia: Compósito LV + FNT

A Figura 4.6 mostra a análise microestrutural dos compósitos de lama vermelha com fibras de bambu de 30 mm não tratadas quimicamente. Foram realizadas as análises nos compósitos LV + FNT 10 % e LV + FNT 30 %, os quais apresentaram o maior e o menor resultado nos ensaios mecânicos de tração respectivamente.

Figura 4.6 – Micrografia dos Compósitos de LV + FNT: (a) LV 10 %, (b) LV 30 %.



A Figura 4.6 (a) mostra as microestruturas do compósito híbrido com inserção de lama vermelha na fração de 10 % com fibras de bambu de 30 mm não tratadas, nota-se uma predominância de fibras rompidas (setas brancas) na resistência mecânica, o que pode ter contribuído para o aumento da resistência.

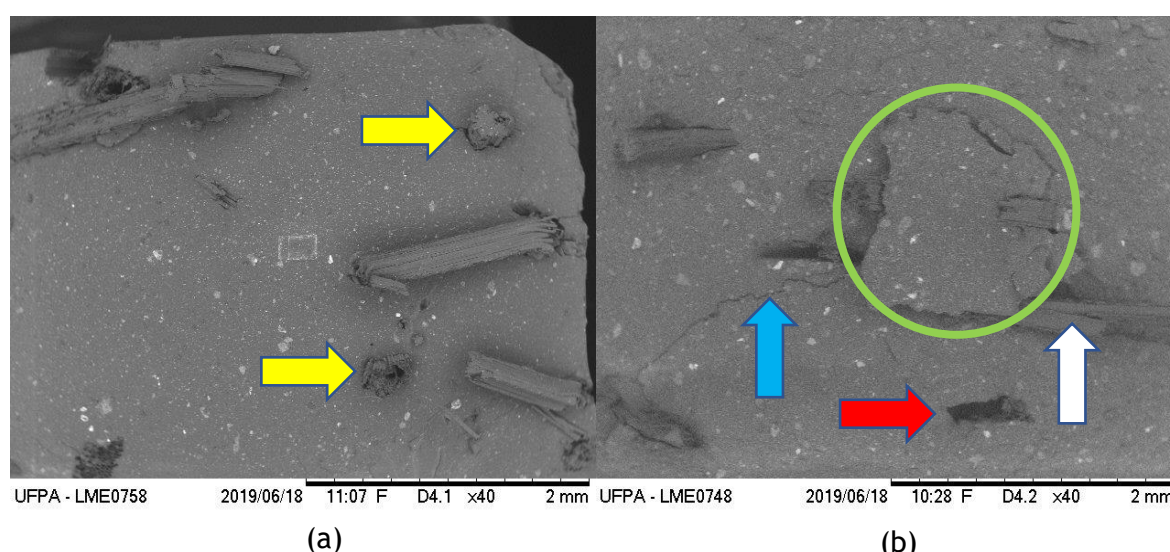
Na Figura 4.6 (b) nota-se uma concentração de vazios (circulo azul) que pode ter sido ocasionado no processo de fabricação, como dificuldade de homogeneização dos constituintes, fatores que podem ter contribuído para a fragilidade do compósito. Também pode ser observado no circulo verde, uma coloração esbranquiçada, que sugere que houve um aglomerado de resíduo que pode ter colaborado para diminuição da resistência a tração. É possível verificar na imagens fibras arrancadas *pull out* (seta vermelho) que evidência que não houve uma boa adesão entre a fibra/ matriz, fato este que pode ter contribuído para a diminuição da resistência mecânica de tração do compósito.

Costa (2016) analisou a superfície de fratura de compósitos híbridos de lama vermelha e fibra de sisal, e observou que na fração de 30 % de LV o compósito apresentou características semelhante a apresentada na Figura 4.6 (b) como vazios, bolhas, e fibras descoladas da matriz.

4.3.3 Micrografia: Compósito LV + FTR

A Figura 4.7 mostra a caracterização microestrutural dos compósitos de lama vermelha com fibras de bambu de 30 mm tratadas quimicamente. Foram realizadas as análises de microscopia eletrônica por varredura (MEV) nos compósitos LV + FTR 10 % e LV + FTR 30 %, os quais apresentaram o maior e o menor resultado nos ensaios mecânicos de tração respectivamente.

Figura 4.7 – Micrografia dos Compósitos de LV + FTR: (a) LV 10 %, (b) LV 30 %.



A Figura 4.7 (a) mostra as microestruturas do compósito híbrido com inserção de lama vermelha na fração de 10 % com fibras de bambu de 30 mm tratadas, nota-se uma predominância de fibras na superfície fraturada o que indica uma boa adesão entre a fibra e a matriz. Pode-se notar que houve influência das fibras rompidas (setas amarelas) na resistência mecânica, o que pode ter contribuído para o aumento da resistência.

Na Figura 4.7 (b) nota-se um aglomerado (circulo verde) que pode ter sido ocasionado pela dificuldades na homogeneização dos materiais no processo de fabricação, pode-se observar também a presença de trincas (seta azul), o que influencia na concentração de tensão dentro do compósito, interferindo na resistência mecânica, observa-se fibras arrancadas *pull out* (seta vermelho) e fibra transversal ao carregamento (seta branca), o que não favoreceu uma boa adesão entre a fibra/ matriz, o que pode ter contribuido para a menor resistência mecânica de tração do compósito.

5 CONCLUSÕES

O desenvolvimento de material compósito de matriz polimérica utilizando carga resíduo industriais reforçados com fibras naturais de bambu, obtiveram características e propriedades consideradas satisfatórias; pois produziu-se placas de compósitos de matriz polimérica com inserção de lama vermelha, compósitos híbridos de matriz polimérica com inserção de lama vermelha e fibras de bambu no comprimento de 30 mm tratadas e não tratadas quimicamente, nas frações de 10, 20, 30 e 40 %.

O método de fabricação empregado foi considerado eficiente pois os materiais compósitos produzidos apresentaram uma boa aparência, sendo considerados adequados para a fabricação dos corpos de prova utilizados nos ensaios de tração.

Os compósitos produzidos com lama vermelha obtiveram um aumento significativo no seu limite de resistência a tração em todas as frações volumétricas, quando comparados a matriz plena, apresentando seu melhor resultado na fração de LV 20 % com a resistência de 36,63 MPa. Retratando esse valor, o resíduo pode ser considerado como reforço efetivo na matriz polimérica.

Os compósitos híbridos de lama vermelha e fibras de bambu tratadas quimicamente, apresentaram valores superior ao da matriz sem carga, sendo que o híbrido que apresentou melhor resultado foi o de LV 10 % + FTR3 % com a resistência de 28,85 MPa. O tratamento químico com NaOH a 5 % v/v, nas fibras de bambu provocou um aumento da resistência à tração dos compósitos produzidos com reforços dessas fibras.

Já os compósitos híbridos de lama vermelha e fibras de bambu sem tratamento, apresentaram resultados satisfatórios, obtendo como maior resultado LV 10 % + FNT3 % com resistência de 31,06 MPa. Verificou-se que houve uma sutil diminuição da resistência a tração com o aumento da fração de resíduo nos compósitos.

Quando comparados os compósitos híbridos de lama vermelha e fibras de bambu tratadas e não tratadas quimicamente, verificou-se que os compósitos híbridos de lama vermelha e fibras não tratadas apresentaram ganho na resistência superiores, evidenciando que o tratamento químico realizado nas fibras de bambu não influenciou expressivamente na resistência do compósito.

Os estudos da avaliação das microestruturas dos compósitos foram eficientes, pois evidenciaram os fenômenos presentes nas superfícies de fraturas dos compósitos, pode-se notar aglomeração de resíduo industrial, vazios, tricas, fibra transversa ao carregamento e o

arrancamento de fibras também chamado de *pull out*, considerou-se que tais fenômenos puderam interferir na resistência a tração dos materiais compósitos

A utilização de resíduos industriais e fibras de bambu na produção do compósito é uma alternativa viável para a indústria, pois além de apresentarem um bom comportamento mecânico, contribui de maneira efetiva para preservação do meio ambiente, gerando materiais sustentáveis e de baixo custo, que podem ser aplicados em diversos setores da indústria, como por exemplo na construção civil.

6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- Utilizar outro tipo de matrizes e fibras; na confecção dos compósitos
- Efetuar outras caracterizações mecânicas nos compósitos;
- Realizar o tratamento químico com outras proporções e verificar as influências nas propriedades dos compósitos.

REFERÊNCIAS

ASTM D 3039 - 08, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastic (Metric)", Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, 2005.

ABAL.bauxita na brasil mineração responsável e competitividade. Gráfica Mundo, Abril. 2017.

ALBINANTE, S. R., PACHECO, E. B. A. V, E VISCONTE, L. L. Y. Revisão dos tratamentos químicos da fibra natural para mistura com poliolefinas. Química Nova, Vol. 36, No. 1, 114-122, 2013.

ANTUNES M. L. P.; CONCEIÇÃO F. O. T. O. da; NAVARRO G.R.B. **Caracterização da Lama Vermelha Brasileira (Resíduo do Refino da Bauxita) e Avaliação de suas Propriedades para Futuras Aplicações.** In: 3rd International Workshop Advances in Cleaner Production, 2011 São Paulo – Brasil 2011.

ANDRADE, Clarice de et al. Compósito para a construção civil a partir de resíduos industriais. Matéria (Rio J.) [online]. 2016, vol.21, n.2, pp.321-329

BARBOSA K. S. L. **Incorporação de fibras curtas de bambu (*bambusa vulgaris*) e resíduo industrial de caulim em compósitos de matriz polimérica: resistência à tração e fractografia.** Ananindeua. 2018, 72f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) Universidade Federal do Pará, Ananindeua, 2018.

BORGES, D. E. **Influência do uso de fibras de bambu (*bambusa vulgaris*) tratadas quimicamente em matrizes de polímero termofixo carregadas com resíduo da indústria do cobre,** 2017, 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

BARROS A. R. **Compósitos híbridos: desenvolvimento de configuração e efeitos de umidificação.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2006.

CALLISTER, Jr., W.D. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução.** 7ª edição. LTC Editora, 2012.

COSTA, D. S. **Estudo da influência de resíduo gerados pela indústria de mineração nas propriedades de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras naturais.** 2016, 229f. Tese (Doutorado) - Universidade federal do Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, Belém, 2016.

CUNHA, E. J. S. **Influência do uso de resíduo do processo bayer nas propriedades térmicas e mecânicas de compósitos de base polimérica reforçados com fibra de curauá (*ananas lucidus*. Mill).** 2015, 152f. Tese (Doutorado em Engenharia de Recursos Naturais) - Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

DRUMMOND, G. W. **Bambus no brasil da biologia à tecnologia,** 1. ed. - Rio de Janeiro: ICH, 2017.

FIRMINO, H.C.T, *et al.* **Caracterização de compósitos particulados de polietileno de alta densidade/pó de concha de molusco**, revista Matéria, v.22, n.2, 2017.

HYDRO ALUNORTE. Disponível em: < <https://www.hydro.com/pt-BR/a-hydro-no-brasil/Produtos/Bauxita-e-alumina/Bauxita/>>. Acesso em: 23 de maio de 2019.

MANO, E. B.; MENDES L. C. **Introdução a polímeros**. 6. ed. - São Paulo: Edgard Blucher, 2011.

MANO, E. B. **Polímeros como materiais de engenharia**. 2. ed. rev. e ampl. - São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

MARTINS NETO, J. A. **Desempenho Mecânico de Compósitos Híbridos de Fibras Naturais e Poliéster não Saturado**. 2010, 89f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2010.

MOURA, M. F. S. F., MORAIS, A. B., MAGALHÃES, A. G. **Materiais compósitos: Materiais, Fabrico e Comportamento Mecânico**- Ed. Publindústria, 2010.

NEWELL, J.; **Fundamentos da Moderna Engenharia e Ciência dos Materiais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Performa, 2010.

LEVY NETO, F., PARDINI, L. C., **Compósitos Estruturais: Ciência e Tecnologia**. Ed. Edgard Blücher, São Paulo, 2006.

PLANALTO. LEI Nº 12.484, DE 8 DE SETEMBRO DE 2011. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2011-2014/2011/Lei/L12484.htm> Acesso em: 13 de junho de 2019.

PEREIRA M. A. R. **Projeto bambu: introdução de espécies, manejo, caracterização e aplicações**. Bauru, 2012. Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Bauru- UNESP. 2012.

RABELLO, M. S; **Aditivção de polímeros**, São Paulo: Artliber Editora, 2000.

ROCHA, I. G. da. **Influência Do Retardante de Chamas nas Propriedades Mecânicas e Flamabilidade em Compósitos Poliméricos de Epóxi/Fibra de Curauá**. 2015, 82f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2015.

SANTOS, A. J. G. dos. **Compósitos de matriz poliéster com reforços híbridos de fibras de piaçava, sisal, palha da costa e juta: comportamento em tração e aspectos fractográficos**. 2015, 124f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) –Universidade Federal do Pará. Belém, 2015.

SANTOS, R. M. P. **Análise mecânica de tração de compósitos híbridos de matrizes poliméricas com resíduo de caulim e fibra de bambu (*bambusa vulgaris*)**. 2018, 73f. Trabalho de Conclusão (Graduação) - Universidade Federal do Pará. Belém, 2018.

SANTI, T. **O papel**. Revista mensal de tecnologia em celulose e papel, YEAR LXXVI, N° 4, 2015.

SILAEX, **POLIESTER INSATURADO**: Disponível em: <
<http://www.silaex.com.br/poli%C3%A9ster.htm>> Acesso em: 19 de Maio de 2019.

SILVA, R. V. **Compósito de Resina Poliuretano Derivada de Óleo de Mamona e Fibras Vegetais**. 2003, 157f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA, H. S. P. da, **Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras de Curauá e Híbridos com Fibras de Vidro**. 2010, 86f. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010.

SARANDI, A. R. **Natural Fiber Thermoplastic Composites: a Review**. In: Leão, A. L., 2002

THOMAS, N.I.R. **Influência de tratamentos superficiais em fibras de Licuri na aderência interfacial do compósito com matriz poliéster**. 2011, 234f. Dissertação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.