



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA**

CLÁUDIO DUARTE

**FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL COMPÓSITO
DE RESINA POLIÉSTER REFORÇADA POR TECIDO DE FIBRA
DE TURURI EXTRAÍDO DA PALMEIRA DE UBUÇU (*Manicaria
saccifera*)**

**BELÉM
2011**

CLÁUDIO DUARTE

**FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL COMPÓSITO
DE RESINA POLIÉSTER REFORÇADA POR TECIDO DE FIBRA
DE TURURI EXTRAÍDO DA PALMEIRA DE UBUÇU (*Manicaria
saccifera*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, para Obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Área de Concentração Materiais e Processos de Fabricação. Orientador: Prof. Dr. Roberto Tetsuo Fujjyama

BELÉM
2011

**Dados Internacionais de catalogação na publicação (CIP), Biblioteca do
Mestrado em Engenharia Mecânica/ UFPA, Belém, PA.**

D812f

Duarte, Cláudio

Fabricação e Caracterização de Material Compósito de Resina Poliéster Reforçada por Tecido de Fibra de Tururi Extraído da Palmeira de Ubuçu (*Manicaria Saccifera*)./ Cláudio Duarte; Orientador: Prof. Dr. Roberto Tetsuo Fujjyama. – Belém, 2011.

76f. il.

Dissertação (Mestrado)-Universidade Federal do Pará. Instituto de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, 2011.

1. Material Compósito. 2. Fibras. 3. Tururi. I. Fujjyama, Roberto Tetsuo, orientador. II. Título.

CDD 23.ed. 669.94

CLÁUDIO DUARTE

**FABRICAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE MATERIAL COMPÓSITO
DE RESINA POLIÉSTER REFORÇADA POR TECIDO DE FIBRA
DE TURURI EXTRAÍDO DA PALMEIRA DE UBUÇU (*Manicaria
saccifera*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará, para Obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, Área de Concentração Materiais e Processos de Fabricação.

DATA DA AVALIAÇÃO: 20/12/2011

BANCA EXAMINADORA

_____ - Orientador
Prof. Dr. Roberto Tetsuo Fujiyama
FEM/ITEC/UFPA

_____ - Membro Externo
Profa. Dra. Maria de Lourdes Pinheiro Ruivo
UFRA

_____ - Membro Interno
Prof. Dr. José Maria do Vale Quaresma
FEM/ITEC/UFPA

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela minha existência e me abençoar todos os dias;

A minha mãe Tereza, que apesar de todos os contra tempos, soube me mostrar o caminho certo;

A minha esposa Vera, pela paciência, entendimento pela ausência em alguns momentos;

As minha filhas Larissa e Raissa, que sempre serviram de inspiração, para que fosse exemplo a elas;

Aos meus padrinhos João e Lucia Sampaio (in memorian), por tudo que me proporcionaram; principalmente a educação;

Ao professor Dr. Roberto Tetsou Fujiyama pela excelente orientação, paciência e amizade que demonstrou em todos os momentos deste trabalho;

Aos professores do Instituto de Tecnologia: professor Dr. Gonçalo Rendeiro e professor Dr. Jose Antônio da Silva Souza pelo incentivo que sempre me de deram desde a disposição de iniciar este mestrado até a conclusão;

Aos alunos de graduação em Engenharia Naval Jallyson Quaresma de Sousa e Cesar Roberto Paes de Lima Filho, pela colaboração na fabricação dos corpos de prova;

Ao colega de mestrado Marcelo Pires Saraiva, sem o qual o desenvolvimento deste trabalho não seria viável;

Aos colegas de mestrado Izael Pinho dos Santos e Deibson Silva da Costa pelas diversas ajudas prestadas;

Ao colega de trabalho engenheiro Msc Elden de Albuquerque Marialva pelas diversas ajudas prestadas;

Ao professor Msc Jean da Silva Rodrigues pelas ajudas que sempre prestou, quando solicitadas;

Ao professor Cláudio Lamarão, coordenador do MEV, da Faculdade de Geociências, pela boa vontade que sempre demonstrou quando de nossas necessidades;

Ao colega de trabalho, engenheiro Msc Mateus Furtado do laboratório de engenharia química, pela colaboração para determinação da massa específica do tururi.

A minha família e aos meus
amigos que estiveram sempre
comigo, nesta trajetória

RESUMO

Neste trabalho é apresentada a fabricação e caracterização de um material compósito de matriz polimérica reforçada por fibras naturais. A matriz é um poliéster teraftélica insaturada pré-acelerada obtida comercialmente como Denverpoly 754 e o agente de cura utilizado foi o peróxido de Mek (Butanox M- 50), na proporção de 0,33 % , em volume. A fibra natural usada foi o tururi, obtida da região do Marajó, município de Muaná. O tecido de fibra de tururi foi submetido a dois tipos de abertura no sentido transversal, de [50 e 100]%, em relação a uma largura original. A fabricação do material compósito foi através do método da laminação manual (hand lay up), seguido de uma pressão controlada através de pesos previamente quantificados. Características físicas, mecânicas e microscópicas foram obtidas para a fibra e o material compósito, obtendo-se resistência a tração, massa específica, gramatura do tecido, fração mássica e imagens microscópicas antes e depois do ensaio de tração para o tecido da fibra e ensaio de tração depois do ensaio de tração para o material compósito. O tecido de tururi apresentou resistência a tração de 29,95 MPa (sem abertura), 12,27 MPa (abertura de 50 %) e 9,38 MPa (abertura de 100 %). A abertura provoca a diminuição da resistência à tração do tecido de tururi. A gramatura do tecido diminuiu com a abertura do tecido. A fração mássica do tecido do compósito foi de 14,39 % (sem abertura), 9,35 % (abertura de 50 %) e 7,19 % (abertura de 100 %). A resistência a tração do compósito foi de 35,76 MPa (sem abertura), 19,01 MPa (50 % de abertura) e 16,8 MPa (100 % de abertura). A resistência mecânica apresentou valores aproximados aos encontrados na literatura para materiais compósitos reforçados por fibras naturais. As imagens obtidas em microscopia eletrônica de varredura corroboraram com as propriedades mecânicas obtidas para cada situação do material e fibras.

Palavras chaves: Material Compósito. Tururi. Fibra de Tururi. Compósito de Tururi.

ABSTRACT

The proposition of this work is to present and characterize a composite material produced with a polymeric matrix reinforced with natural fibers. The matrix is an insaturated teraftalic polyester pre-accelerated with the commercial name of Denverpoly 754 and the peroxide of MEK (Butanox M-50) as a catalyst in a proportion of 0,33% in volume. The natural fiber used was the "tururi", obtained in the Marajó region, in the municipalite of Muaná. This fiber was submitted to two types of aperture in the transversal axis, in a proportion of 50% and 100% of the original width. The fabrication method of the composite was made through a manual lamination process (hand lay up) using a controlled pression by weights previously quantified. Phisycal, mechanical and microscopic characteristics were obtained for the fiber and the composite material, and in this way, the traction resistance, specific mass, weight of the fabric, mass fraction and microscopic image before and after the traction tests for the fiber fabric were made, and tests of traction for the composite material. The fabric of tururi, has shown a traction resistance of 29,95 MPa (without aperture), 12,27 MPa (aperture of 50%) and 9,38 MPa (aperture of 100%). The aperture produces a reduction of the traction the resistance of the tururi fabric, and consequently reducing the traction resistance of the material. The weight of the fabric was reduced with the aperture. The mass fraction of the fabric of the composite was 14,39%(without aperture), 9,35% (aperture of 50%) and 7,19% (aperture f 100%). The traction resistance was of 35,76 MPA (withot perture), 19,01 (50% aperture) and 16,8 MPa (100% aperture). The mechanical resistance has shown values much like those encountered in the literature for composites reinforced with natural fibers. The images obtained with swapping electronic microscopy, validated the mechanical properties obtained for each situation of the material and fibers.

Keywords: Composite material. Tururi. Tururi Fibers. Tururi Composites.

LISTAS DE FIGURAS

Figura 1- Tecido de fibra de vidro.....	18
Figura 2- Tecido de fibra de carbono	19
Figura 3 - Fibra de Juta (<i>Corchorus capsularis</i>) estendida em varais na fase de secagem	20
Figura 4 - Fibra de malva (<i>Malva parviflora</i> L.) após as etapas do beneficiamento.....	21
Figura 5 - Estrutura da palmeira Ubuçu. 1. Invólucro/saco fibroso denominado tururi (Manicaria Saccifera). 2. Folhas. 3. Frutos.....	22
Figura 6 - Palmeira Ubuçu em Muaná, Estado do Pará.....	23
Figura 7 - Esquema da síntese de um éster insaturado	24
Figura 8 - Classificação de compósitos sintéticos e naturais	25
Figura 9 - Tipos de tecido: plano e diagonal	25
Figura 10 - Tecido plano. É apresentado o urdume na horizontal e a trama na vertical	26
Figura 11 - Tecido laço Diagonal (a) mão direita e (b) mão esquerda.....	27
Figura 12 - Fabricação de material compósito pelo método hand-lay-up	28
Figura 13 - Módulo de elasticidade de compósito com fibra alinhada sob solicitação longitudinal (E _{lc}) e transversal (E _{tc}) em função da fração volumétrica das fibras no compósito (V _f)	30
Figura 14 - Deformação na matriz em volta da extremidade das fibras.....	31
Figura 15 - Involúcos de tururi colhido da palmeira.....	34
Figura 16 - Tecido de tururi após tratamento de lavagem, amaciamento e abertura.....	34
Figura 17 - Tecido devidamente demarcado para o corte	35
Figura 18 - Amostras metalizadas com platina	36
Figura 19 - Corpos de prova para ensaio de tração sem abertura.....	37
Figura 20 - Picnômetros usados para a determinação da massa específica da fibra de tururi..	38
Figura 21 - Balança usada para a quantificação da massa.....	39
Figura 22 - Molde formado por placas de vidro.....	40
Figura 23 - Lâminas fabricadas para seleção.....	41
Figura 24 - Mostra a primeira aplicação de resina no molde	42
Figura 25 - Mostrando o momento da retirada de bolhas através de rolo laminador	43
Figura 26 - Mostra o fechamento do compósito depois de laminado.....	44
Figura 27 - Carga utilizada para compactar o compósito.....	44
Figura 28 - Desmoldagem do material compósito depois de curado	45
Figura 29 - Máquina manual para alongamento transversal do tecido.....	46

Figura 30 - Molde de abertura e fabricação de lâminas	46
Figura 31 - Impregnação de resina	47
Figura 32 - Utilização do rolo laminador	47
Figura 33 - Bancada para corte de compósito	48
Figura 34 - Operação de corte de compósito.....	49
Figura 35 - Corpos de prova prontos para ensaio de tração	50
Figura 36 - Microscopia realizada nos tecido de tururi sem abertura, sentido.....	52
Figura 37 - Microscopia realizada nos tecido de tururi sem abertura, sentido transversal em relação a orientação das fibras, com mais aproximação.....	53
Figura 38 - Microscopia realizada nos tecido de tururi com abertura transversal de 50 %, sentido transversal em relação a orientação das fibras	54
Figura 39 - Microscopia com mais aproximação nos tecido de tururi com abertura transversal de 50 %, sentido transversal em relação a orientação das fibras.....	54
Figura 40 - Microscopia realizada nos tecido de tururi com abertura transversal de 100 %, sentido transversal em relação a orientação das fibras	55
Figura 41 - Microscopia com mais aproximação nos tecido de tururi com abertura de 100 %	55
Figura 42 - Gráfico carga x deslocamento do tecido de fibra de tururi, sem abertura.	56
Figura 43 - Gráfico carga x deslocamento do tecido de fibra de tururi, sem abertura	57
Figura 44 - Gráfico representativo carga x deslocamento para tecido de tururi, com abertura de 100 %	58
Figura 45 - Visão transversal geral do tecido de tururi após a falha no ensaio de tração	60
Figura 46 - Visão de topo da microestrutura apos o ensaio de tração do tecido de tururi	61
Figura 47 - Microestrutura apos o ensaio de tração do tecido de tururi, com o detalhe da falha da região do entrelaçamento/bifurcação das fibras.....	61
Figura 48 - Gráfico representativo carga x deslocamento do compósito reforçado com tecido de fibra de tururi, sem abertura.....	63
Figura 49 - Gráfico representativo carga x deslocamento do compósito reforçado com tecido de fibra de tururi, com abertura de 50 %	64
Figura 50 - Gráfico representativo carga x deslocamento do compósito reforçado com tecido de fibra de tururi, com abertura de 100 %	65
Figura 51 - Caracterização microestrutural da fratura do material compósito reforçado por tecido de fibra de tururi, sem abertura.....	68
Figura 52 - Microestrutura obtida no MEV do material compósito com tecido de tururi com abertura de 50 %.....	69

Figura 53 - Microestrutura obtida no MEV do material compósito com tecido de tururi com abertura de 100 %..... 69

LISTAS DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados experimentais de valores médios de 8 corpos de prova para as propriedades de tração dos tecidos sem abertura de fibra de tururi.....	56
Tabela 2 - Resultados experimentais de valores médios de 8 corpos de prova, para.....	57
Tabela 3 - Resultados experimentais de valores médios de 8 corpos de prova, para.....	59
Tabela 4 - Tabela para comparação do tecido de tururi com outras fibras.....	59
Tabela 5 - Tabela com valores da gramatura do tecido de tururi	62
Tabela 6 - Tabela com valores de fração mássica do compósito com diversas aberturas	62
Tabela 7 - Resultados experimentais de valores médios de 8 corpos de prova, para as propriedades de tração do compósito reforçado com tecido de fibra de tururi, sem abertura..	64
Tabela 8 - Resultados experimentais de valores médios de 8 corpos de prova para as propriedades de tração do compósito reforçado com tecido de fibra de tururi, com abertura de 50 %.....	65
Tabela 9 - Resultados experimentais de valores médios de 8 corpos de prova, para as propriedades de tração do compósito reforçado com tecido de fibra de tururi, com abertura de 100 %.....	66
Tabela 10 - Quadro comparativo de compósitos	66

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 OBJETIVO GERAL.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1 MATERIAIS COMPÓSITOS	16
2.2 REFORÇO DE MATERIAL COMPÓSITO NA FORMA DE TECIDO	16
2.2.1 Tecidos de Fibras Sintéticas.....	17
2.2.1.1 Tecido de fibra de vidro	17
2.2.1.2 Tecido de fibra de carbono.....	18
2.2.2 Tecidos de Fibras Naturais	19
2.2.2.1 Juta (<i>Corchorus capsularis</i>)	19
2.2.2.2 Malva (<i>Malva parviflora L.</i>)	20
2.2.2.3 Tururi (tecido extraído da palmeira Ubuçu “ <i>Manicaria Saccifera</i> ”).....	21
2.3 RESINA POLIESTER	23
2.4 FABRICAÇÃO DE MATERIAL COMPÓSITO COM REFORÇO NA FORMA DE TECIDO.....	24
2.4.1 Fabricação de Material Compósito Pelo Método Hand-lay-up.....	27
2.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MATERIAIS COMPÓSITOS	28
3 MATERIAIS E MÉTODOS	33
3.1 MATERIAIS	33
3.1.1 Resina Poliéster	33
3.1.2 Tecido de Fibra de Tururi	33
3.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL.....	33
3.2.1 Tratamento e Corte do Tecido de Tururi.....	33
3.2.2 Caracterização Micro Estrutural do Tecido de Fibra de Tururi.....	35
3.2.2.1 Tecido sem abertura	35
3.2.2.2 Tecido com abertura.....	36
3.2.3 Ensaio de Tração do Tecido de Fibra de Tururi	36
3.2.3.1 Tecido sem abertura	36
3.2.3.2 Tecido com abertura.....	37
3.2.4 Caracterização Microestrutural da Fratura do Tecido de Fibra de Tururi.....	37
3.2.4.1 Tecido sem abertura	37
3.2.4.2 Tecido com abertura.....	38
3.2.5 Determinação da Massa Específica Absoluta do Tecido de Tururi.....	38
3.2.6 Determinação da Gramatura.....	39
3.2.7 Preparação do Molde para Fabricação do Compósito.....	39

3.2.8	Fabricação das Lâminas de Compósitos de Tecido de Tururi	40
3.2.8.1	Fabricação de lâminas para quantificação da massa de resina	40
3.2.8.2	Tecido sem abertura	41
3.2.8.3	Tecido com abertura	45
3.2.9	Determinação da Fração Mássica do Compósito.....	48
3.2.10	Corte e Preparação dos Corpos de Prova.....	48
3.2.11	Ensaio de Tração do Material Compósito Reforçado por Tecido de Fibra de Tururi.....	49
3.2.11.1	Tecido sem abertura	49
3.2.11.2	Tecido com abertura	50
3.2.12	Caracterização Microestrutural da Fratura do Material Compósito Reforçado por Tecido de Fibra de Tururi	50
3.2.12.1	Tecido sem abertura	50
3.2.12.2	Tecido com abertura	51
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	52
4.1	TRATAMENTO E CORTE DO TECIDO DE TURURI	52
4.2	CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DO TECIDO DE FIBRA DE TURURI.....	52
4.2.1	Tecido Sem Abertura	52
4.2.2	Tecido Com Abertura.....	53
4.2.2.1	Abertura de 50 %.....	53
4.2.2.2	Abertura de 100 %.....	54
4.3	ENSAIO DE TRAÇÃO DO TECIDO DE FIBRA DE TURURI.....	55
4.3.1	Tecido Sem Abertura	55
4.3.2	Tecido Com Abertura.....	56
4.3.2.1	Abertura de 50 %.....	56
4.3.2.2	Abertura de 100 %.....	58
4.3.3	Caracterização Microestrutural da Fratura do Tecido de Fibra de Tururi.....	60
4.3.3.1	Tecido com e sem abertura.....	60
4.3.4	Determinação da Massa Específica do Tecido de Tururi	61
4.3.5	Determinação da Gramatura.....	62
4.3.6	Fabricação de Lâminas para Quantificação da Massa de Resina.....	62
4.4	DETERMINAÇÃO DA FRAÇÃO MÁSSICA DO COMPÓSITO	62
4.5	ENSAIO DE TRAÇÃO DO MATERIAL COMPÓSITO REFORÇADO POR TECIDO DE FIBRA DE TURURI.....	63
4.5.1	Tecido Sem Abertura	63
4.5.2	Tecido Com Abertura.....	64
4.5.2.1	Abertura de 50 %.....	64

4.5.2.2	Abertura de 100 %.....	65
4.6	CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA FRATURA DO MATERIAL COMPÓSITO REFORÇADO POR TECIDO DE FIBRA DE TURURI.....	67
4.6.1	Tecido Sem Abertura	67
4.6.2	Tecido Com Abertura.....	68
4.6.2.1	Abertura de 50 %.....	68
4.6.2.2	Abertura de 100 %.....	69
5	CONCLUSÕES.....	70
	REFERÊNCIAS.....	68

1 INTRODUÇÃO

Atualmente a indústria de compósitos é uma alternativa viável para a produção de inúmeros materiais de engenharia, destacando-se a possibilidade de substituição dos metais utilizados principalmente nas indústrias automobilística (fabricação de pára-choque, carroceria de caminhão), aeronáutica (hélice de helicóptero), náutica (fabricação de barco), química (tanques para armazenamento de produtos químicos) entre outros segmentos industriais. Dentre as vantagens dos materiais compósitos, por se tratar de peças de boa resistência, baixa massa específica e pela facilidade de fabricação, quando comparamos com placas metálicas (LEVY NETO ; PARDINI, 2006).

Outra característica importante dos compósitos está na possibilidade de selecionar e combinar constituintes e, assim, atender aos diversos fatores de produção, como por exemplo: custo de fabricação, disponibilidade de matéria prima, propriedades mecânicas e questões ambientais ligadas ao uso de materiais não nocivos ao meio ambiente (LEVY NETO ; PARDINI, 2006).

Nesse contexto, fibras naturais estão sendo usadas para estes propósitos por apresentarem características vantajosas que atendem a atual realidade de produção. Segundo Dweib et. al. (2004) as fibras vegetais apresentam vantagens importantes como baixa massa específica; maciez e abrasividade reduzida; recicláveis, não tóxicas e biodegradáveis. Possuem baixo custo, estimulando emprego na zona rural, baixo consumo de energia na produção, são relativamente mais leves e com boas propriedades mecânicas, quando usadas como reforço de materiais compósitos, Ahamed (2008) acrescenta ainda vantagens significativas de custo e benefícios associados com o processamento, em comparação com as fibras sintéticas como o vidro, nylon, carbono, etc. As mesmas são encontradas na natureza e podem ser utilizadas “*in natura*” ou após beneficiamento. Elas se dividem em: fibras de origem animal; fibras de origem mineral e fibras vegetais.

Muitos compósitos são fabricados na forma de laminados a partir de reforço de fibras naturais, essa modalidade, tem sido objeto de intensa pesquisa à procura de novas alternativas para a fabricação e desenvolvimento de produtos provenientes de fontes renováveis. As fibras atualmente são bastante estudadas para emprego como reforço de materiais de engenharia em diferentes setores da indústria mundial, como naval, aeronáutica, aeroespacial, automotiva e também na construção civil entre outras aplicações. Diversas fibras vegetais são produzidas em praticamente todos os países e usualmente são designadas por materiais lignocelulósicos (NECHWATAL et al. 2003).

Alterações climáticas como o aquecimento global, desequilíbrio de ecossistema e desastres ambientais têm despertado um grande interesse da comunidade científica e da sociedade em geral para a produção de novas tecnologias proveniente de recursos naturais renováveis em substituição de materiais impactantes ao meio ambiente. Sendo assim, as fibras lignocelulósicas passaram a ter um papel de extrema importância nessa busca, objetivando aliar de forma harmonizada tecnologia e preocupação ambiental (REDDY, 1997).

Desde então, as fibras vegetais passaram a ser usadas para a produção de novas tecnologias, entretanto, existem fibras que ainda são pouco conhecidas e exploradas para fins de aplicação em materiais compósito. Neste contexto se insere o tururi, tecido fibroso que consiste em um invólucro flexível e resistente que protege os frutos da palmeira do Ubuçu, que dependendo do espécime do qual é extraída, pode atingir de [30 a 80] cm de comprimento. Esses tecidos apresentam diferentes tonalidades de cores que variam do marrom mais claro ao marrom escuro, dependendo da fase de maturação dos frutos (CORREA, 1978).

A palmeira Ubuçu (*Manicaria saccifera*) ou bussú como é conhecida, possui monocaule, com [0,5 a 10] m de altura e caule geralmente coberto com folhas velhas, persistentes, medindo de [15 a 20] cm de diâmetro. Espécie amplamente distribuída nos países do norte da América do Sul, em baixas elevações, nos terrenos arenosos e úmidos. A maior abundância de ubuçu está nas áreas próximas aos rios de água preta e solos arenosos ácidos. No Brasil ela ocorre nos estados do Amazonas e Pará.

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo deste trabalho é a produção de laminado de material compósito de matriz polimérica reforçado com tecido de fibra de tururi, tecido de fibra unidirecional que é extraída da palmeira de Ubuçu (*Manicaria saccifera*), proveniente da Amazônia, mais abundante no município de Muaná no Pará, utilizando um processo de fabricação simples e de baixo custo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fabricar e avaliar a fabricação do material compósito nas diferentes configurações do tecido de fibra de tururi;
- Determinar massa específica do tecido de fibra de tururi;

- Determinar a resistência à tração do tecido de tururi e do material compósito reforçado com fibra de tururi, para a situação sem abertura e com abertura de [50 e 100]%;
- Determinar a gramatura do tecido de fibra de tururi nas condições de sem abertura e com abertura de [50 e 100] %;
- Obter imagens microscópicas eletrônicas de varredura antes e após a o ensaio de tração do tecido de tururi sem abertura e com abertura de [50 e 100]%;
- Obter imagens microscópicas eletrônica de varredura da fratura do material compósito com tecido sem abertura e com abertura de [50 e 100]% após o ensaio de tração do compósito.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MATERIAIS COMPÓSITOS

Materiais compósitos são combinações de dois ou mais materiais. Esses materiais possuem um agente como reforço que é envolvido por uma matriz, em forma de resina, objetivando características específicas e propriedades desejadas. Geralmente, os componentes não se dissolvem um no outro e podem ser identificados, fisicamente, por uma interface entre os mesmos (SILVA, 2008).

Os materiais compósitos podem ser apresentados de vários tipos, sendo que os mais comuns são os fibrosos (fibras envolvidas por uma matriz) e os particulados (partículas envolvidas por uma matriz). Pode-se encontrar uma grande variedade tipos de agentes de reforços, assim como matrizes para serem usadas. Entre os exemplos desses materiais compósitos, usados na indústria, tem-se fibra de vidro e fibra de carbono em matriz de epóxi. Um exemplo bastante familiar de materiais compósitos é o concreto armado, que nada mais é, do que uma matriz de concreto (cimento, areia e pedra) envolvendo o agente de reforço representado por barras de ferro (SILVA, 2003).

Inúmeros trabalhos já foram desenvolvidos com materiais compósitos, reforçados com diversos tipos de materiais, tais como o trabalho de Monteiro et al (2006), que investigou as propriedades de compósitos obtidos com tecidos de sacos de aniagem usados, reforçando matriz de resíduos de polietileno. Placas destes compósitos com até 40% em peso de tecido de juta, retirado dos sacos de aniagem, foram obtidas por moldagem a quente juntamente com partículas de polietileno. Os resultados obtidos mostraram, com até 30% de tecido, um expressivo aumento da resistência mecânica dos compósitos em função da fração em peso de tecido de juta. Ainda na linha de materiais compósitos, pode ser citado o trabalho de Sabariz et al (2006), que estudou o comportamento mecânico de um compósito moldado com número variável de camadas de fibras vegetais, utilizando-se como matriz resina epóxi e como reforço tecidos bidirecionais de fibras da Agave americana (pita ou piteira). Compósitos com uma, duas e três camadas de tecido, foram ensaiados em tração e flexão.

2.2 REFORÇO DE MATERIAL COMPÓSITO NA FORMA DE TECIDO

A utilização das fibras naturais (lignocelulosicas) como reforço, em materiais compósitos, vem crescendo significativamente a cada dia, (SILVA et al. 2009), o que vai de encontro as ideias que reforçam o estudo deste trabalho. O uso de fibras naturais demonstra um crescimento acentuado e com isto surge a oportunidade de se efetuar a substituição do material sintético pelo natural. É na era da sustentabilidade com reforço do ambientalmente correto, socialmente necessário e economicamente justo. É possível citar algumas vantagens que as fibras naturais apresentam sobre as fibras sintéticas: biodegradáveis, baixo custo, boa tenacidade, boas propriedades térmicas, uso reduzido de instrumentos para o seu tratamento ou processamento, fontes renováveis, permanência do homem no campo e melhoria do índice de desenvolvimento humano (IDH). As fibras naturais, como as fibras de abacaxi, bananeira, coco, carauá, juta, piaçava, ramí, sisal e tururi, podem se substituir das fibras sintéticas, tais como fibras de vidros e carbono.

Pode-se destacar que esses materiais são formados por uma fase de reforço, que podem ter a forma de filamento; e outra fase, conhecida como matriz que tem a função aglutinante, que faz com que o reforço trabalhe de forma integrada suportando os esforços mecânicos.

2.2.1 Tecidos de Fibras Sintéticas

2.2.1.1 Tecido de fibra de vidro

É um material composto da aglomeração de finíssimos filamentos de vidro, que não são rígidos, sendo altamente flexíveis. Quando adicionado a algum tipo de resina, transforma-se na conhecida fibra de vidro, ou PRFV, ou seja, "Polímero Reforçado com Fibra de Vidro".

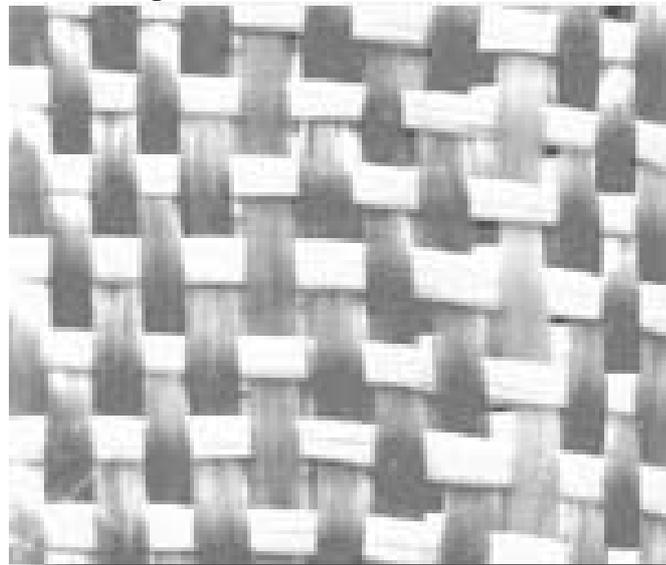
O PRFV, dentre as suas propriedades, possui alta resistência à tração, flexão e impacto, sendo muito empregados em aplicações estruturais. Outras vantagens que pode-se observar é quanto a sua leveza e o fato de não conduzir corrente elétrica, sendo utilizado também como isolante estrutural. Possui uma boa flexibilidade, possibilitando a moldagem de peças complexas, grandes ou pequenas, sem emendas e com grande valor funcional e estético.

Não enferruja e tem excepcional resistência a ambientes altamente agressivos aos materiais convencionais. A resistência química da fibra de vidro é determinada pela resina e construção do laminado. Pode ser produzido em moldes simples e baratos, viabilizando a comercialização de peças grandes e complexas, com baixos volumes de produção. Mudanças de projeto são facilmente realizadas nos moldes de produção, dispensando a construção de

moldes novos. Os custos de manutenção são baixos devido à alta inércia química e resistência às intempéries, inerente ao material (TANOBE et al. 2002).

A fibra de vidro desempenha o papel da armadura de ferro no concreto armado: torna as peças resistentes a choques, tração e flexão. A fibra de vidro pode ser fornecida em diversas formas, tais como, em mantas prensadas, tecidos trançados, fitas ou cordéis que são lançados ou desfiados sobre o molde e impregnados de resina. A manta prensada é mais barata, porém solta "fiapos" durante a montagem, enquanto que o tecido, um pouco mais caro, permite um trabalho mais limpo, peças mais resistentes e com melhor aparência final. Devido às suas propriedades físicas e químicas, a fibra de vidro possui boa compatibilidade com resinas de silicone, epoxi, poliéster, fenólicas, etc. A **Figura 1**, mostra um tecido de fibra de vidro.

Figura 1- Tecido de fibra de vidro



Fonte: Construção de Barcos

2.2.1.2 Tecido de fibra de carbono

As fibras de carbono são bastante indicadas para a fabricação de materiais tais como papéis, tecidos, telas, micro-telas para a filtragem de líquidos e gases de grande propriedade corrosiva. As fibras são resistentes às altas temperatura ($T > 1000$ °C) e servem especialmente em catalisadores utilizados em processos químicos (CARASCHI e LEÃO, 2002).

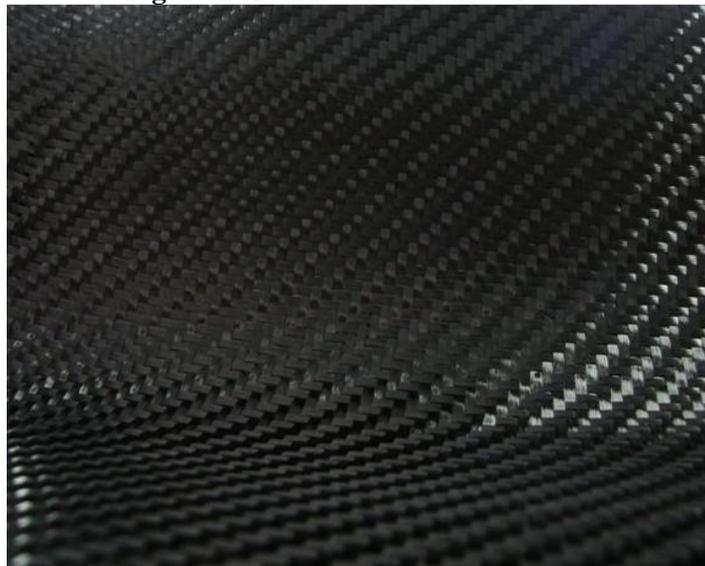
Para a produção de fibras carbônicas o método utilizado é chamado pirólise, ou seja, a decomposição pelo calor de algum material rico em carbono que retém a sua forma fibrosa através de tratamentos térmicos que resultam em carbonização, com alto resíduo carbonáceo.

Os materiais carbonáceos podem ser naturais ou sintéticos e são utilizados como “fibra precursora”. Normalmente o cânhamo, o linho, o algodão entre outros materiais naturais têm rendimento pobre de carbono, com suas propriedades físicas, como rigidez e resistência mecânica sendo fracas, sendo assim não são utilizados como materiais formadores de estruturas que exigem esforço físico (CARASCHI e LEÃO, 2002).

Com o desenvolvimento destas matérias primas, iniciando-se na década de 1950 até o final da década de 1960, chegou-se à produção de fibras carbônicas de alta resistência à tração e tensão mecânicas.

Para se produzir uma fibra carbônica de boa qualidade a partir de uma fibra precursora, é necessário um processo de tratamento térmico e condições controladas de tensão, atmosfera, tempo e principalmente temperatura. A **Figura 2** mostra um tecido de fibra de carbono.

Figura 2- Tecido de fibra de carbono



Fonte: Texturas de Fibra de Carbono

2.2.2 Tecidos de Fibras Naturais

2.2.2.1 Juta (*Corchorus capsularis*)

A juta ou “*Corchorus Capsularis*” é originária da Índia, totalmente ecológica, proveniente da família das titiáceas, é muito resistente e sua planta pode alcançar altura de 3 a 4 metros e o seu talo a espessura de aproximadamente 20 mm, crescendo em climas úmidos e tropicais.

O ciclo do plantio coincide com os períodos de cheia e vazante dos rios, durante seis meses. É uma das mais baratas fibras naturais e, em quantidades produzidas e número de aplicações, em escala mundial, é superada apenas pelo algodão na sua aplicabilidade. O ciclo do plantio leva seis meses, geralmente se dá entre agosto e janeiro coincidindo com os períodos de cheia e vazante dos rios. Por ser plantada nas calhas dos rios, não provoca desmatamento.

Cinco dias é o tempo de processo de produção e não utiliza nenhum produto químico. Após o corte dos talos, procede-se a limpeza das hastes, que são reunidas em feixes para a etapa de afogamento ou maceração, ou seja, permanece imersa em água corrente ou água parada, fazendo com que as fibras sejam facilmente desprendidas da casca e lavadas. Em seguida, as fibras são então golpeadas na água e submetidas a uma segunda lavagem, para posteriormente serem estendidas em varais ou estendais de secagem. Finalmente, as fibras são encaminhadas para processamento, onde são produzidas bobinas ou tecidos. A **Figura 3** mostra as fibras de juta no processo de secagem.

Figura 3 - Fibra de Juta (*Corchorus capsularis*) estendida em varais na fase de secagem



Fonte: MARTINS NETO, (2010).

2.2.2.2 Malva (*Malva parviflora* L.)

Conforme Santos (2001), a fibra têxtil pode ter origem química ou natural, constituindo macromoléculas lineares. Geralmente as características de flexibilidade, suavidade e conforto ao uso, tornam as fibras como elementos favoráveis para aplicações têxteis. A malva produz fibras têxteis similares às tradicionalmente utilizadas na fabricação de

papel, vestuário, barbantes e tecidos para estofados e tapetes. Mas é usada, sobretudo, na confecção de sacaria para acondicionar produtos como açúcar, café, castanha de caju e cacau.

A malva possui outras características tais como: resistência e durabilidade, solidez à luz solar, ecologicamente correto e absorvente. O processamento da fibra de malva é obtido através da etapa de fiação, dividida nas fases de amaciamento químico, amaciamento mecânico, da cardagem (feita em duas fases), da percentagem, da maçoqueira e da fiação; da etapa de tecelagem precedida por preparação subdividida em três passos: a engomagem, o urdimento e a remetação. E da etapa final do acabamento, composta por sua vez, de seis passos: a purga, o alvejamento, o tingimento, a enzimação, o amaciamento e recobrimento cujo desenvolvimento possibilita a obtenção de fios mais finos sem a presença de fiapos, reduzindo-se, assim, a sua aspereza e, com isto, permitindo a obtenção de tecidos próprios para confeccionar peças do vestuário e/ou acessórios ou outros usos (VOGT, 2008). A **Figura 4** mostra as fibras de malva.

Figura 4 - Fibra de malva (*Malva parviflora* L.) após as etapas do beneficiamento



Fonte: MARTINS NETO, (2010).

2.2.2.3 Tururi (tecido extraído da palmeira Ubuçu “*Manicaria Saccifera*”)

A Fibra de tururi é material renovável e abundante no Município de Muaná, no Estado do Pará, também encontrada no Estado do Amazonas e Amapá onde é extraída da Palmeira conhecida como Ubuçu (*Manicaria Saccifera*) sendo uma palmeira bastante encontrada em Trinidad, na América Central e do sul. As fibras de tururi, mostrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.** consistem em um invólucro protetor de recurso natural

semelhante a um saco de material fibrosa e resistente que envolve os frutos até o amadurecimento (CORREA, 1978).

Figura 5 - Estrutura da palmeira Ubuçu. 1. Invólucro/saco fibroso denominado tururi (*Manicaria Saccifera*). 2. Folhas. 3. Frutos



Fonte: MARTIUS, (1823).

Notas: Adaptada

Suas fibras têm sido usadas tradicionalmente na fabricação de produtos provenientes do artesanato, que por apresentar características de flexibilidade e resistência, simultaneamente vem se transformando em tecido de larga utilização na produção da moda, como bolsas, chapéus, utensílios domésticos, roupas e etc., cuja maior expressão no uso do tururi para esses propósitos é a Associação “Flor do Marajó”, onde há cerca de 30 famílias trabalham na atividade, sem explorar plenamente o seu potencial como material estrutural.

Segundo CORREA (1978), a Palmeira Ubuçu (*Manicaria saccifera*) é um vegetal de clima tropical de altitude, tropical úmido e equatorial, pertence à seguinte classificação científica:

- Reino: Plantae;
- Divisão: Magnoliophyta
- Classe: Liliopsida
- Ordem: Arecales
- Família: Areaceae
- Gênero: *Manicaria*
- Espécie: *M. Saccifera*

Essa Palmeira possui um estipe que alcança [3 a 5] m de altura e 30 mm de espessura. As folhas atingem [5 a 7] m em comprimento, e sua bainha seca persistem sobre o caule; o espádice é grande e ramificado, indo de [1 a 1,5] m e o fruto é uma drupa esférica e suberosa por fora, e que contém de [1 a 3] sementes.

O cacho que pende da palmeira é protegido por um involúcro semelhante a um saco de material fibroso chamado de tururi. Esse material, recolhido caído no chão ou retirado através de gancho e algumas vezes utilizando como peconhas, que por apresentar características de resistência e maciez é bastante utilizado no artesanato e na confecção de roupas.

Encontrado em ambiente de várzeas e em solos úmidos a meia- sombra chegam a atingir cerca de 10 m de altura cuja propagação se dá através de sementes sendo a estação de propagação o verão. A **Figura 6** mostra a palmeira de Ubuçu.

Figura 6 - Palmeira Ubuçu em Muaná, Estado do Pará

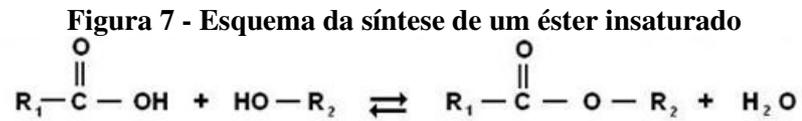


Fonte: SARAIVA, (2011).

2.3 RESINA POLIÉSTER

As resinas de poliéster são de uma família de polímeros formados de reação de ácidos orgânicos dicarboxílicos e glicóis que, quando reagidos, dão origem a moléculas de cadeias longas lineares. Se um ou ambos constituintes principais são insaturados, ou seja, contêm uma ligação dupla reativa entre átomos de carbono, a resina resultante é insaturada. A reação de síntese da resina poliéster é uma reação de polimerização por condensação em etapas, ou seja, a reação de um álcool (base orgânica) com um ácido, resultando em uma reação de

esterificação, formando um éster e água (LEVY NETO ; PARDINI, 2006). A **Figura 7** abaixo mostra a representação esquemática da síntese de um éster insaturado.



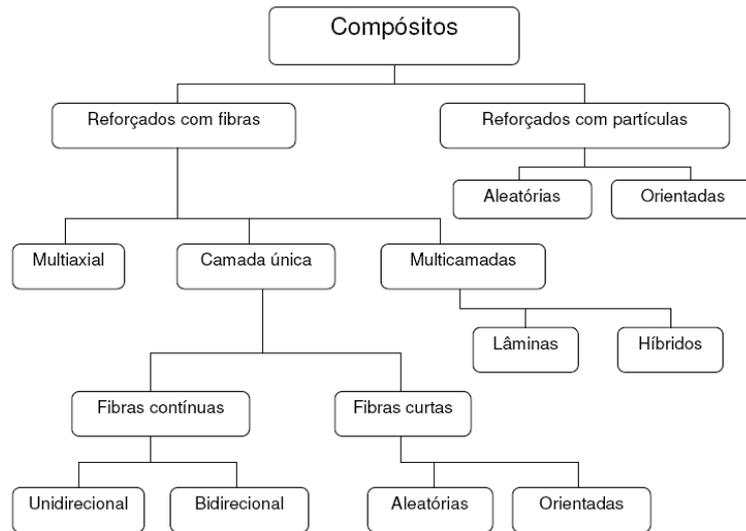
Fonte: RODRIGUES, (2008).

A estrutura de um poliéster insaturado é composta geralmente de três componentes básicos: ácidos saturados, ácidos insaturados e glicóis. O ácido insaturado, geralmente ácido maleico ou ácido fumárico, proporciona insaturações dentro da cadeia polimérica, as quais serão pontos reativos durante o processo de cura da resina. O ácido saturado é responsável pela distância entre as insaturações ao longo da cadeia poliéster, e o glicol proporciona o meio para a reação de esterificação e a formação de ligação entre ácidos saturados e insaturados (PEDROSO, 2002).

2.4 FABRICAÇÃO DE MATERIAL COMPÓSITO COM REFORÇO NA FORMA DE TECIDO

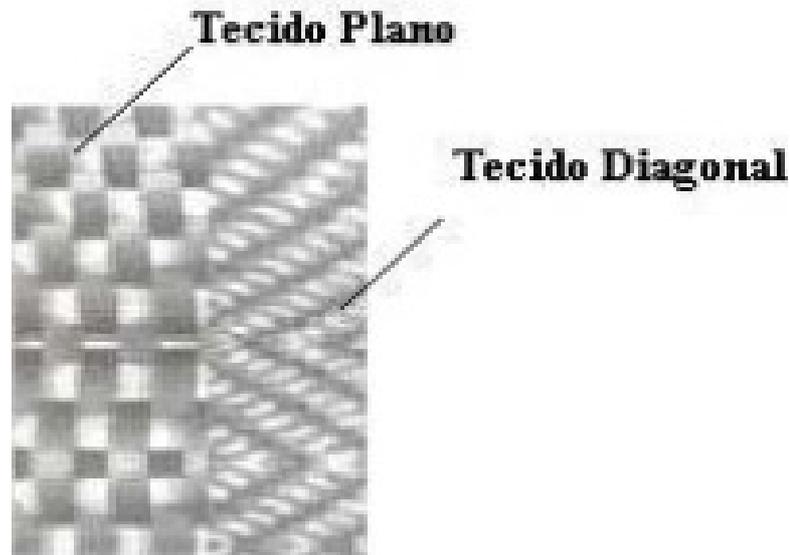
Os materiais compósitos são classificados basicamente em dois grupos que são os compostos reforçados por fibras e compostos reforçados por partículas ou compostos particulados.

Nos compósitos reforçados com fibras, estas podendo ser contínuas, longas, ou curtas, variando o seu comprimento entre [5 e 25] mm. Resistência e/ou rigidez alta são as características perseguidas frequentemente, sendo expressas em termos de resistência específica e módulo específico. Com relação a sua disposição estas podem ser paralelas, unidirecionais, bidirecionais na forma de tecido, e ainda podem está aleatoriamente orientadas, sendo de fibras contínuas ou picadas (MENDONÇA, 2005). A Figura 8 ilustra uma forma de classificação para os materiais compósitos naturais e sintéticos.

Figura 8 - Classificação de compósitos sintéticos e naturais

Fonte: SILVA. et al, (2009).

Os tecidos são fabricados em teares, que são compostos por urdume, que dá a direção e o comprimento de cada tecido, e pela trama, onde os cabos da trama entrelaçam o urdume, dando a forma e a características do tecido para reforço. A Figura 9 apresenta dois tipos de tecidos diferentes, o tecido plano e o tecido diagonal.

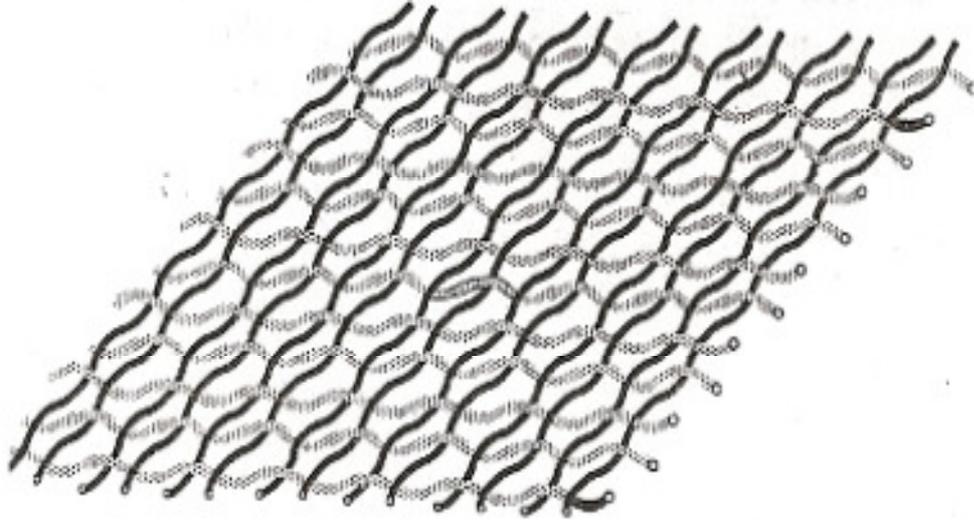
Figura 9 - Tipos de tecido: plano e diagonal

Fonte: LEVY NETO e PARDINI, (2006).

O tecido plano é caracterizado pelos cabos da trama entrelaçados nos cabos do urdume, onde os cabos da trama se entrelaçam um acima e um abaixo dos cabos do urdume e assim sucessivamente, invertendo-se na próxima coluna, ou seja, o que estava em cima passa a

ser abaixo e o que estava abaixo passando por cima e assim sucessivamente até o final do tecido, como pode ser observado na Figura 10.

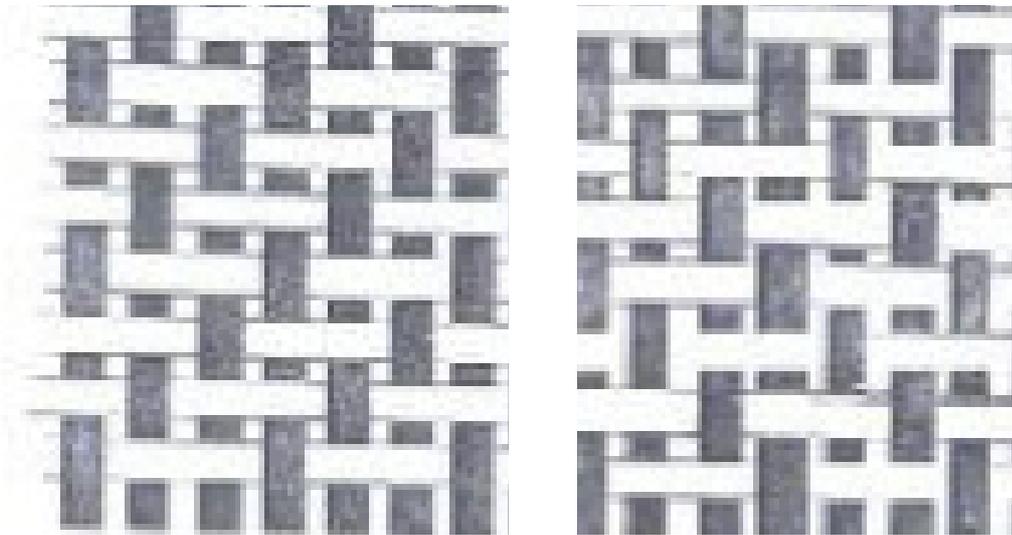
Figura 10 - Tecido plano. É apresentado o urdume na horizontal e a trama na vertical



Fonte: LEVY NETO e PARDINI, (2006).

O tecido laço diagonal, mostrado na Figura 11 é caracterizada por apresentar linhas diagonais na parte superior do tecido. Nesse tipo de tecido são colocados dois cabos da trama sobre um cabo urdume, um abaixo e dois acima, e assim sucessivamente, dessa forma formando as diagonais. Esse tipo de tecido possui duas variações o tecido diagonal mão direita que possui as diagonais começando da parte inferior esquerda e chegando a parte superior direita, e o tecido diagonal mão esquerda que começa na parte inferior direita e termina a sua ondulação na parte superior esquerda. (LEVY NETO ; PARDINI, 2006).

Figura 11 - Tecido laço Diagonal (a) mão direita e (b) mão esquerda
(a) (b)



Fonte: LEVY NETO e PARDINI, (2006).

A fabricação de material compósito com tecido pode ser fabricado por diferentes métodos de fabricação, como por exemplo, pultrusão e fabricação manual (hand-lay-up). O método de fabricação manual (hand-lay-up) consiste em impregnar o tecido com a matriz até que se atinja a espessura do laminado.

2.4.1 Fabricação de Material Compósito Pelo Método Hand-lay-up

Nesse processo pode-se obter acabamento superficial com bastante qualidade, a um baixo custo e peso, sendo adequado para a produção de baixos e médios volumes e de partes grandes. Os reforços são colocados em um molde aberto e impregnado com resina. Quando a resina cura, a superfície do molde é reproduzida para o lado do compósito que está em contato com o molde, originando peças leves e resistentes.

Consiste em aplicar sobre um molde fibra e resina em camadas. Podendo a fibra ser depositada, primeiramente sobre o molde e em seguida a resina é espalhada com pincel ou espátula sobre ela. A seguir, por algum processo a resina é forçada a penetrar e impregnar inteiramente a fibra, removendo as bolhas que se formam com os movimentos do pincel ou espátula.

Também podem ser utilizados acessórios que se assemelham a um rolo de pintura de paredes, mas que possui uma série de discos que cumprem a mesma finalidade.

A espessura do compósito é determinada pelo número de camadas de resinas e fibras aplicadas. A fibra depositada pode ser na forma de manta ou de tecido. A Figura 12, apresenta a fabricação de material compósito pelo método hand-lay-up.

Figura 12 - Fabricação de material compósito pelo método hand-lay-up



Fonte: ANCEL

2.5 PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MATERIAIS COMPÓSITOS

Em compósitos, a resistência mecânica é basicamente função da orientação das fibras e da fração volumétrica destas (MESQUITA, 2005)

Os compósitos podem apresentar estruturas com fibras orientadas de forma contínua ou descontínua, podendo ainda apresentar fibras aleatoriamente distribuídas na matriz. As fibras orientadas podem estar dispostas, soltas uma das outras, na matriz ou em forma de tecido. As fibras aleatórias podem estar dispostas ao acaso na matriz como um todo ou restritas a planos, normalmente em forma de lâminas (FAGURY, 2005).

Em uma lâmina de compósito o volume total (v_t) divide-se em 3 parcelas: v_m (volume da matriz); v_f (volume da fibra) e v_v (volume de vazios), onde:

$$v_t = v_m + v_f + v_v \quad (1)$$

Neste caso, pode-se definir que as frações volumétricas (V) de fibras (V_f), de matriz (V_m), e de vazios (V_v), respectivamente, são dadas por: (LEVY NETO ; PARDINI, 2006).

$$V_f = \frac{V_f}{V_t} ; V_m = \frac{V_m}{V_t} ; V_v = \frac{V_v}{V_t} \quad (2)$$

Sendo que, combinando-se as equações (1) e (2), obtém-se:

$$V_f + V_m + V_v = 1 \quad (3)$$

A boa qualidade de um compósito estrutural está relacionada à fração volumétrica de vazios, que deve ser baixa. Idealmente, inferior a 1% (LEVY NETO ; PARDINI, 2006). Desprezando-se então a participação dessa variável, obtém-se a equação (4), abaixo:

$$V_f + V_m = 1 \quad (4)$$

As propriedades mecânicas dos compósitos são melhores quando as fibras estão alinhadas continuamente e a sollicitação mecânica é aplicada na mesma direção do alinhamento das fibras. Considerando fibra e matriz de comportamento linear elástico, o módulo de elasticidade longitudinal do compósito unidirecional (E_{lc}) é dado pela regra da mistura, representada pela equação 5.

$$E_{lc} = E_f \cdot V_f + E_m \cdot V_m \quad (5)$$

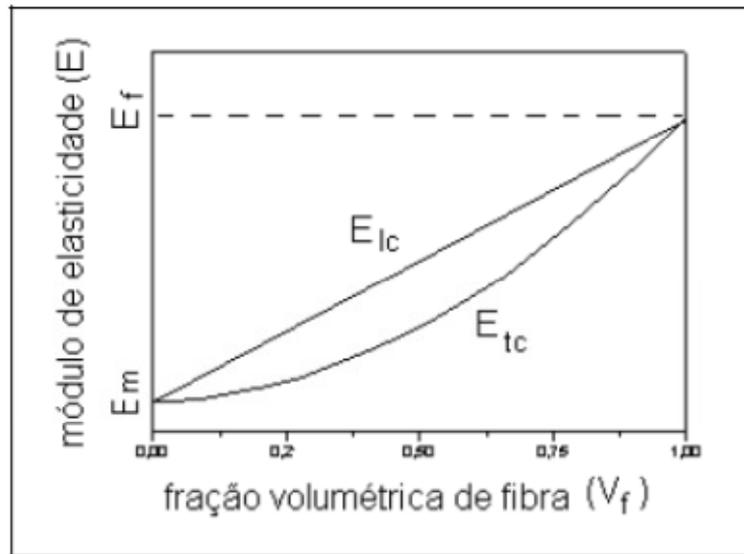
onde E_f e E_m são os módulos de elasticidade das fibras e da matriz, V_f e V_m as frações volumétricas das fibras e da matriz (FAGURY, 2005).

O desempenho das características mecânicas é restrito quando as fibras estão alinhadas continuamente e a tração mecânica é aplicada na direção transversal. Para fibra e matriz que apresentam um comportamento linear elástico, o módulo elástico transversal do compósito unidirecional (E_{tc}) é dado pela associação em paralelo dos módulos, representada pela equação 6.

$$E_{tc} = \frac{E_m \cdot E_f}{E_m \cdot V_f + E_f \cdot V_m} \quad (6)$$

Através da **Figura 13**, é possível representar graficamente as equações 5 e 6. É necessário lembrar que o módulo de elasticidade de materiais monolíticos não depende da direção sollicitada.

Figura 13 - Módulo de elasticidade de compósito com fibra alinhada sob solicitação longitudinal (E_{lc}) e transversal (E_{tc}) em função da fração volumétrica das fibras no compósito (V_f)



Fonte: FAGURY, (2005).

Para considerar que a resistência de um compósito com determinado valor de fração volumétrica de fibras é necessário considerar algumas hipóteses, tais como, que as fibras estão dispostas de forma unidirecional; que as fibras possuem diâmetros iguais e propriedades uniformes; que a distribuição das fibras é regular; e que as fibras estão perfeitamente aderidas à matriz. Portanto, pode-se dizer que a carga suportada longitudinalmente pelo compósito corresponde a soma da carga suportada longitudinalmente pelas fibras com a carga suportada longitudinalmente pela matriz. Levando em consideração as hipóteses citadas e que uma fase não pode esticar mais do que a outra durante uma solicitação constante, com a equação 7 é mostrado que a deformação longitudinal do compósito (ϵ_{lc}) é igual a deformação longitudinal da matriz (ϵ_{lm}), que é igual a deformação longitudinal das fibras (ϵ_{lf}) (FAGURY, 2005):

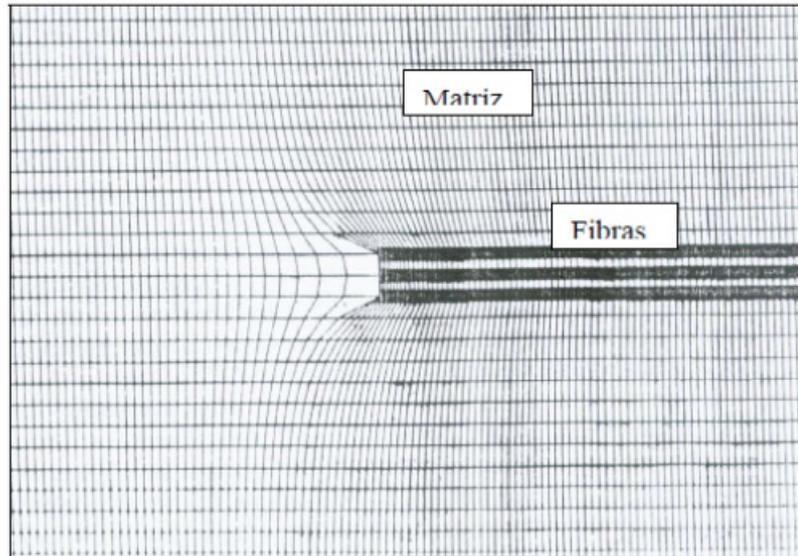
$$\epsilon_{lc} = \epsilon_{lm} = \epsilon_{lf} \quad (7)$$

ou seja, quando a solicitação mecânica é aplicada na direção longitudinal do alinhamento das fibras ocorre uma condição de isodeformação.

Ressaltando, o melhor desempenho das propriedades mecânicas do compósito é obtida quando as fibras estão orientadas na direção longitudinal, com distribuição uniforme e com a máxima fração volumétrica alcançada. Porém as propriedades mecânicas do compósito não dependem apenas das propriedades da fibra, mas também da capacidade da matriz transferir a carga aplicada. A capacidade da ligação interfacial entre a fibra e matriz é importante para a

extensão dessa transmissão. Sob aplicação de uma tensão, essa ligação fibra-matriz cessa nas extremidades de uma fibra, produzindo concentração de tensão e deformação na matriz como (FAGURY, 2005) esquematizado na **Figura 14**.

Figura 14 - Deformação na matriz em volta da extremidade das fibras



Fonte: FAGURY, (2005).

Para que o compósito apresente eficiente propriedade mecânica, as fibras necessitam de um comprimento mínimo para ser agregada a matriz. Esse comprimento crítico (l_c) depende do diâmetro da fibra (d), da resistência à tração da fibra (σ_f), e de uma boa adesão entre a fibra e a matriz, que pode ser avaliada pela tensão limite de escoamento cisalhante do compósito (τ_c), representado pela equação 8.

$$l_c = \frac{\sigma_f \cdot d}{2 \cdot \tau_c} \quad (8)$$

Se a fibra não tiver esse comprimento mínimo necessário ocorrerão pontos de concentrações de tensões que se localizam nas extremidades das fibras, que são potenciais iniciadores de fraturas locais na interface ou na matriz, depreciando a atuação da fibra como reforço.

Algumas solicitações mecânicas não possuem sentido preferencial e nesse caso a disposição aleatória das fibras é a mais indicada em vez de reforçar de forma unidirecional. A distribuição aleatória das fibras também é recomendada para reduzir os efeitos e riscos dos materiais com acentuado grau de anisotropia. Em geral a obtenção de fibras curtas é alcançada

ao proceder o corte de fibras longas, sendo que em diversos processos industriais as fibras de reforço necessariamente são curtas (FAGURY, 2005).

Para a escolha da matriz, deve ser observada a aplicação do compósito, assim como as propriedades desejadas. Industrialmente, as matrizes de termoplásticos são mais viáveis, em função da produtividade dessas peças, com um número reduzido de mão de obra qualificada. Os polímeros termoplásticos, normalmente são fundidos durante o processamento e podem ser reciclados, pois fundem e retornam ao seu estado anterior sem degradação do material. Os polímeros termoplásticos e os compósitos de termoplásticos, podem ser moldados por injeção, extrusão ou por outras técnicas de moldagem por aquecimento. As maiores restrições de peças de termoplásticos são as dimensões e o custo de equipamentos de processo, quanto maior a peça, maior susceptibilidade ao empenamento e mais caro o equipamento de processo (FAGURY, 2005).

Polietileno, poliestireno e polipropileno; e de termorrígido epóxi, poliéster e poliuretano são exemplos de matrizes de termoplástico.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 MATERIAIS

Neste trabalho, para a fabricação do compósito, foram usadas resina de poliéster como matriz e reforço de tecido de fibra de tururi.

3.1.1 Resina Poliéster

A matriz utilizada no material compósito foi a resina 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), proporção esta otimizada, segundo RODRIGUES (2008). A resina foi adquirida já pré-acelerada com naftenato de cobalto (CoNap), na proporção de 0,15% em massa.

3.1.2 Tecido de Fibra de Tururi

A fibra de tururi usada como reforço no compósito para fabricação de laminados, cujas amostras vieram do município de Muaná, no estado do Pará, localizado a uma latitude 01°31'42'' sul e a uma longitude de 49°13'00'' oeste, estando a uma altitude de 22 metros. As fibras foram colhidas diretamente das Palmeiras de Ubuçu da fazenda Caripunas e tratadas segundo o método utilizado pela associação de artesões Flor do Marajó, método este que utiliza somente água corrente para a lavagem e amaciamento da fibra, e são utilizadas no desenvolvimento de materiais artesanais. Para a utilização neste trabalho as fibras foram adquiridas de membros da associação acima citada.

3.2 METODOLOGIA EXPERIMENTAL

3.2.1 Tratamento e Corte do Tecido de Tururi

Os invólucros de tururi depois de colhidos, foram cortados e, logo em seguida, passaram por um processo de amaciamento, sem uso de produtos químicos, usando apenas a

água corrente para retirada das impurezas sendo um método simples e ecológico, pois não gera resíduos químicos no meio ambiente.

Depois de lavadas e amaciadas, passaram por um processo de secagem ao sol e cortadas de acordo com as dimensões necessárias para a produção do compósito. A Figura 15 mostra os invólucros de fibra colhidas da Palmeira e a Figura 16, mostra a fibra após o tratamento de lavagem, amaciamento e abertura.

Figura 15 - Invólucros de tururi colhido da palmeira



Fonte: Autor do Trabalho

Figura 16 - Tecido de tururi após tratamento de lavagem, amaciamento e abertura



Fonte: Autor do Trabalho

Após o tratamento a fibra foi demarcada, conforme Figura 17, para ser cortada, com o uso de uma tesoura e posteriormente para a fabricação do compósito.

Figura 17 - Tecido devidamente demarcado para o corte



Fonte: Autor do Trabalho

3.2.2 Caracterização Micro Estrutural do Tecido de Fibra de Tururi

3.2.2.1 Tecido sem abertura

Os tecidos sem abertura de tecido de fibra de tururi foram caracterizados micro estruturalmente no laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura- LABMEV do Instituto de Geociências da UFPA. O equipamento a ser utilizado foi um MEV, modelo LEO – 1430. As amostras, recortadas transversalmente em relação a orientação das fibras, em tamanho que permita sua inserção no MEV, foram coladas em suportes e entregues ao técnico do LABMEV, para a preparação, que consiste em metaliza-las com platina, conforme apresentadas na Figura 18, o tempo de recobrimento foi de 2,0 minutos. As condições de análises para as imagens de elétrons secundários foi: corrente de feixe de elétrons=90 μ A, voltagem de aceleração constante = 10 kV, distância de trabalho= 15-12 mm.

Figura 18 - Amostras metalizadas com platina



Fonte: Autor do Trabalho.

3.2.2.2 Tecido com abertura

Os tecidos com abertura serão caracterizados micro estruturalmente no laboratório de microscopia eletrônica de varredura – LABMEV do instituto de Geociências da UFPa. O equipamento foi o mesmo utilizado para o tecido sem abertura e as amostras receberam os mesmos tratamentos.

3.2.3 Ensaio de Tração do Tecido de Fibra de Tururi

3.2.3.1 Tecido sem abertura

Os tecidos de fibra de tururi foram submetidos a ensaio de tração utilizando a máquina Kratos (TRCv59D- USB). Os ensaios foram desenvolvidos de acordo com a norma NBR 11912 (NBR 11912 – 2001), que estabelece as dimensões dos corpos-de-prova de tecidos de sentido unidirecional, correspondente a 300 mm de comprimento, por 50 mm de largura, conforme Figura 19, sendo o número mínimo de corpos de prova equivalente a cinco, para cada tipo de tecido ensaiado, com distância entre garras de 200 mm, pré –tensão de 10 N e velocidade de ensaio de 2,3 mm/min.

Figura 19 - Corpos de prova para ensaio de tração sem abertura



Fonte: Autor do Trabalho.

3.2.3.2 Tecido com abertura

A metodologia utilizada foi a mesma empregada para o tecido sem abertura, ou seja, a mesma norma, a mesma máquina utilizando os mesmos parâmetros, sendo a única diferença a utilização da máquina manual para alongamento transversal do tecido, para distender o tecido até a porcentagem de abertura desejada.

3.2.4 Caracterização Microestrutural da Fratura do Tecido de Fibra de Tururi

O tecido de fibra de tururi foi caracterizado micro estruturalmente no laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura- LABMEEV do instituto de Geociências da UFPa. O equipamento utilizado foi um MEV modelo LEO-1430. As amostras foram metalizadas com platina e o tempo de recobrimento foi de 2,0 minutos. As condições de análises para as imagens de elétrons secundários foram corrente de feixe de elétrons = 90 Ua, voltagem de aceleração constante = 10KV, distancia de trabalho = 15 – 12 mm.

3.2.4.1 Tecido sem abertura

Após o ensaio de tração, foram retiradas amostras do tecido, sendo cortadas transversalmente ao esforço, sendo metalizadas e caracterizadas.

3.2.4.2 Tecido com abertura

O procedimento foi idêntico ao anterior utilizando o mesmo numero de amostras com abertura.

3.2.5 Determinação da Massa Específica Absoluta do Tecido de Tururi

A massa específica absoluta foi determinada no laboratório de Engenharia de Produtos Naturais (LEPRON) da FEQ/UFGA, através do método de picnometria de comparação, recomendado por Webb e Orr (1977), onde foram usados (05) cinco picnômetros, mostrados na Figura 20, sendo um de 10 ml, um de 20 ml, um de 18,5 ml e dois de 25 ml. O procedimento utilizado para determinar as massas específicas das amostras de fibras foi através da pesagem dos picnômetros vazios e cheios com água, com fibras e com fibra com água. Esse procedimento é realizado, utilizando-se de uma balança de precisão, conforme a Figura 21 e de uma estufa a 105°C, cuja temperatura serve para expulsar todo ar existente no conteúdo do picnômetro.

Figura 20 - Picnômetros usados para a determinação da massa específica da fibra de tururi



Fonte: Autor do Trabalho.

Figura 21 - Balança usada para a quantificação da massa



Fonte: Autor do Trabalho.

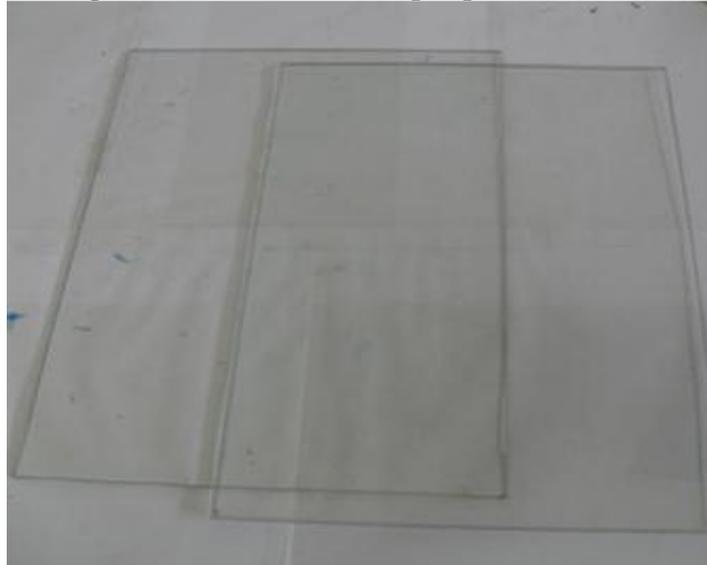
3.2.6 Determinação da Gramatura

A gramatura é o peso [g] de uma lâmina com área de 1 m^2 , portanto expressa em gramas por metro quadrado (g/m^2). Para a determinação da gramatura, do tecido de tururi, sem abertura, com abertura de [50 e 100]%, após a preparação dos tecidos, foram demarcados e recortados com a utilização de tesoura 10 amostras com tamanho de $15 \times 15 \text{ cm}$, em seguida pesadas e obtida a média aritmética desses valores, em conformidade com a norma NBR 10591 (NBR 10591 – 2008). A norma estabelece que seja feita no mínimo cinco amostras.

3.2.7 Preparação do Molde para Fabricação do Compósito

O molde utilizado para a fabricação do compósito é constituído de vidro, Figura 22, com a espessura de 4 mm, sendo o mesmo revestido com folhas de alumínio e película plástica, com a função de desmoldante.

Figura 22 - Molde formado por placas de vidro



Fonte: Autor do Trabalho.

3.2.8 Fabricação das Lâminas de Compósitos de Tecido de Tururi

3.2.8.1 Fabricação de lâminas para quantificação da massa de resina

Para a fabricação das lâminas de compósitos de tecido de fibra de tururi, preliminarmente foi necessária a determinação da massa de resina necessária para a produção dos compósitos. Tecidos de fibra de tururi foram cortados nas dimensões de [80 x 360] mm, nos quais foram aplicadas uma camada de resina objetivando a total impregnação da superfície do tecido para a formação das lâminas do compósito. Na determinação da massa, também foram levados em consideração a quantidade de resina restante do processo de fabricação, obtendo-se, dessa forma, o valor em massa de resina aplicada no tecido através da diferença dos valores de resina total preparada e de resina perdida. Assim, quatro lâminas foram produzidas. Após serem preparadas, as lâminas foram avaliadas e escolhidas segundo características visuais levando em consideração a rigidez, melhor molhabilidade, isenção de defeitos, resistência e integridade do material produzido.

O processo de cura completa do laminado se deu em clima ambiente com a duração correspondente a 72 horas e temperatura de 25°C, esse processo foi desenvolvido em uma capela, onde permaneceram até o momento da cura total.

Após a escolha da lâmina e determinada a quantidade de resina, para a superfície de [80 x 360] mm, foi calculada por proporcionalidade a quantidade de resina para a produção do compósito para uma superfície de [200 x 300] mm, dimensões do compósito as ser fabricado.

Neste trabalho após algumas experiências, foi obtido como resultado a necessidade de 04 camadas de resinas e 03 camadas de fibra para ser atingida a espessura necessária requerida pela norma ASTM D 3039 (ASTM D 3039 – 2005).

A produção das lâminas, além da quantificar a massa de resina utilizada para a fabricação do compósito, serviu também para a familiarização com a metodologia de fabricação. Dentre as lâminas fabricadas, uma foi selecionada, sendo assim, seu valor em massa de resina a ser usado como referencia para o desenvolvimento de compósitos, contendo 3 (três) camadas de tecido e por 4 (quatro) camadas de resina. A **Figura 23**, mostra as lâminas fabricadas.

Figura 23 - Lâminas fabricadas para seleção



Fonte: Autor do Trabalho.

3.2.8.2 Tecido sem abertura

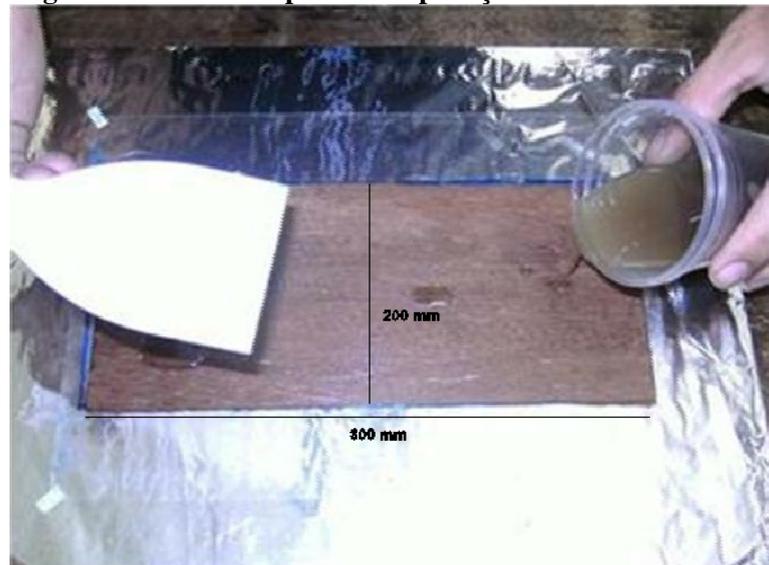
A fabricação do compósito foi realizada de acordo com o método *Hand lay up*. Método bastante utilizado em laboratório pela sua simplicidade e no qual os compósitos foram formados a partir de camadas alternadas de resina e tecido de tururi analogicamente a um “sanduíche”.

Para a fabricação do compósito, após a determinação da massa de resina necessária para ser usada como matriz de acordo com a capacidade de absorção do tecido. Tecidos de fibra de tururi foram cortados nas dimensões de [200 x 300] mm e aplicados em cada, camada de resina para total impregnação da superfície, visando a formação de uma única lamina de compósito do tecido de tururi.

Os compósitos foram produzidos sobre uma placa de vidro, que recebeu revestimento de papel alumínio e de película plástica com a finalidade de servirem como desmoldantes, para evitar imperfeições na superfície do laminado durante o processo de formação e inibir a adesão da resina no vidro.

Os compósitos foram produzidos inicialmente a partir da deposição de uma fina camada de resina poliéster em toda a superfície demarcada da área do molde, sendo em seguida, espalhada por uma espátula de plástico, mostrada na **Figura 24**.

Figura 24 - Mostra a primeira aplicação de resina no molde

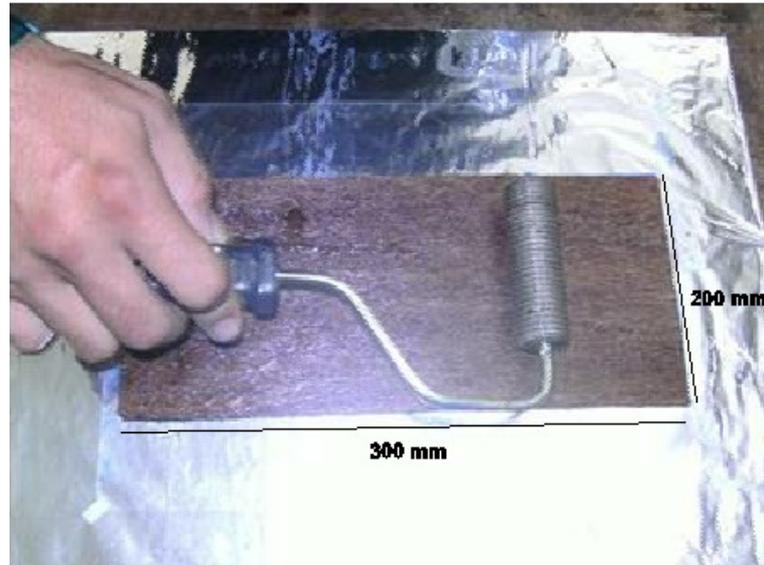


Fonte: Autor do Trabalho

Na sequência foi colocado sobre a resina o tecido de fibra de tururi, seguido de nova camada de resina até a completa impregnação do tecido.

Um rolo laminador foi usado para retirada de bolhas formadas durante a impregnação, conforme mostra **Figura 25**.

Figura 25 - Mostrando o momento da retirada de bolhas através de rolo laminador



Fonte: Autor do Trabalho.

O mesmo processo se repetiu até o empilhamento de um compósito constituído de três camadas de tecidos de tururi intercalado por quatro de resina, com o objetivo de alcançar a espessura requerida pela norma ASTM 3039 (ASTM D 3039 – 2005), para posteriores ensaios mecânicos.

Vale ressaltar que durante o processo de laminação, deve-se atentar para a ocorrência da cura da resina. Portanto, há necessidade de certa habilidade durante a laminação a fim de que o processo seja rápido o suficiente para que a resina não fique muito viscosa impedindo assim o seu espalhamento sobre o tecido, bem como sua interpenetração pelos fios durante o processo de compressão.

Sendo assim, realizados as etapas de laminação foi colocada outra película plástica e placa de vidro revestida de papel alumínio sobre a superfície do compósito para melhor compactá-lo apresentada na **Figura 26**.

Figura 26 - Mostra o fechamento do compósito depois de laminado



Fonte: Autor do Trabalho.

Para compactação do compósito foi utilizado uma carga de 45 kg, conforme apresentado na **Figura 27**.

Figura 27 - Carga utilizada para compactar o compósito



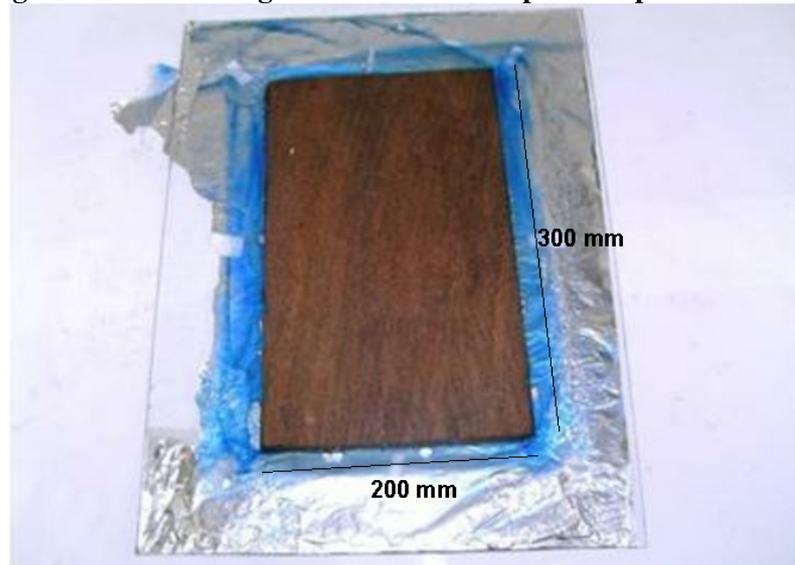
Fonte: Autor do Trabalho.

Vale ressaltar, também, que esses materiais através da pressão exercida na superfície do molde, tiveram o propósito de atuar na compactação das lâminas, melhorando a impregnação da resina no tecido, homogeneizando o processo e atuando na espessura do material produzido, além de expulsar bolhas existentes no decorrer do processo.

Os compósitos foram mantidos em temperatura ambiente completando um ciclo de cura de 72 horas, todo o processo de fabricação foi desenvolvido em temperatura ambiente.

Após o tempo de cura completa, o compósito foi desmoldado de maneira simples retirando os materiais da superfície do molde e em seguida retirando a placa de vidro que se solta facilmente do compósito devido ao papel alumínio e a folha de película plástica, sendo dessa forma extraído o compósito, **Figura 28**.

Figura 28 - Desmoldagem do material compósito depois de curado



Fonte: Autor do Trabalho.

3.2.8.3 Tecido com abertura

Foram produzidos compósitos com abertura de [50 e 100]%, a abertura foi realizada através da utilização de equipamentos criados e desenvolvidos especialmente para estes fins, como: máquina manual para alongamento transversal do tecido, **Figura 29**, e o molde de abertura e fabricação de lâminas, **Figura 30**.

A abertura do tecido foi de [50 e 100]% (abertura transversal a orientação das fibras). Primeiramente foi feito a seleção do tecido, lavagem com água e posteriormente a secagem, para a distensão de 50 %, foi utilizado, com auxílio de duas régua gabarito, uma dimensão transversal inicial de 200 mm e com auxílio de outra régua gabarito, distende-se a fibra transversalmente até a mesma atingir a distensão desejada que é de 300 mm (50 % de distensão). Para uma distensão de 100 %, foi utilizada duas régua gabaritos diferentes, uma de 150 mm e outra de 300 mm. Inicialmente a fibra foi cortada para uma medida de 200 mm e 150 mm (para fabricação com abertura de [50 e 100]%, respectivamente), com uma borda de

10 mm nas laterais, para a fixação na máquina de distensão e depois com auxílio da máquina e dos gabaritos alcançou-se o valor desejado que é de 300 mm ([50 e 100]% de distensão).

Figura 29 - Máquina manual para alongamento transversal do tecido



Fonte: Autor do Trabalho.

Figura 30 - Molde de abertura e fabricação de lâminas



Fonte: Autor do Trabalho.

A máquina manual para alongamento transversal do tecido consiste de um material metálico formado de parafusos que se fixa a chapas finas de aço, utilizados para prender as extremidades do tecido, servindo para estender o tecido de acordo com a regulagem feita pelas porcas de regulagem laterais, que funcionam manualmente conforme porcentagem de abertura desejada. As extremidades do tecido quando presas pela máquina de alongamento, recebem

uma fina camada de resina de poliéster pré-acelerada para formar uma moldura resistente nas laterais do tecido, com o objetivo de manter a abertura do tecido na porcentagem realizada.

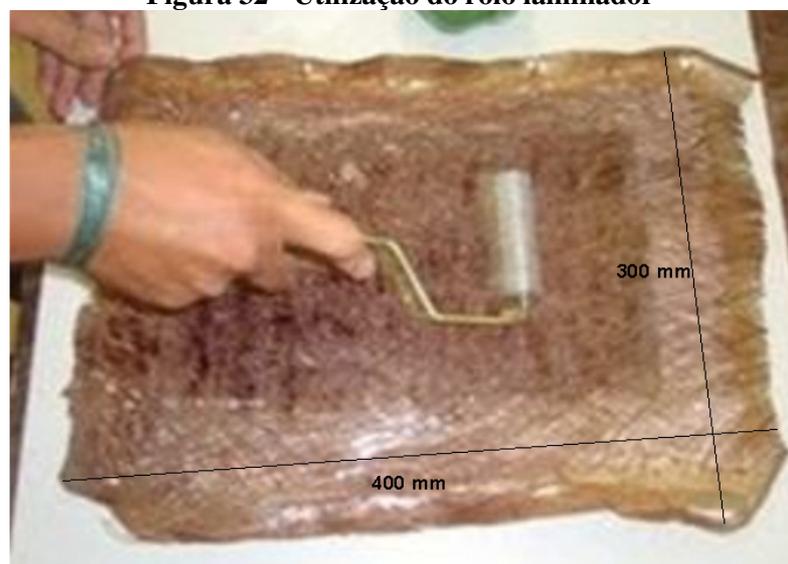
O molde de abertura e fabricação de lâminas de compósito consiste de material de mdf de [300 X 400] mm, com pregos sem cabeça nas extremidades para prender na moldura resistente nas laterais do tecido e impedir a perda de abertura, ficando posicionadas adequadamente para a fabricação do compósito, seguindo o mesmo procedimento de quando da fabricação do laminado sem abertura, ou seja, uma camada de resina e outra de fibra, apresentada na **Figura 31**, também utilizando o rolo laminador para retirada de bolhas formadas durante a impregnação, apresentada na **Figura 32**.

Figura 31 - Impregnação de resina



Fonte: Autor do Trabalho.

Figura 32 - Utilização do rolo laminador



Fonte: Autor do Trabalho.

Para compactação do laminado do compósito segue-se o mesmo procedimento para fabricação do compósito sem abertura.

3.2.9 Determinação da Fração Mássica do Compósito

Para a determinação da fração mássica, foi utilizado um método prático e que consistiu primeiramente em pesar e medir as dimensões de uma placa de compósito. Posteriormente, cortou-se 5 tecidos de fibra de tururi com a mesma dimensão e abertura da placa do compósito e pesou-se as mesmas, calculando-se a média aritmética desses valores, multiplicando por 3, que é o número de camadas de fibra em um compósito, obteve-se a quantidade de fibra no compósito e por diferença foi determinado a quantidade de resina. Finalmente foram calculadas as porcentagens de fibra e resina no compósito.

3.2.10 Corte e Preparação dos Corpos de Prova

Os corpos de prova foram cortados utilizando uma bancada, conforme **Figura 33**, desenvolvida exclusivamente para o corte dos compósitos contendo uma máquina de corte de mármore e granito marca D'walt, sendo fixada na bancada através de parafusos. A bancada possuía um dispositivo de ajuste de tamanho, mostrado na **Figura 34**, para possibilitar o corte de compósito com a largura desejada.

Figura 33 - Bancada para corte de compósito



Fonte: Autor do Trabalho.

Figura 34 - Operação de corte de compósito



Fonte: Autor do Trabalho.

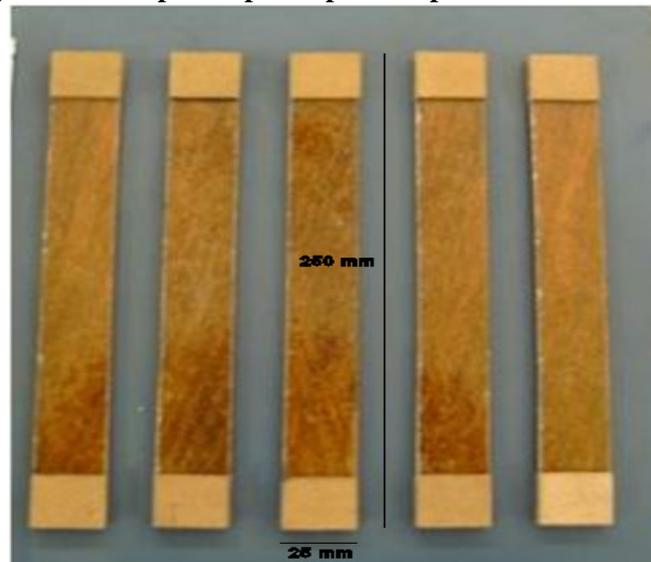
Os corpos de prova foram preparados, conforme a norma ASTM D 3039 (ASTM D 3039 – 2005), que estabelece para compósitos com fibras de orientação simétrica as seguintes dimensões: 250 mm de comprimento, com largura de 25 mm e espessura de 2,5 mm, sendo que a área útil de tração, corresponde a [200 x 25] mm e velocidade de ensaio de 2 mm/minutos. Para os ensaios de tração foram colocados tabs, também em conformidade com a norma ASTM D 3039 (ASTM D 3039 – 2005), com a função de fazer a fixação do corpo de prova na máquina de ensaio de tração.

3.2.11 Ensaio de Tração do Material Compósito Reforçado por Tecido de Fibra de Tururi

3.2.11.1 Tecido sem abertura

O ensaio de tração do compósito reforçado por fibra de tururi sem abertura foi realizado com base na norma ASTM D 3039 (ASTM D 3039 – 2005), que estabelece as dimensões de 250 mm de comprimento por 25 mm de largura e espessura de 2,5 mm, sendo que a área útil de tração corresponderá a 200 mm, **Figura 35**. Os corpos de prova foram confeccionados utilizando tab de 25 mm de largura por 25 mm de comprimento. Os ensaios serão conduzidos em uma máquina de ensaio universal Kratos 2000 com velocidade de 2 mm/min.

Figura 35 - Corpos de prova prontos para ensaio de tração



Fonte: Autor do Trabalho.

3.2.11.2 Tecido com abertura

Uma vez produzidas as placas com as aberturas de [50 e 100]%, foram adotadas a mesma metodologia e os mesmos parâmetros para o tecido sem abertura.

3.2.12 Caracterização Microestrutural da Fratura do Material Compósito Reforçado por Tecido de Fibra de Tururi

O compósito fraturado foi caracterizado micro estruturalmente no laboratório de Microscopia Eletrônica de Varredura- LABMEEV do instituto de Geociências da UFPA. O equipamento utilizado foi um MEV modelo LEO-1430. As amostras foram metalizadas com platina e o tempo de recobrimento foi de 2,0 minutos. As condições de análises para as imagens de elétrons secundários foram corrente de feixe de elétrons = 90 Ua, voltagem de aceleração constante = 10KV, distancia de trabalho = 15 – 12 mm.

3.2.12.1 Tecido sem abertura

Depois do ensaio de tração, foram retiradas amostras, sendo cortadas transversalmente ao esforço, sendo caracterizadas conforme descrito anteriormente.

3.2.12.2 Tecido com abertura

O procedimento foi análogo ao tecido sem abertura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 TRATAMENTO E CORTE DO TECIDO DE TURURI

O tratamento e corte do tecido com abertura e sem abertura, foi descrito anteriormente no item 3.2.1 e ocorreu de modo satisfatório, apresentado visualmente aspecto de retirada de parte da lignina, quando da lavagem com água corrente, tornando-se mais flexível, tornando-se assim mais fácil seu manuseio.

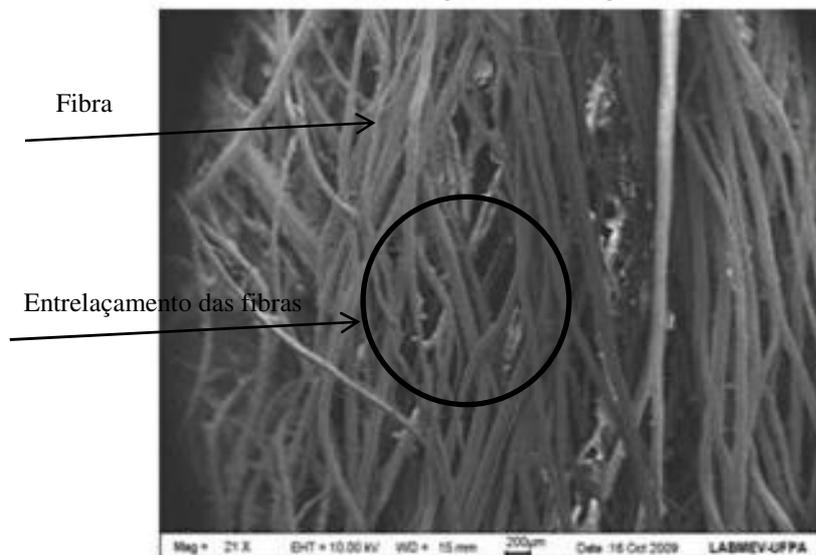
Quanto ao corte, transcorreu sem nenhum problema, não apresentando rebarbas que comprometessem a aplicação do tecido para a fabricação do compósito.

4.2 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DO TECIDO DE FIBRA DE TURURI

4.2.1 Tecido Sem Abertura

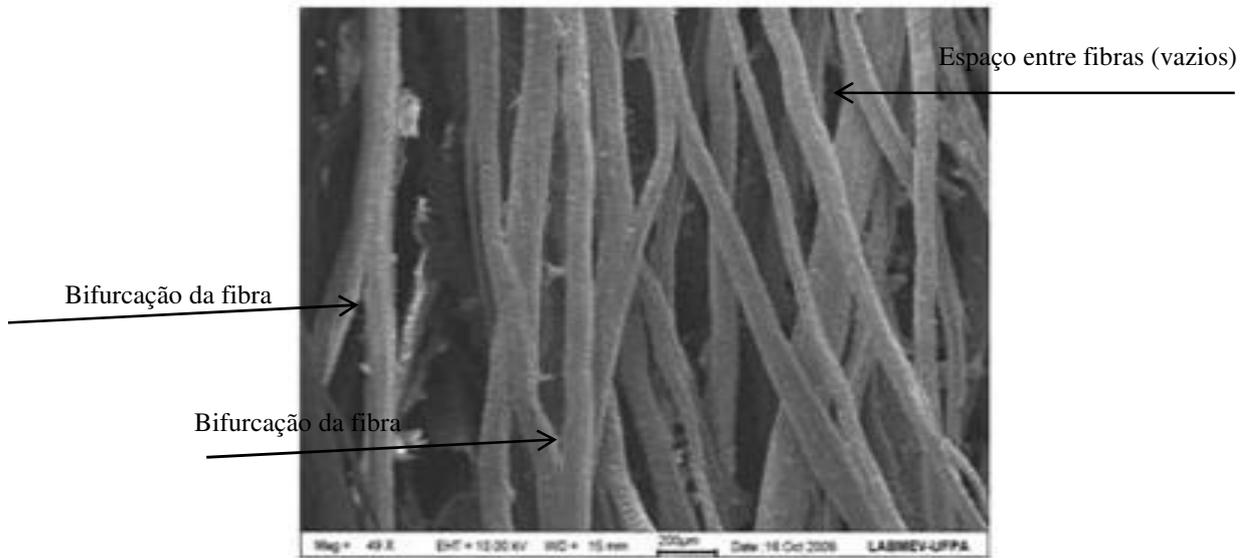
Os resultados da microscopia realizados nos tecido de tururi sem abertura mostram características morfológicas importante para o estudo da interação fibra matriz. A **Figura 36** mostra o arranjo das fibras, apresentando sentido unidirecional, com bastante adensamento e entrelaçamento de fibras. A **Figura 37** com mais aproximação, deixa bem mais visíveis as bifurcações naturais do tecido.

Figura 36 - Microscopia realizada nos tecido de tururi sem abertura, sentido transversal em relação a orientação das fibras



Fonte: Autor do Trabalho.

Figura 37 - Microscopia realizada nos tecido de tururi sem abertura, sentido transversal em relação a orientação das fibras, com mais aproximação



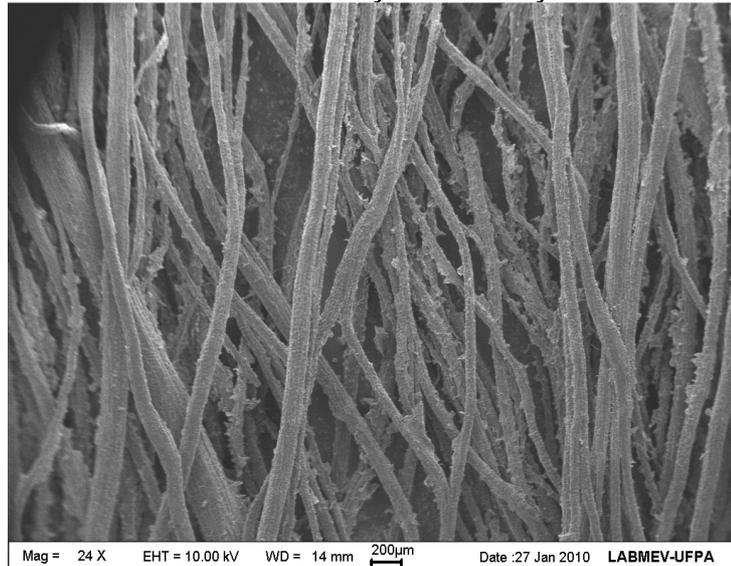
Fonte: Autor do Trabalho.

4.2.2 Tecido Com Abertura

4.2.2.1 Abertura de 50 %

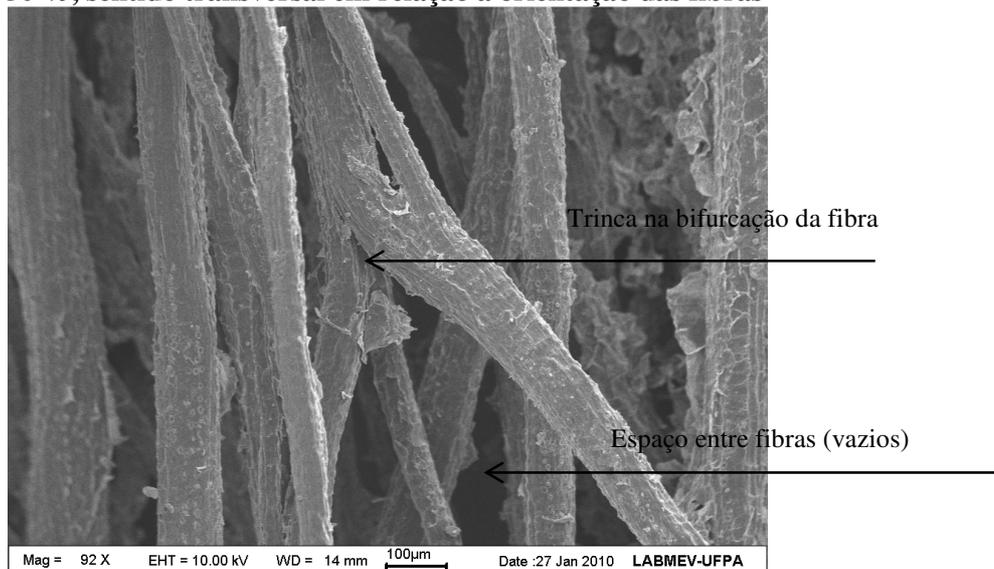
A microscopia do tecido de tururi com abertura transversal de 50 % mostrada através da **Figura 38**, que a fibra apresenta uma diminuição no adensamento das fibras em relação ao apresentado nas fibras sem abertura. A **Figura 39**, mostra que a fibra de tururi com abertura transversal de 50 %, já apresenta uma pequena trinca na bifurcação da fibra, provavelmente em função da abertura forçada da fibra.

Figura 38 - Microscopia realizada nos tecido de tururi com abertura transversal de 50 %, sentido transversal em relação a orientação das fibras



Fonte: Autor do Trabalho.

Figura 39 - Microscopia com mais aproximação nos tecido de tururi com abertura transversal de 50 %, sentido transversal em relação a orientação das fibras

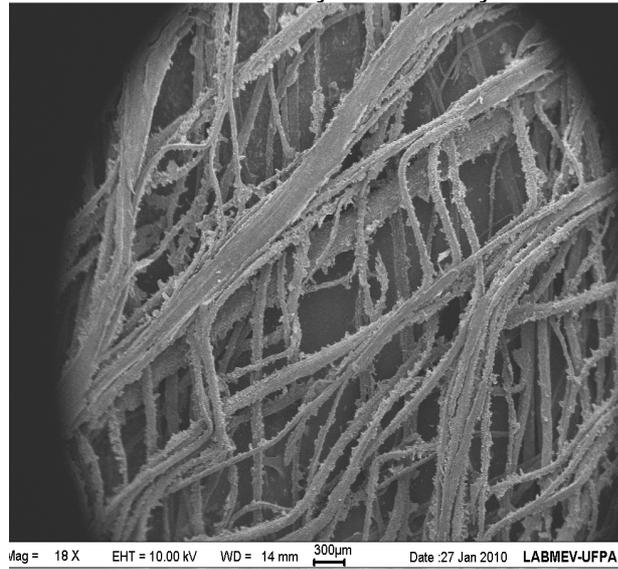


Fonte: Autor do Trabalho.

4.2.2.2 Abertura de 100 %

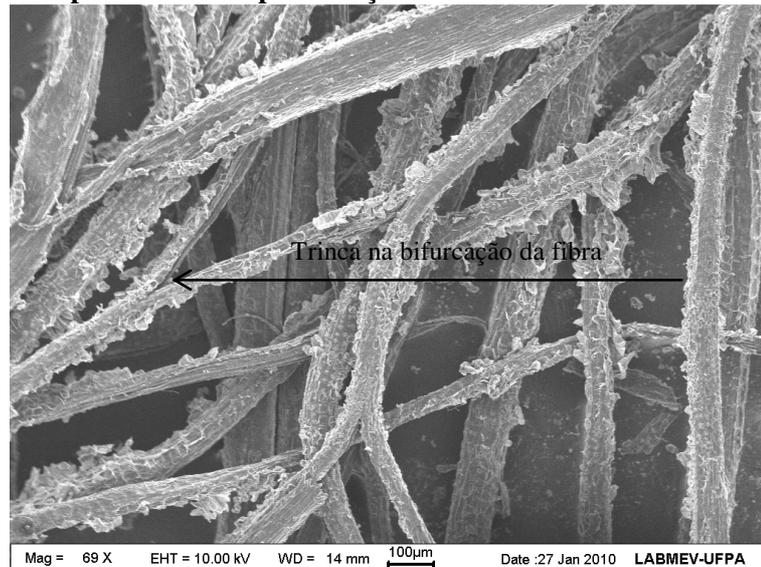
A microscopia do tecido de tururi com abertura transversal de 100 %, mostra através da **Figura 40**, que houve uma diminuição no adensamento das fibras em relação ao apresentado nas fibras sem abertura. A **Figura 41** mostra que a fibra de tururi com abertura transversal de 100 %, já apresenta propagação de trincas maiores em suas bifurcações.

Figura 40 - Microscopia realizada nos tecido de tururi com abertura transversal de 100 %, sentido transversal em relação a orientação das fibras



Fonte: Autor do Trabalho.

Figura 41 - Microscopia com mais aproximação nos tecido de tururi com abertura de 100 %



Fonte: Autor do Trabalho.

4.3 ENSAIO DE TRAÇÃO DO TECIDO DE FIBRA DE TURURI

4.3.1 Tecido Sem Abertura

A **Figura 42**, apresenta o gráfico carga x deslocamento típico para o tecido de fibra de tururi, sem abertura. Observa-se que a curva cresce gradativamente e suavemente em função do deslocamento, e que a fibra acerca de 1400 N aparecem os primeiros traços de fraturas das

fibras do tecido de tururi, suportando ainda uma carga superior a 1600 N, quando ocorreu o rompimento total, com o deslocamento do tecido de 8,93 mm.

Figura 42 - Gráfico carga x deslocamento do tecido de fibra de tururi, sem abertura.



Fonte : Autor do Trabalho.

A Tabela 1 é apresentada a caracterização do tecido de tururi, sem abertura. Nesta tabela são apresentados valores médios obtidos para 8 corpos de prova. Em seus trabalhos, Silva et al.,(2006) determinou a resistência a tensão da fibra de carbono em 3650 MPa e da fibra de Kevlar 49 em 3600 MPa. Comparando esses resultados com o da fibra de tururi, pode ser explicado o valor muito abaixo em relação ao das fibras sintéticas em função da fibra de tururi ser uma fibra natural, não passando por nenhum processo de manufatura, podendo ser melhorado esses valores se passar por algum tratamento químico.

Tabela 1 - Resultados experimentais de valores médios de 8 corpos de prova para as propriedades de tração dos tecidos sem abertura de fibra de tururi

Carga máxima [N]	Deslocamento máximo [mm]	Tensão máxima [MPa]
1617,3	8,93	29,95

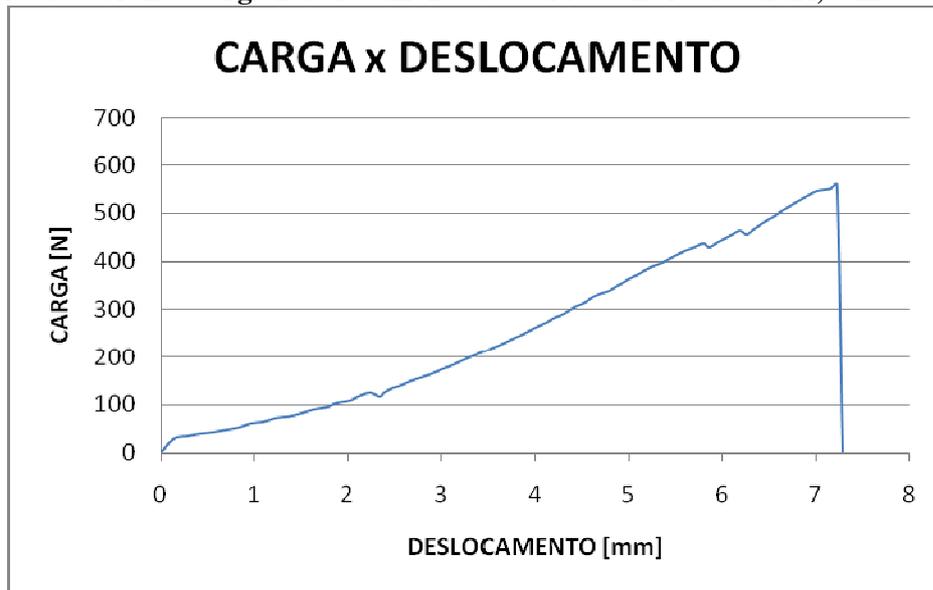
Fonte: Autor do Trabalho.

4.3.2 Tecido Com Abertura

4.3.2.1 Abertura de 50 %

A **Figura 43** apresenta o gráfico carga x deslocamento do tecido de fibra de tururi, com abertura transversal de 50 %, podendo ser observado que após a carga de tração de 400 N, a fibra começou apresentar as primeiras rupturas, indo ao rompimento total após 500 N, apresentando um deslocamento de 7,28 mm .

Figura 43 - Gráfico carga x deslocamento do tecido de fibra de tururi, sem abertura



Fonte: Autor do Trabalho.

Na Tabela 2, encontra-se os resultados experimentais do ensaio de tração, também são apresentados valores médios obtidos para 8 corpos de prova, para o tecido de tururi com abertura de 50 %. A curva apresenta comportamento similar ao apresentado pela curva para o tecido sem abertura, onde também aparecem degraus na curva que identifica a falha inicial de algumas fibras e a curva continua aumentando os valores de carga e de deslocamento até a fratura total. Comparando os valores de tensão de fratura do tecido de fibra de tururi sem abertura e com abertura de 50 %, percebe-se uma redução de cerca de 41% do tecido com abertura de 50 % em relação ao sem abertura. Essa redução ocorre devido ao aparecimento de trincas e aumento de trincas nas ramificações da configuração do tecido, conforme pode ser observado nas figuras 38 e 39.

Tabela 2 - Resultados experimentais de valores médios de 8 corpos de prova, para as propriedades de tração dos tecidos com abertura de 50 % de fibra de tururi

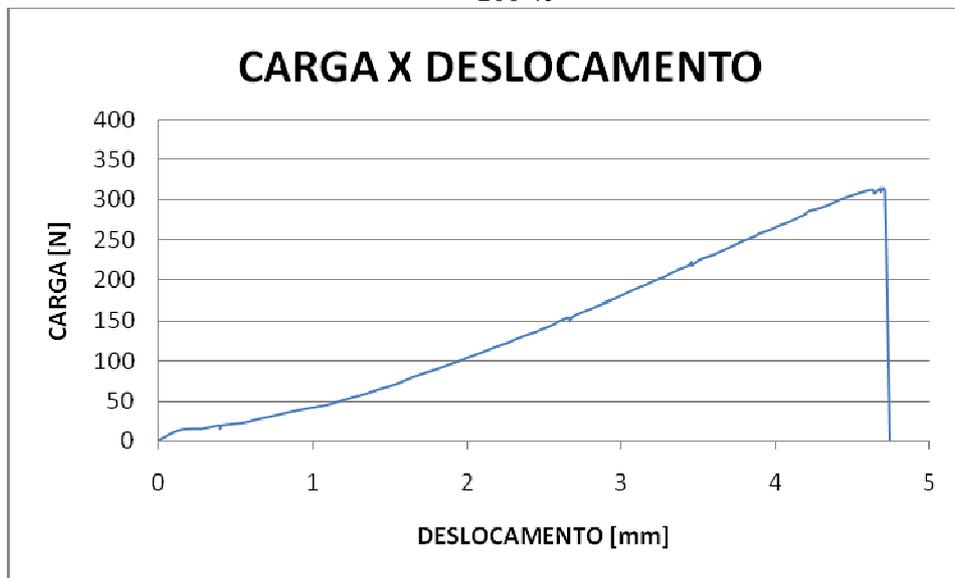
Carga máxima [N]	Deslocamento máximo [mm]	Tensão máxima [MPa]
558,3	7,28	12,27

Fonte: Autor do Trabalho.

4.3.2.2 Abertura de 100 %

A **Figura 44** apresenta o gráfico carga x deslocamento do tecido de fibra de tururi, com abertura transversal de 100 %. Observa-se que a ruptura da fibra ocorreu após a carga de tração de 300 N, com um deslocamento de 4,74 mm. Observa-se que a curva aumenta gradativamente com o aumento da carga e do deslocamento. Os degraus observados para o tecido sem abertura e com a abertura de 50 % não aparecem. Sugere-se que com a abertura de 100 % as falhas nas fibras já aconteceram e por isso os degraus não aparecem. Isso provocou também a redução do valor da tensão de fratura para o tecido com abertura de 100 %.

Figura 44 - Gráfico representativo carga x deslocamento para tecido de tururi, com abertura de 100 %



Fonte: Autor do Trabalho.

Na **Tabela 3**, tem-se os resultados experimentais de carga máxima, deslocamento máximo e tensão máxima, para o tecido de tururi com abertura de 100 %, são apresentados valores médios obtidos para 8 corpos de prova. Comparando os valores da Tabela 1, para o tecido de tururi sem abertura com a Tabela 2, para o tecido de tururi com abertura de 50 %, observa-se uma redução de cerca de 69% da resistência mecânica do tecido aberto a 100 % em relação ao tecido sem abertura e uma redução de 23% em relação ao tecido com abertura de 50 %. Essa redução é maior para o tecido com 100 % de abertura devido também ao aparecimento de trincas nas ramificações. Sugere-se ainda que devido a grande abertura, conforme observa-se nas figuras 36 e 37, as fibras que falhavam (degraus na curva de 50 % e

sem abertura) já foram rompidas e o novo tecido com 100 % de abertura iria suportar o nível de carregamento bem menor.

Tabela 3 - Resultados experimentais de valores médios de 8 corpos de prova, para as propriedades de tração dos tecidos com abertura de 100 % de fibra de tururi

Carga máxima [N]	Deslocamento máximo [mm]	Tensão máxima [MPa]
309,5	4,74	9,38

Fonte: Autor do Trabalho.

Em seus estudos, (SILVA, 2003), apresentou que a fibra de sisal, com diâmetro de 194 μm , não tratada alcançou uma resistência a tração de 176 MPa e uma fibra de côco com diâmetro de 245 μm , não tratada, alcançou uma resistência a tração de 150 MPa. (LEÃO, 2008) apresentou em que a fibra de licuri, com diâmetro médio de 0,141, alcançou uma resistência a tração de [369,8 a 902] MPa, enquanto a fibra de algodão com diâmetro de [16 – 21] μm , uma resistência a tensão de [287 – 597] MPa. (SARAIVA et al, 2011) efetuou ensaio de tração em tecido de juta, obtendo resistência a tração de 15,75 MPa. A **Tabela 4**, apresenta um resumo de propriedades mecânicas de fibras naturais na forma de tecido e na forma de fios.

Tabela 4 - Tabela para comparação do tecido de tururi com outras fibras

Fibras		Resistência a Tração [MPa]	Forma da fibra	Autores
Fibra de tururi	Sem abertura	29,95	Tecido	Neste trabalho
	50 % de abertura	12,27	Tecido	
	100 % de abertura	9,38	Tecido	
Fibra de juta		15,75	Tecido	SARAIVA, et al
Fibra de Sisal		176	Fio	SILVA, (2008)
Fibras de Coco		150	Fio	
Fibras de Licuri		369,8 - 902	Fio	LEÃO
Algodão		287 - 597	Fio	(2008)

Fonte: Autor do trabalho.

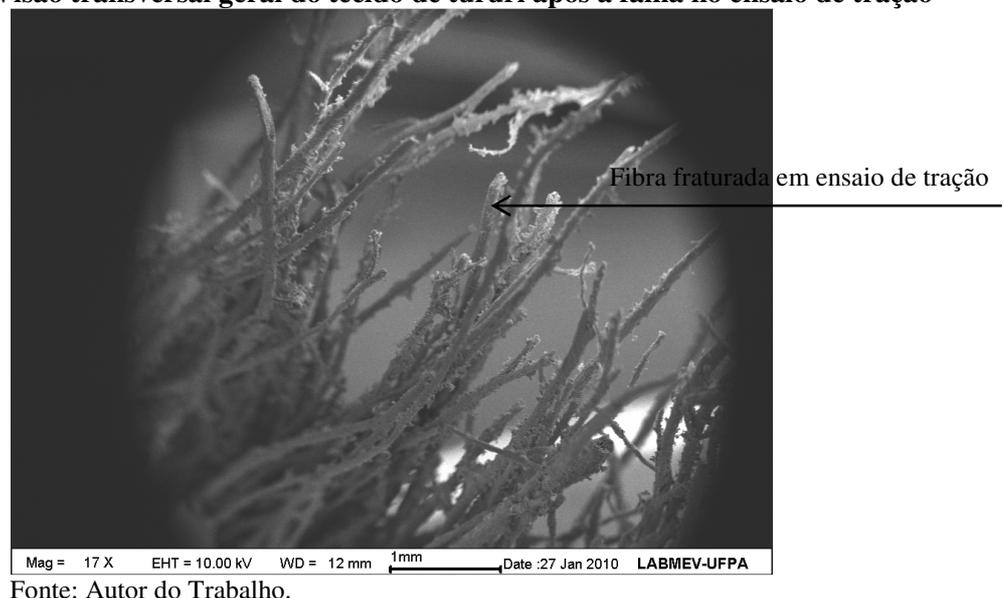
O tecido de tururi sem abertura, apresentou resistência a tração cerca de 47% superior, quando comparado com o tecido de juta (SARAIVA et al, 2001). Os fios de fibra natural quando ensaiados individualmente apresentam valores de resistência a tração superior aos tecidos, tendo em vista que, na forma de tecido a possibilidade de aparecimento de defeitos é maior e com isso o nível de tensão para a fratura tende a diminuir.

4.3.3 Caracterização Microestrutural da Fratura do Tecido de Fibra de Tururi

4.3.3.1 Tecido com e sem abertura

Apesar das diferenças entre as propriedades de resistência a tração do tecido de tururi sem abertura e com abertura de [50 e 100]%, o aspecto da fratura do tecido e das fibras apresentaram similaridade. A Figura 45 ilustra uma visão geral do tecido após a falha no ensaio de tração, onde se observa as fibras expostas que sofreu cisalhamento após a fratura total.

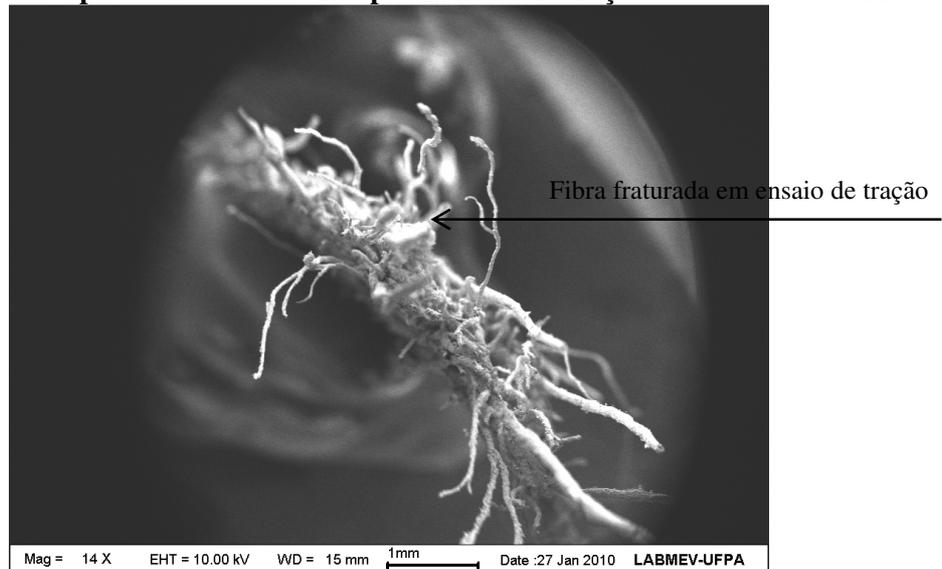
Figura 45 - Visão transversal geral do tecido de tururi após a falha no ensaio de tração



Fonte: Autor do Trabalho.

A Figura 46 ilustra uma das extremidades de uma das fibras do tecido de fibra que sofreu fratura. No extremo das fibras é possível observar as microfibrilas que compõem cada fio de fibra do tecido de tururi.

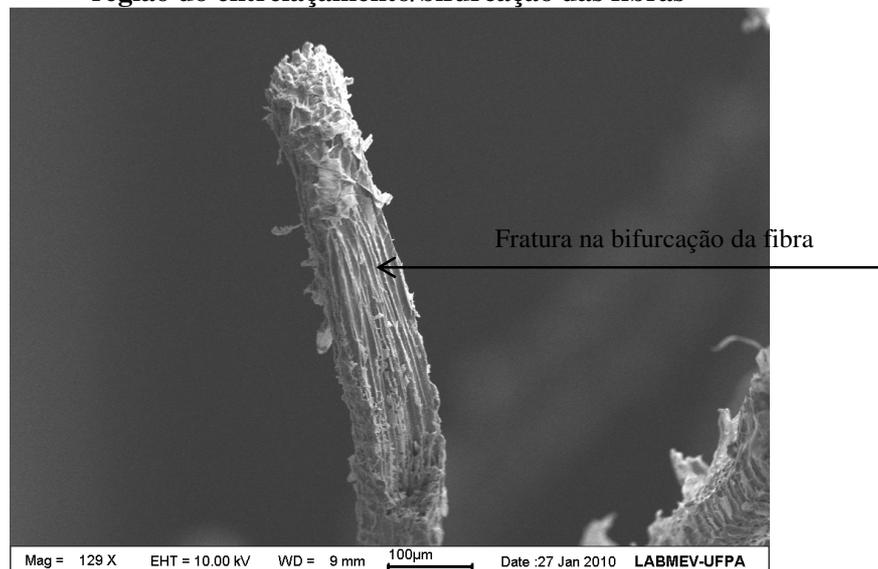
Figura 46 - Visão de topo da microestrutura apos o ensaio de tração do tecido de tururi



Fonte: Autor do Trabalho.

Na figura 47 é observado a situação de falha na região de entrelaçamento das fibras, ou seja, na região onde tem-se a bifurcação das fibras.

Figura 47 - Microestrutura apos o ensaio de tração do tecido de tururi, com o detalhe da falha da região do entrelaçamento/bifurcação das fibras



Fonte: Autor do Trabalho.

4.3.4 Determinação da Massa Específica do Tecido de Tururi

O resultado da massa específica encontrada utilizando o método descrito no item 3.2.5 foi de $1,18 \text{ g/cm}^3$.

4.3.5 Determinação da Gramatura

A determinação da gramatura, foi feita conforme descrito no item 3.2.6, com valores médios obtidos em pesagens para 10 amostras, sendo encontrado os valores na Tabela 5.

Tabela 5 - Tabela com valores da gramatura do tecido de tururi

Abertura	Gramatura [g/m ²]
SEM ABERTURA	246,37
50 %	151,30
100 %	104,71

Fonte: Autor do Trabalho.

4.3.6 Fabricação de Lâminas para Quantificação da Massa de Resina

Os compósitos foram desenvolvidos com as dimensões com uma área útil, que atendessem o quantitativo mínimo de corpos de prova recomendado pela norma ASTM D 3039 (ASTM D 3039 – 2005), bem como, a exclusão de bordas, tendo as dimensões correspondentse a [200 x 300] mm, cuja quantidade de resina foi estipulada de acordo com o descrito no item 3.2.7.1, com a proporção abaixo:

Área [80x 360] mm = 28800 mm², a lâmina escolhida contendo 28,33 g de resina; para uma área de 60000 mm², obteve-se então 58,96 g de resina por camada, em quatro camadas um total de 235,84 g de resina para a preparação do compósito.

4.4 DETERMINAÇÃO DA FRAÇÃO MÁSSICA DO COMPÓSITO

A fração mássica, feita conforme descrito no item 3.2.8, produziram valores conforme pode ser observado na Tabela 6.

Tabela 6 - Tabela com valores de fração mássica do compósito com diversas aberturas

Abertura	Material	% peso
SEM ABERTURA	Fibra	14,39
	Resina	85,61
50 %	Fibra	9,35
	Resina	90,65

100 %	Fibra	7,19
	Resina	92,81

Fonte: Autor do Trabalho.

4.5 ENSAIO DE TRAÇÃO DO MATERIAL COMPÓSITO REFORÇADO POR TECIDO DE FIBRA DE TURURI

4.5.1 Tecido Sem Abertura

A **Figura 48**, apresenta o gráfico carga x deslocamento do compósito reforçado por tecido de fibra de tururi, sem abertura. Observa-se que a curva cresce gradativamente, até a ruptura. Pode ser observado também que a ruptura do compósito ocorreu a um valor médio de carga de tração de 2681,67 N, a um deslocamento médio de aproximadamente 6,02 mm.

Figura 48 - Gráfico representativo carga x deslocamento do compósito reforçado com tecido de fibra de tururi, sem abertura



Fonte: Autor do Trabalho.

A seguir é apresentada na **Tabela 7**, com características do compósito reforçado por tecido de fibra de tururi, sem abertura. Nesta tabela são apresentados parâmetros médios obtidos de ensaios utilizando 8 corpos de prova.

Segundo (SABARIZ. 2006), um compósito polimérico constituído de uma matriz epóxi Araldite LY – 1553, reforçado com fibras da Agave Americana, com 2 camadas de

tecido da fibra, apresentou uma tensão máxima 30,86 MPa, ou seja 14% menos que com o compósito utilizando como matriz resina poliéster reforçada com fibra de tururi sem abertura.

Tabela 7 - Resultados experimentais de valores médios de 8 corpos de prova, para as propriedades de tração do compósito reforçado com tecido de fibra de tururi, sem abertura

Carga máxima [N]	Deslocamento máximo [mm]	Tensão máxima [MPa]
2681,67	6,02	35,76

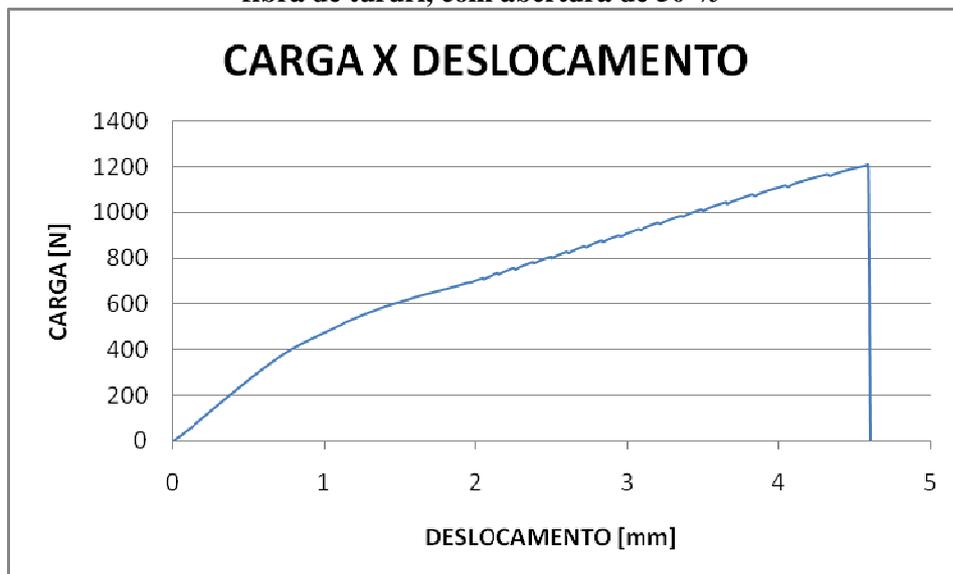
Fonte: Autor do Trabalho.

4.5.2 Tecido Com Abertura

4.5.2.1 Abertura de 50 %

A **Figura 49**, apresenta o gráfico carga x deslocamento do compósito reforçado com tecido de fibra de tururi, com abertura de 50 %, aonde pode-se observar uma curva preliminarmente mais acintosa, em torno ao deslocamento de 1 mm essa curva começa a crescer de modo mais suave, fraturando a um valor médio de carga de 1207,69 N, a um deslocamento médio de 4,60 mm.

Figura 49 - Gráfico representativo carga x deslocamento do compósito reforçado com tecido de fibra de tururi, com abertura de 50 %



Fonte: Autor do Trabalho.

A seguir é apresentada na Tabela 8, características do compósito reforçado por tecido de fibra de tururi, com abertura de 50 %. Nesta tabela são apresentados parâmetros médios obtidos de ensaios utilizando 8 corpos de prova.

Tabela 8 - Resultados experimentais de valores médios de 8 corpos de prova para as propriedades de tração do compósito reforçado com tecido de fibra de tururi, com abertura de 50 %

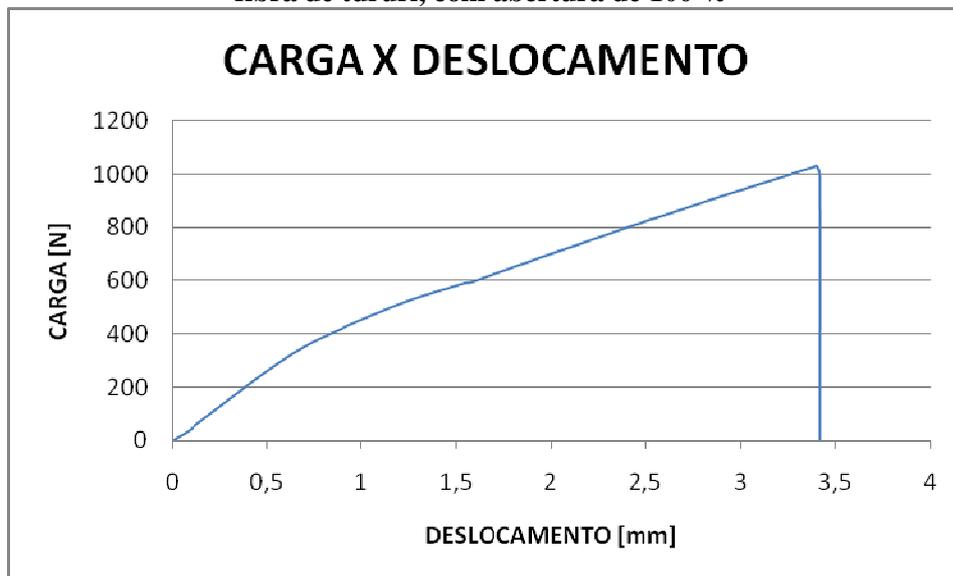
Carga máxima [N]	Deslocamento máximo [mm]	Tensão máxima [MPa]
1207,69	4,60	19,01

Fonte: Autor do Trabalho.

4.5.2.2 Abertura de 100 %

A **Figura 50**, apresenta o gráfico carga x deslocamento do compósito reforçado com tecido de fibra de tururi, com abertura de 100 %, onde pode-se observar uma curva muito semelhante a obtida para compósito reforçado com fibra com abertura de 50 %, porem com valores menores, alcançando uma média de carga de 1030 N, a um deslocamento médio de 3,42 mm.

Figura 50 - Gráfico representativo carga x deslocamento do compósito reforçado com tecido de fibra de tururi, com abertura de 100 %



Fonte: Autor do Trabalho.

Na **Tabela 9**, para a caracterização do compósito reforçado por tecido de fibra de tururi, com abertura de 100 %. Nesta tabela são apresentados parâmetros obtidos de ensaios utilizando 8 corpos de prova.

Tabela 9 - Resultados experimentais de valores médios de 8 corpos de prova, para as propriedades de tração do compósito reforçado com tecido de fibra de tururi, com abertura de 100 %

Carga máxima [N]	Deslocamento máximo [mm]	Tensão máxima [MPa]
1030	3,42	16,8

Fonte: Autor do Trabalho.

Assim como ocorreu com o ensaio de tração das fibras com as diferentes aberturas, pode-se observar que o compósito utilizando resina poliéster reforçada com tecido de fibra de tururi sem abertura, por manterem a integridade das ramificações, alongam por mais tempo até a falha. Entretanto, os tecidos com aberturas com [50 e 100]%, por terem as ramificações comprometidas, falham com menores cargas, respectivamente. Sugere-se que essas trincas nas ramificações favorecem a iniciação da fratura do material compósito.

Em seus estudos, Leão (2008) desenvolveu um compósito utilizando resina poliéster reforçada com fibra de licuri, em forma de tecido unidirecional, alcançando uma resistência a tração da ordem de 36,0 MPa. Sabariz (2006) desenvolveu compósito utilizando resina epóxi, reforçada com fibra de agave americana, com fração volumétrica da fibra na ordem de 29%, alcançando uma resistência a tração no valor de 38,43 MPa. Silva (2003) desenvolveu compósito utilizando resina de poliuretano, reforçada com fibra de sisal tratada (NA OH 10%) e não tratado, com fração volumétrica da fibra na ordem de [27 e 22]%, alcançando uma resistência a tração da ordem de [38 e 33] MPa, respectivamente.

A **Tabela 10** apresenta quadro comparativo entre os compósitos deste trabalho, com os encontrados na literatura.

Tabela 10 - Quadro comparativo de compósitos

Compósitos		Resistência a tração (MPa)	Fração da fibra	Forma da fibra	Autores
Poliéster + Tururi	Sem abertura	35,76	14,39 [massa]	Tecido	Neste trabalho
	50 % de abertura	19,01	9,35 [massa]		
	100 % de abertura	16,8	7,19 [massa]		
Poliéster + Licuri		36	-	Tecido	LEÃO (2008)

Epoxi + Agave Americana		38,43	29% [volume]	Tecido	SABARIZ (2006)
Poliuretano + de Sisal	Tratadas NAOH 10%	38	27% [volume]	Tecido	SILVA, (2008)
	Não tratadas	33	22% [volume]		

Fonte: Autor do Trabalho.

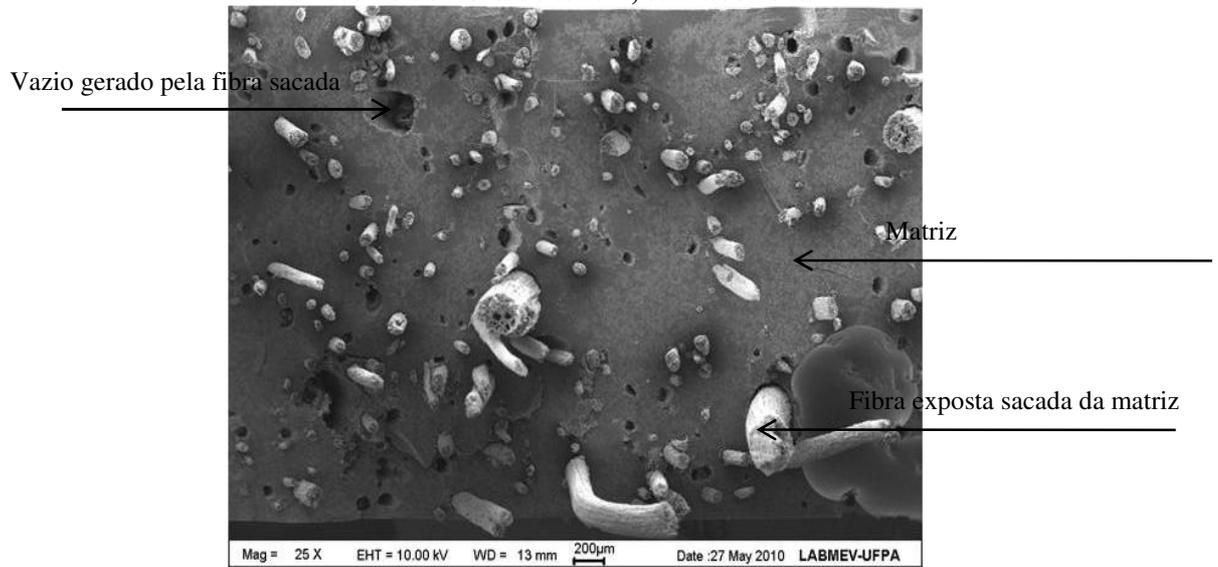
Percebe-se que o compósito utilizando a fibra de tururi sem abertura se apresentou propriedade de tração semelhante aos apresentados por outros compósitos constituídos com outras fibras e outras matrizes, mas cada um desses valores possui algumas particularidades diferentes uma em relação às outras, pois foram confeccionados com técnicas particulares. Para abertura de 50 % houve uma queda significativa de tensão de ruptura, em torno de 47% em relação ao valor do compósito com fibra sem abertura, e para abertura de 100 % ocorre mais em decréscimo em torno de 12 % em relação ao compósito com fibra com abertura de 50 %, e um decréscimo em torno de 53 % em relação ao compósito com fibra sem abertura.

4.6 CARACTERIZAÇÃO MICROESTRUTURAL DA FRATURA DO MATERIAL COMPÓSITO REFORÇADO POR TECIDO DE FIBRA DE TURURI

4.6.1 Tecido Sem Abertura

A figura 51 ilustra a micrografia obtida no MEV para o material compósito com o tecido de tururi sem abertura. Observa-se que a superfície de fratura apresenta fibras expostas, que sofreram fratura e foram sacadas da matriz. Os vazios gerados pelas fibras que foram sacadas também são visualizados na forma de vazios. Ainda na figura 49 pode ser observada uma distribuição uniforme das fibras na matriz polimérica. As fibras expostas apresentam variação de diâmetro devido ao fato do tecido apresentar variação dos diâmetros dos fios que compõem o invólucro do tecido, ou seja, em uma das extremidades do invólucro tem o diâmetro do fio menor e cresce em direção a outra extremidade.

Figura 51 - Caracterização microestrutural da fratura do material compósito reforçado por tecido de fibra de tururi, sem abertura



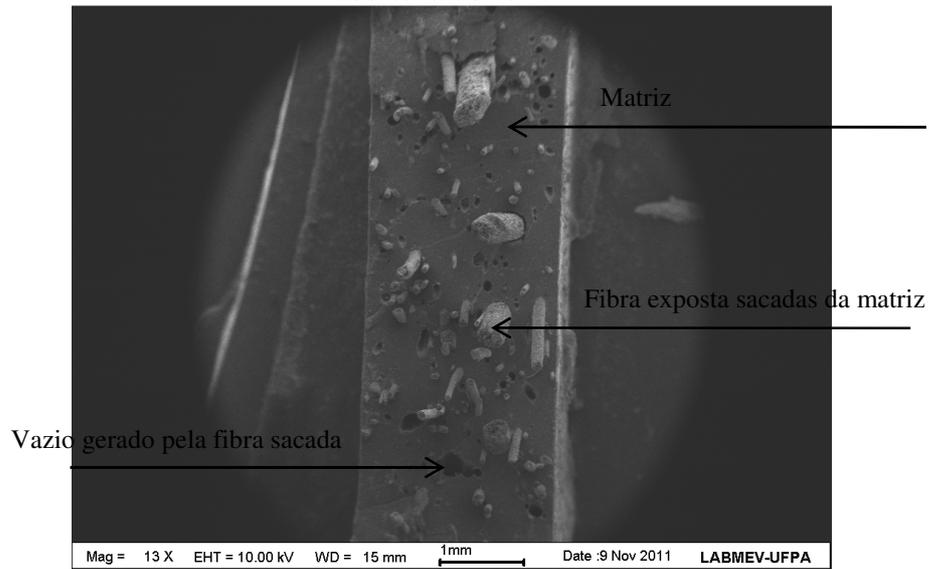
Fonte: Autor do Trabalho.

4.6.2 Tecido Com Abertura

4.6.2.1 Abertura de 50 %

Na figura 52 observa-se a microestrutura do material compósito obtido em MEV, com abertura de 50 %. Observa-se de forma análoga ao apresentado para o material compósito com o tecido sem abertura. A figura mostra ainda um maior espaçamento entre as fibras que ficaram expostas, uma vez que com a abertura as fibras ficaram distanciadas, comparado com o tecido sem abertura, ou seja, a densidade de fibras pela área do material diminuiu.

Figura 52 - Microestrutura obtida no MEV do material compósito com tecido de tururi com abertura de 50 %.

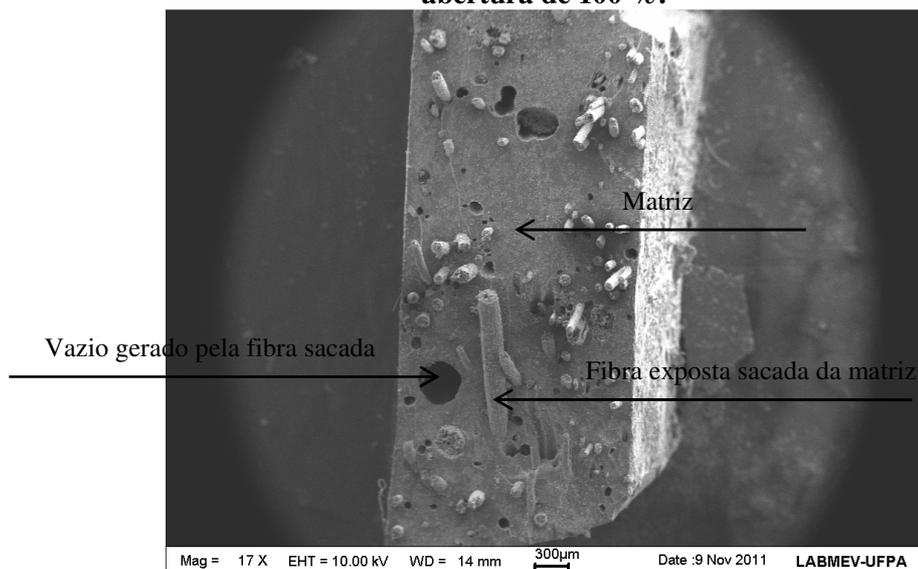


Fonte: Autor do Trabalho.

4.6.2.2 Abertura de 100 %.

A Figura 53 ilustra a superfície de fratura do material compósito com o tecido apresentando abertura de 100 %. Observa-se uma diminuição ainda maior da densidade de fibras pela área da seção transversal do material compósito. Ainda pode ser visualizada as fibras expostas, e que sofreram fratura, após o ensaio de tração.

Figura 53 - Microestrutura obtida no MEV do material compósito com tecido de tururi com abertura de 100 %.



Fonte: Autor do Trabalho.

5 CONCLUSÕES

O objetivo deste trabalho foi alcançado, pois foi plenamente satisfatória a fabricação do compósito utilizando uma matriz com resina poliéster, reforçado com tecido de fibra de tururi;

Avaliando os resultados dos ensaios de tração das fibras de tururí, pode-se concluir que o tecido de fibra de tururi sem abertura, apresentou os melhores resultados em relação a resistência a tração, comparado com os tecidos que foram alongados transversalmente em [50 e 100]%, sinalizando que o tecido sem abertura apresentou as melhores características para atuar como reforço em compósitos;

A abertura no tecido em [50 e 100]% provocaram uma redução de [47 e 53] % respectivamente, em relação ao compósito com tecido sem abertura;

A gramatura do tecido de tururi é dependente fortemente da abertura;

A redução na resistência a tração do tecido de fibra de tururi após a abertura de [50 e 100]% foi causada pelo fato de inserir falhas no tecido;

REFERÊNCIAS

- ANCEL Tecnologia em Compósito. Disponível em: <http://www.ancel.com.br/fabricacao.php?id=fabricacao>.
- AHMED, K. S.; VIJAYARANGAN, S; NAIDU, A. C. B. Elastic properties, notched strength and fracture criterion in untreated woven jute–glass fabric reinforced polyester hybrid composites. **Materials & Design**, v. 28, n. 8, p. 2287-2294, 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10591**: Materiais têxteis; Determinação da gramatura de superfícies têxteis, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11912**: Materiais têxteis; Determinação da resistência à tração e alongamento de tecidos planos (tira).
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D3039_D3039M-00E02**. Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, 2005.
- BRASIL. **Processo para obtenção de tecido a base de fibra de malva**. Carlos Roberto Vogt. BR n. PI 0802376-0A2, 10 maio, 2998, 02.03.2010.
- CARASCHI, J. C.; LEÃO, A. L. Wood flour as reinforcement of polypropylene. **Materials Research**, v. 5, n. 4, p. 405-409, 2002.
- Construção de Barcos. Disponível em: <http://www.construcaodebarcos.blogspot.com/search?q=fibra+de+vidro>.
- CORREA, M. P. **Dicionário das plantas úteis do Brasil e das exóticas cultivadas**. Rio de Janeiro: Imprensa Nacional, v. 6, 1978.
- DWEIB, M. A. et al. **All natural compose sandwich beam for structural applications**. USA: Composite Structures, v.63, p.147-157, 2004.
- FAGURY, R. V. G. **Avaliação de fibras naturais para a fabricação de compósitos: açaí, coco e juta**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Pará, 2005
- GEILFUS, FRANS. **El árbol al servicio del agricultor. Manual de Agrofloresteria para el desarrollo rural**. Turrialba/ Costa Rica: CATIE, v. 2, 778p, 1994.
- LEÃO, M. A. **Fibras de Licuri: um Reforço Alternativo de Compósitos Poliméricos**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2008.
- LEVY NETO, F.; PARDINI, L. C. **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia**. São Paulo: Edgar Blucher, 2006.
- MARTIUS, C. F. P. **Historia naturalis palmarum: opus tripartitum**. 1. ed. Germany: [s.n.], 1823. 550p.

MARTINS NETO, S. F. **Material compósito de matriz frágil reforçado com fibras naturais de sisal e malva: caracterização e correlações das propriedades mecânicas.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Pará, Pará, 2010.

MENESES, L.C.F. **Comportamento de 24 espécies arbóreas tropicais madeireiras introduzidas no Parque Zoobotânico,** Rio Branco/AC: UPAC, 1995. 77p.

MENDONÇA, P. T. R. **Materiais Compósitos & Estruturas-Sanduíches.** Barueri, SP: Manoele, 2005.

MESQUITA, F.N.A. **simulação do comportamento mecânico de tubos em PRFV submetidos à pressão hidrostática.** 2005.18 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Mecânicas)- Universidade de Brasília, 2005.

MONTEIRO, S.N. et al. Estudo Comparativo do Desempenho de Painéis Compósitos à Base de Resíduos Poliméricos. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 60, Belo Horizonte, 2005. **Anais...** Belo Horizonte, : ABM, 2005. P. 1-9.

NECHWATAL, A.; MIECK, K. P. ; REUBMANN, T. Development in the characterization of natural fibre properties and in the use of natural fibres for composites. **Composites science and technology**, v. 63, n. 8, p. 1273-1279, 2003.

PEDROSO, A. G. **Desenvolvimento de um processo de manufatura de placas de compósitos de poliéster insaturado/fibras de vidro pós-consumo e resina de poliéster insaturado.** Tese (Doutorado em Química)- Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2002.

REDDY, JN. **Mechanics of Laminted Composite Plates:** theory and analysis . Boston: CRC Press, 1997

RODRIGUES, J. D.S. **Comportamento mecânico de material compósito de matriz poliéster reforçado por sistema híbrido fibras naturais e resíduos da indústria madeireira.** 2008. 22 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade Federal do Pará, Pará, 2008.

SABARIZ, A., Silva, V. R. V., Silva, L. J. da, et al. Propriedades Mecânicas de Compósitos Formados por Matriz Epoxídica Reforçada com Fibras Vegetais. In.: CBECIMat - CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17, Foz do Iguaçu, PR – 2006. **Anais..** . Foz do Iguaçu, PR: IPEN, 2006. P. 3650-60

SANTOS, Neide Marulli dos. **Fibras têxteis.** São Paulo: SENAC, 2001.

SARAIVA, M. P. et al. Fabricação de laminado de material compósito de tecido de fibra de tururi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 11, 2011, Campos do Jordão, SP. **Anais...**Campos do Jordão, SP.

SILVA, C. C. et al. Desenvolvimento de tecidos de sisal para utilização em compósitos poliméricos.. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO IFRN, 6, 2009, Rio Grande do Norte. **Holos**, v. 4, p. 12-19, 2009. Edição especial.

SILVA, R. V. **Compósito de resina poliuretano derivada de óleo de mamona e fibras vegetais**. 2003. 157 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais)- Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SODEN, J. A. et al. **Manufacture and Testing of 3d Woven Natural Fibre Composites**. [s.l.]: University of Ulster Belfast, 2009.

TANOBE, V.; MOCHNACZ, S.; MAZZARO, I. Caracterização de biocompósitos poliéster/luffa cilíndrica ou sisal. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 58, São Paulo, 2002. **Anais...**São Paulo: ABM, 2002.p. 1671-1680.

Texturas de Fibra de carbono (Carbon Fiber High Resolution Textures). Disponível em: <<http://www.recursos2d.com/2011/03/texturas-de-fibra-de-carbono-carbon.html>>.

WEBB, P. A. **Analytical Methods in Fine Particle Technology**. Norcross, USA: Micromeritics Instrument, 1977.