



UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ – UFOPA  
INSTITUTO DE ENGENHARIA E GEOCIÊNCIAS – IEG  
PROGRAMA DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA – PCT

ALAN CHRISTIAN ALMEIDA SOUZA  
DARLISON JOSÉ DE OLIVEIRA JUNIOR

**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE MECÂNICA DE FEIXES DE FIBRAS DO  
EPICARPO DE INAJÁ.**

SANTARÉM  
2019

ALAN CHRISTIAN ALMEIDA SOUZA  
DARLISON JOSE DE OLIVEIRA JUNIOR

**CARACTERIZAÇÃO E ANÁLISE MECÂNICA DE FEIXES DE FIBRAS DO  
EPICARPO DE INAJÁ.**

Trabalho de Conclusão de Curso I apresentado ao Instituto de Engenharia e Geociências pela Universidade Federal do Oeste do Pará – UFOPA, como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Prof. Msc. Thiago Augusto Moreira

Coorientadores: Raissa Almeida Coêlho, Kevin Mathos Costa, Anselmo Araújo

SANTARÉM

2019

Aos familiares e amigos, grandes incentivadores deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus pela vida, pela coragem e persistência que sempre nos acompanham em todo e qualquer desafio.

Ao orientador, Prof. MSc. Thiago Augusto Moreira, pelo acompanhamento, orientação e compreensão.

Ao laboratório de Tecnologia da Madeira – LTM do Instituto de Biodiversidades e Florestas por ter cedido espaço físico para a produção da cinza.

Aos familiares de Juruti que forneceram e enviaram o material, tornando possível assim o desenvolvimento desta pesquisa.

Aos queridos professores e colegas que tivemos em toda carreira escolar e acadêmica.

A todos que de alguma forma colaboraram para realização deste trabalho.

“No meio da confusão, encontre a simplicidade. A partir da discórdia, encontre a harmonia. No meio da dificuldade reside a oportunidade. ”

Albert Einstein

## RESUMO

Os estudos com feixes de fibras naturais vêm crescendo ultimamente. Isto se dá por serem leves e resistentes e terem em sua maioria, um baixo custo de produção e aplicações em diversas áreas da indústria. Diante das fibras naturais presentes na literatura, como coco, curauá e sisal, o presente trabalho teve como objetivo a caracterização mecânica da fibra do epicarpo de inajá (*maximiliana maripa aublet*) na qual a propriedade de ruptura à tração é o principal meio de comparação em diferentes medidas de fibras (30 mm, 35 mm e 40 mm) com o diâmetro médio de 0,40mm, na tentativa de constatar a diferença de resistência entre as três medidas com os mesmos parâmetros de carga. Os resultados apontaram para um crescimento da tensão à medida que os comprimentos dos feixes fibrosos aumentavam. Porém, quanto ao módulo de elasticidade, não houve diferença estatística em relação à variação de comprimento. Logo, verificou-se que o comprimento do feixe de 4 cm apresenta, portanto a maior resistência à tração, o que possibilita encontrar diversas aplicações para este material orgânico a fim de substituir as fibras sintéticas presentes no mercado. .

Palavras-chave: Inajá, feixes, resistência.

## ABSTRACT

Studies with natural fiber bundles have been growing lately. This is because they are lightweight and resistant and mostly have a low cost of production and applications in various areas of industry. Given the natural fibers present in the literature, such as coconut, curacao and sisal, the present work aimed at the mechanical characterization of the fiber of the inajá epicarp (*maximiliana maripa aublet*) in which the tensile rupture property is the main means of comparison. different fiber measurements (30 mm, 35 mm and 40 mm) with a diameter of 0,40 mm, in an attempt to verify the difference in strength between the three measurements with the same load parameters. Results pointed to a rise in tension as the lengths of the fibrous bundles increased. However, regarding the modulus of elasticity, there was no statistical difference regarding the variation in length. Therefore, it was found that the beam length of 4 cm presents, therefore, greater tensile strength, which makes it possible to find several applications for this organic material in order to replace the synthetic fibers present in the market. .

Keywords: Inajá, beams, resistance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Inajaseiro ( <i>Maximilliana Maripa</i> ).....	14
Figura 2: Cachos com fruto inajá.....	15
Figura 3: fruto inajá. ....	16
Figura 4: Separação da casca do inajá.....	23
Figura 5: Feixes de Fibra .....	24
Figura 6 Dimensões dos corpos de prova.....	25
Figura 7 Corpos de prova prontos.....	26
Figura 8: Análise microscópica.....	27
Figura 9: Corpo de prova na máquina.....	28
Figura 10: Média das tensões máximas.....	31
Figura 11: Médias dos Módulos de Elasticidade .....	33



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk.....	30
Tabela 2: Teste não paramétrico de Kruskal-Wallis .....	31
Tabela 3. Comparativo da resistência à tração de feixes fibrosos .....	32
Tabela 4: Teste não paramétrico de Kruskal-Wallis .....	33

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS
NBR	NORMAS BRASILEIRAS REGULAMENTADORAS
UFOPA	UNIVERSIDADE FEDERAL DO OESTE DO PARÁ
CO <sub>2</sub>	DIOXIDO DE CARBONO
MM	MILIMETROS
MM/MIN	MILIMETROS POR MINUTO
MPA	MEGAPASCAL
GPA	GIGAPASCAL
KN	KILONEWTON

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	13
<b>2.1 Objetivo geral</b> .....	13
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	13
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	13
<b>3.1 Inajá (Maximilliana Maripa)</b> .....	13
<b>3.2 Fibras vegetais</b> .....	16
3.2.1 Feixe de fibras do Curauá .....	18
3.2.2 Fibras de Sisal .....	19
3.2.3 Fibras de coco .....	20
3.2.5 Fibras de Bamboo .....	21
<b>3.3 Características Mecânicas</b> .....	21
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	22
<b>4.1 Extração dos feixes de Fibra</b> .....	22
<b>4.2 Corpos de prova</b> .....	24
<b>4.3 Ensaio Mecânicos</b> .....	26
<b>4.4 Metodologia estatística</b> .....	28
4.4.1 Teste de Shapiro-Wilk. ....	28
4.4.2. Teste de Kruskal-Wallis. ....	29
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	30
<b>5.1 Tensão máxima</b> .....	30
<b>5.2 Módulo de elasticidade</b> .....	32
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	35
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	36

## 1 INTRODUÇÃO

Atualmente, as necessidades da sociedade moderna demandam por um crescente e constante desenvolvimento tecnológico. Entretanto, o processo de elaboração e domínio de novas tecnologias passa por várias etapas. Entre estas etapas, uma que é geralmente limitante do processo é a elaboração de materiais com alto desempenho que atendam aos pré-requisitos exigidos para determinada aplicação (caldas, 2014)

Nas últimas décadas o interesse das pesquisas na área de engenharia tem mudado, de materiais monolíticos para materiais poliméricos reforçados com fibras. Estes compósitos dominam agora a indústria aeroespacial, indústrias automotivas, de construção e esportivas (WAMBUA et al., 2003).

As fibras além de leves e resistentes tem em sua maioria um baixo custo de produção, no entanto as fibras naturais têm a vantagem de não advir da queima de substâncias derivadas de produtos fósseis que libera enormes quantidades de dióxido de carbono na atmosfera. Este fenômeno é a causa raiz do efeito estufa e por consequência das mudanças climáticas no mundo.

O estudo destas fibras constitui, também, uma alternativa à substituição das fibras de amianto (fibra mineral), que devido aos problemas de saúde causados pela sua extração e manuseio (asbestose), teve sua proibição decretada em alguns países (MAGALHÃES, 2009).

A utilização de reforços naturais em compósitos à base de polímeros continua sendo um desafio inovador a essa classe de materiais. A procura de melhores propriedades físicas, mecânicas e químicas para os novos compósitos, o uso de fibras naturais conduz os pesquisadores ao estudo de novos materiais que possam atender às exigências do mercado, (MOE et al., 2002; AQUINO et al., 2003).

Fibras naturais de origem vegetal são alternativas amigáveis ao meio ambiente, em relação às fibras sintéticas, quando utilizadas como reforço de compósitos poliméricos (MONTEIRO et al, 2012). A Necessidade de agregar valor aos resíduos gerando materiais alternativos eficientes e de baixo custo, aproveitando os próprios recursos naturais, e preservando o meio ambiente justifica a produção do seguinte trabalho.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Caracterizar e avaliar a resistência mecânica dos feixes fibras de inajá através do ensaio de resistência a tração.

### **2.2 Objetivos específicos**

- Calcular as médias das tensões máximas e Módulos de elasticidade dos feixes de fibra;
- Analisar estatisticamente os dados obtidos no ensaio;
- Obter uma relação entre as características mecânicas das fibras e o seu comprimento.

## **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

### **3.1 Inajá (Maximilliana Maripa)**

O Inajazeiro é comum na Amazônia e ocorre em abundância em terra firme de solos pobres e arenosos. Essa palmeira é extremamente resistente ao fogo. Muitas vezes os inajazeiros são encontrados em pastos, capoeiras e nas propriedades de algumas comunidades; normalmente ocorre junto com outras palmeiras como o babaçu, o uricuri e o jaci. Talvez seja difícil diferenciar essas palmeiras. Para saber qual é o inajazeiro, preste atenção nos frutos, geralmente recobertos; nas folhas, com talos alongados e afiados; e na cobertura do cacho das flores, com final em forma de lança. O inajazeiro (figura 1) pode atingir até 14 metros de altura e 69 centímetros de diâmetro (CYMERYS, 2005).

Figura 1 Inajazeiro (*Maximilliana Maripa*).



Fonte: Autores, 2019.

Antigamente, muitas casas e retiros de farinha eram feitos de palha de inajazeiro. O fruto é muito apreciado pelos animais silvestres e domésticos e por isso os caçadores gostam de usá-lo como isca para a caça. Quem protege essas palmeiras está aumentando o alimento dos animais silvestres. Além disso, quem tem inajazeiro ou tucumanzeiro perto de casa não precisa se preocupar quando sair para passear, pois essas palmeiras vão protegê-la (CYMERYYS, 2005).

No Pará, o inajazeiro floresce entre outubro e março e frutifica entre janeiro e março do outro ano. Uma palmeira (Figura 2) produz normalmente de 5 a 6 cachos por ano, dando entre 800 a 1.000 frutos por cacho (CYMERYYS, 2005).

Figura 2: Cachos com fruto inajá.



Fonte: Autores, 2019.

Os frutos do inajá (Figura 3) apresentam formas ovoides ou oblongas, medindo de 4 a 5,5 cm de comprimento por 2,5 a 3,0 cm de diâmetro e pesando entre 15 e 30g cada. Nas extremidades dos frutos é comum a presença estígma velho na extremidade apical e do perianto na base (Rabelo, 2012).

Figura 3: fruto inajá.



Fonte: Rabelo, 2012.

O epicarpo (casca) é fino, apresentando superfície levemente áspera, textura fibrosa, coloração marrom-ferrugíneo e pequena porção esbranquiçada extensão do ápice do fruto. O mesocarpo (polpa) possui rendimento de  $\pm 30\%$  do total do fruto, apresenta coloração amarelo-claro e aroma forte, semelhante ao óleo de coco (*Cocos nucifera* L.). Este mesocarpo é constituído por uma camada pastosa-oleosa revestida por fibras, e dele pode ser extraído até 35% de rendimento em óleo. É comestível na forma *in natura* ou cozido, e o sabor é levemente adocicado e agradável, sendo um alimento bastante calórico e rico em fósforo, magnésio, proteínas e ácidos graxos essenciais, no entanto, algumas variedades podem apresentar sabores travosos e repugnantes. Além do potencial alimentar, o óleo extraído do mesocarpo (polpa), apresenta potencial para uso na culinária caseira, produção de cosméticos e bioenergia (Rabelo, 2012).

### 3.2 Fibras vegetais

As fibras são classificadas em fibras naturais e fibras manufaturadas, sendo que estas últimas podem ser divididas em artificiais ou sintéticas. As fibras naturais podem ser classificadas em vegetais (compostas basicamente por celulose, hemicelulose e lignina), animais (originárias dos pêlos ou da secreção animal, que são compostas por proteínas) e minerais (retiradas de certos tipos de rochas) (CALDAS, 2014).



As fibras que são extraídas da natureza podem ser:

- a) De origem animal: alguns exemplos são a seda (que provém da secreção glandular da larva do bicho da seda), lã, camurça, caxemira (pêlo de cabra), angorá (pêlo de coelho), couro e outras peles de animais;
- b) De origem vegetal: a mais comum é o algodão (extraído da semente), a juta e o linho (extraídos do caule), o sisal e a palma (extraídos da folha) e a fibra coco (extraído do próprio fruto);
- c) De origem mineral: o único exemplo é o amianto, que é extraído de um mineral chamado asbesto. O tecido feito com essa fibra é usado nas roupas de bombeiros como isolante térmico e antichamas (SOUSA, 2009).

Todas as fibras naturais à base de lignocelulose consistem em microfibrilas de celulose em uma matriz amorfa de lignina e hemicelulose. Essas fibras se constituem de várias fibras, que percorrem todo o comprimento da fibra: cada fibrila exhibe uma complexa estrutura em camadas composta de uma fina parede primária envolvendo uma camada secundária mais espessa que é semelhante ao de uma única fibra de madeira (RAO e RAO, 2007).

Existem vários métodos de extração de fibras vegetal, e estes dependem de tipo da planta e de onde são retiradas (folhas, frutos, talo). Normalmente, os métodos manuais são os mais utilizados. Existem ainda os métodos mecânicos de extração através de máquinas chamadas de “decorticadores” que são utilizados para fibras como banana, sisal, linho ou juta (BLEDZKI, 1999).

As fibras manufaturadas produzidas através de processos químicos, pelo homem e podem ser:

- a) Artificiais: obtida através de transformação de um polímero natural utilizando-se artifícios físico-químicos. Exemplos: fibras originadas da celulose como a viscose (que é a celulose regenerada) e o cupramónio (um derivado da celulose);
- b) Sintéticas: produzidas a partir de matérias primas como o petróleo, com as quais se sintetiza o polímero que irá compor a fibra: exemplos: nylon (uma poliamida), dracon (um poliéster) e elastano (lycra).

Essas fibras são obtidas principalmente por processos de polimerização. A polimerização consiste na união de milhares moléculas de um dado composto (o monômero), para formar um novo composto denominado polímero (uma macromolécula) (SOUSA, 2009).

### 3.2.1 Feixe de fibras do Curauá

O curauá, de distribuição natural na Região Amazônica, é uma planta herbácea pertencente à família das bromélias (Bromeliaceae) e possui folhas retas e duras que podem chegar a 1,5m de comprimento e 4cm de largura (TOMCZAK, 2010). Existem quatro variedades de curauá: branco, roxo, vermelho e branco brilhante, sendo os mais comuns o roxo, com folhas roxo-avermelhadas, e o branco, com folhas verdes (SILVA e AQUINO, 2008).

Diversos pesquisadores têm desenvolvido trabalhos utilizando feixes de fibras de curauá para o desenvolvimento de compósitos: compósitos de acetato de celulose plastificado com os feixes de curauá tratados e não tratados com CO<sub>2</sub> supercrítico (GUTIÉRREZ et al., 2012); compósitos de matriz poliéster reforçada com até 30% em peso de feixes contínuos e alinhados de curauá sem qualquer tratamento e sem adição de produtos químicos que aumentassem o acoplamento feixe/matriz (MONTEIRO et al., 2006); compósitos de poliuretano (MOTHÉ et al., 2004); compósitos com matriz de resina epóxi (ROCHA et al., 2014); compósitos de poliamida-6, substituindo a fibra de vidro (SANTOS et al., 2009); compósito híbrido interlaminar curauá/vidro/resina poliéster insaturado mantendo os feixes de curauá nas camadas centrais do laminado (ANGRIZANI, et al., 2014) e compósitos de curauá e sisal, usando o polipropileno e o polietileno de alta densidade (SPINACÉ, et al., 2011).

Estudos também avaliaram sua aplicação como reforço estrutural de vigas de madeira laminada colada (DONADON, et al. 2016); como reforço de matriz termoplástica de biopolietileno de alta densidade (CASTRO, et al., 2013); modificadas quimicamente e inseridas com uma camada condutora de polianilina (SOUZA JR., et al., 2010); utilizadas juntamente com sisal para reforçar matrizes de solo (PINTO, 2008) e na produção de painéis de cimento Portland (BILCATI, 2015).

No Brasil e no exterior, os feixes de fibras de curauá vêm apresentando resultados significativos nas pesquisas, o que os tornam um dos mais promissores entre as espécies produzidas na Amazônia brasileira (OLIVEIRA et al., 2008).

### 3.2.2 Fibras de Sisal

O sisal (*Agave sisalana*), família Agavaceae é uma planta utilizada para fins comerciais. O *Agave sisalana* é cultivado em regiões semiáridas. No Brasil, os principais produtores são os estados da Bahia e Paraíba, especialmente a Bahia, onde está localizado o maior polo produtor e industrial do sisal no mundo, que são as cidades de Valente e Conceição do Coité (CORREIA, 2011).

Derivados de fibras naturais, como a fibra de sisal, têm como principais produtos os fios biodegradáveis utilizados em artesanato, no enfardamento de forragens e cordas de várias utilidades, inclusive navais. O sisal também é utilizado na produção de estofados, pasta para indústria de celulose, produção de tequila, tapetes decorativos, remédios, biofertilizante, ração animal e adubo orgânico. As fibras naturais já estão sendo utilizadas em algumas aplicações como substitutas das fibras sintéticas, devido ao seu apelo ecológico (JOSHI et al. 2004).

O sisal é uma importante fibra cultivada no Brasil, sendo bastante utilizado em cordoaria e artesanato, mas que pode ter seu valor agregado quando utilizado como reforço de compósitos poliméricos (ANGRIZANI et al. 2006). O sisal é uma fibra ligno-celulósica de baixa densidade comparada à fibra de vidro, atóxica, não causa irritabilidade à pele do trabalhador (KIM e SEO, 2006) e que apresenta boas propriedades mecânicas dentre as fibras vegetais. Entre outras vantagens do sisal pode-se citar a facilidade de modificação superficial, sua abundância no Brasil, sendo a Bahia responsável por 80% da produção, facilidade de cultivo, é um material biodegradável que provem de fonte renovável, além de apresentar boas propriedades como isolante térmico e acústico (FROLLINI et al. 2004; CERCHIARO, 2010; COSIBRA, 2011). Estes fatores, aliados à alta tenacidade, à resistência à abrasão e ao baixo custo, fazem do sisal uma das fibras vegetais mais estudadas (CARVALHO e CAVALCANTI, 2006).

Silva et al. (2008) realizaram ensaio de tração em fibra de sisal com diferentes comprimentos, com o objetivo de avaliar o comprimento da fibra nos resultados mecânicos. A área da seção transversal foi medida por microscopia eletrônica de varredura, com o intuito de diminuir o erro, pois as fibras vegetais não possuem uma seção transversal bem definida. Os autores obtiveram resultados de módulo de elasticidade em torno de 18 GPa, e observaram que o comprimento da fibra não influencia nesse resultado, já a deformação específica na ruptura diminuiu de 5,2% para 2,6%, quando o comprimento foi aumentado de 10 mm para 40 mm. Em relação à resistência, os resultados ficaram em torno de 347 a 577 MPa, segundo os autores três fatores podem justificar a variabilidade dos resultados, sendo eles: i) as condições e parâmetros do teste, ii) as características naturais da fibra de sisal e iii) as áreas da seção transversal.

### 3.2.3 Fibras de coco

A fibra de coco é uma fibra lignocelulósica, fruto do coqueiro (*Cocos nucifera*), e obtida do mesocarpo fibroso do coco, que é principalmente cultivado nas regiões quentes e úmidas do Brasil. No verão o consumo da água de coco é muito grande, ao longo de todo litoral, o que leva a uma grande disposição de resíduos sólidos formado pelos coco. No verão, o Estado todo do Rio de Janeiro gera aproximadamente 12000 toneladas/mês de resíduos de coco, o que nos induz a necessidade de utilizar esse rejeito, para a contribuição da diminuição desses “lixos”, e tornando grande potencial de produção de materiais de baixo custo (SANTOS, 2002).

As folhas e o tronco do coqueiro são utilizados para obtenção de energia térmica por queima e também para cobertura de casas (MONTEIRO, 2006). As fibras contidas no fruto, tanto secas como verde, já encontram utilizações com repercussão no comércio mundial como no uso de estofamento de automóveis de padrão internacional (SCHUH, 1997).

### 3.2.4 Fibra de Aramida

As fibras de aramida são um polímero orgânico, produzido por mistura e reação de diaminas aromáticas e cloretos diácidos aromáticos. As

fibras de aramida, de cor dourada brilhante, têm um diâmetro entre 12 e 15  $\mu\text{m}$ . Podem citar-se dois importantes tipos de fibras de aramida: as fibras para-aramida e as meta-aramida. Têm elevada resistência à tração, alto módulo de elasticidade e boa resistência ao impacto (muito usadas em aplicações balísticas). São fibras com muito boa resistência ao fogo, ao calor e aos químicos, não apresentam fadiga, mas, no entanto, a rotura por fluência pode ser um ponto crítico, assim como a sensibilidade que apresentam à radiação ultravioleta. Um nome comercial muito utilizado para as fibras de aramida é “Kevlar” (Dupont). As fibras de aramida são normalmente produzidas em cabo (BALSEIRO, 2007).

### 3.2.5 Fibras de Bamboo

Os bambus são plantas gramíneas, herbáceas gigantes e lenhosas, que se desenvolvem rapidamente. São classificadas na família *Bambusoideae*. O ciclo de vida, de algumas espécies, está estimado entre 100 a 120 anos. É constituído por uma parte aérea (colmo) e outra subterrânea (rizoma e raiz), Martins et al. (2004),

Em fibras, o bambu pode ser combinado com outros materiais convencionais como solo-cimento, argamassa armada, concreto e gesso, substituindo total ou parcialmente os agregados minerais.

Os compósitos de fibras do bambu apresentam boas características físico-mecânicas, produzem um produto leve, resistente a impactos, com bom isolamento térmico, além de ser uma matéria-prima disponível e renovável (Beraldo, 1997). As fibras de bambu incorporadas em compósitos alcalinos necessitam de um tratamento prévio devido a sua constituição química rica em açúcares e amido, (Beraldo e Azzini, 1998), principal componente dos extrativos.

## 3.3 Características Mecânicas

As propriedades mecânicas dos materiais são verificadas pela execução de experimentos de laboratório cuidadosamente programados, que reproduzem o mais fielmente possível às condições de serviço. Dentre os fatores a serem considerados incluem-se a natureza da carga aplicada e a

duração da sua aplicação, bem como as condições ambientais. A carga pode ser de tração, compressiva, ou de cisalhamento, e a sua magnitude pode ser constante ao longo do tempo ou então flutuar continuamente, (CALLISTER, 2008).

Se uma carga é estática ou se ela se altera de uma maneira relativamente lenta ao longo do tempo e é aplicada uniformemente sobre uma seção reta ou superfície de um membro, o comportamento mecânico pode ser verificado mediante a um simples ensaio de tensão-deformação.

O módulo de elasticidade de um material é a capacidade de sofrer deformações reversíveis. Isto é, quando forças exteriores atuam sobre o material e este se deforma, é produzido um trabalho destas forças que se armazena no material como energia potencial elástica. O sólido se comporta elasticamente quando, depois de removidos os esforços, esse incremento na energia interna for reversível (UNIOESTE 2014).

## **4 MATERIAIS E MÉTODOS**

### **4.1 Extração dos feixes de Fibra**

A extração do fruto do inajá aconteceu na comunidade de Santa Terezinha (Lago das Piranhas) em Juruti-Pa, onde o Inajazeiro é nativo da região e que ainda não foi explorado o seu fruto para o extrativismo no comércio local.

O descascamento (Figura 4) ocorreu na Universidade Federal do Oeste do Pará, unidade Santarém, retirando toda poupa do fruto, resultando apenas no epicarpo, o ideal é amassar o fruto para expulsar o caroço da casca, facilitando e acelerando o processo. A lavagem ocorreu logo em seguida para limpar os restos de poupa e facilitar no momento da desfibragem e colocar para secar ao ar ambiente por 24 horas.

Figura 4: Separação da casca do inajá



Fonte: autores, 2019.

A desfibragem aconteceu no dia seguinte, utilizando pinças para arrancá-las da casca. Foi retirada uma quantidade necessária de feixes de fibra para o processo seletivo. Foram selecionados 200 (Figura 5) feixes de fibra, dentre essas 200, foram separadas 40 fibras  $\geq 40$  mm, 40  $\geq 35$  mm e 40  $\geq 30$  mm, totalizando 120 feixes de fibra com três medidas diferentes: 40 mm, 35 mm, 30 mm.

Figura 5: Feixes de Fibra



Fonte: autores, 2019.

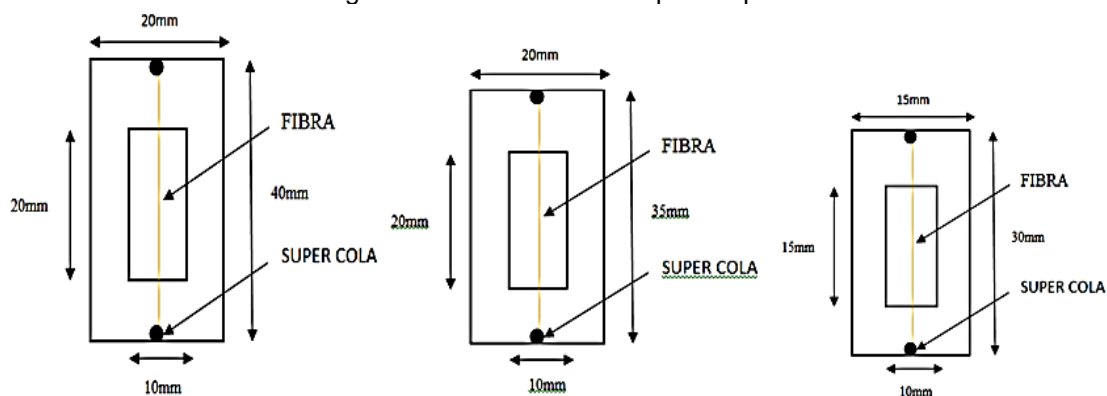
A secagem da fibra foi um processo necessário para a retirada de umidade do feixe, segundo Caldas (2014) essa umidade tem grande influência no comportamento mecânico. Nesse caso, foram colocadas na estufa e submetidas a uma temperatura de 80°C durante 24 horas.

#### **4.2 Corpos de prova**

A confecção dos corpos de prova (figura 6) foi baseada no método de (Caldas, 2014), porém com algumas modificações nos materiais utilizados.



Figura 6 Dimensões dos corpos de prova



Fonte: autores, 2019.

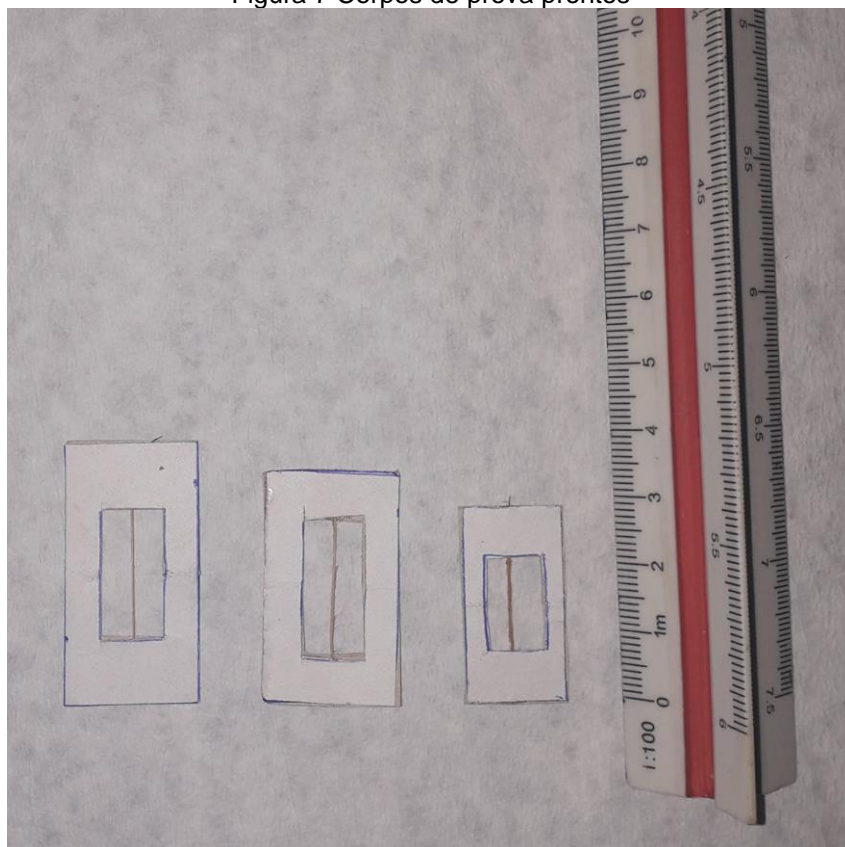
A confecção dos corpos de prova se deu a partir da seleção dos melhores feixes de fibra, apresentando uma geometria adequada para o procedimento.

## Materiais

- 2 tubos de cola *super Bonder* loctite
- 1 folha de papel cartão
- 1 Tesoura
- 1 Lapiseira
- 1 Régua

Foi preparado um molde feito de papel cartão com vazamento central para cada feixe de fibra e suas dimensões específicas, totalizando 240 peças: 120 lado A; 120 lado B. Foi utilizado cola *super Bonder* loctite por apresentar uma cura rápida e, assim, fixar o feixe de fibra nas extremidades e entre as duas paredes de papel (Figura 7).

Figura 7 Corpos de prova prontos

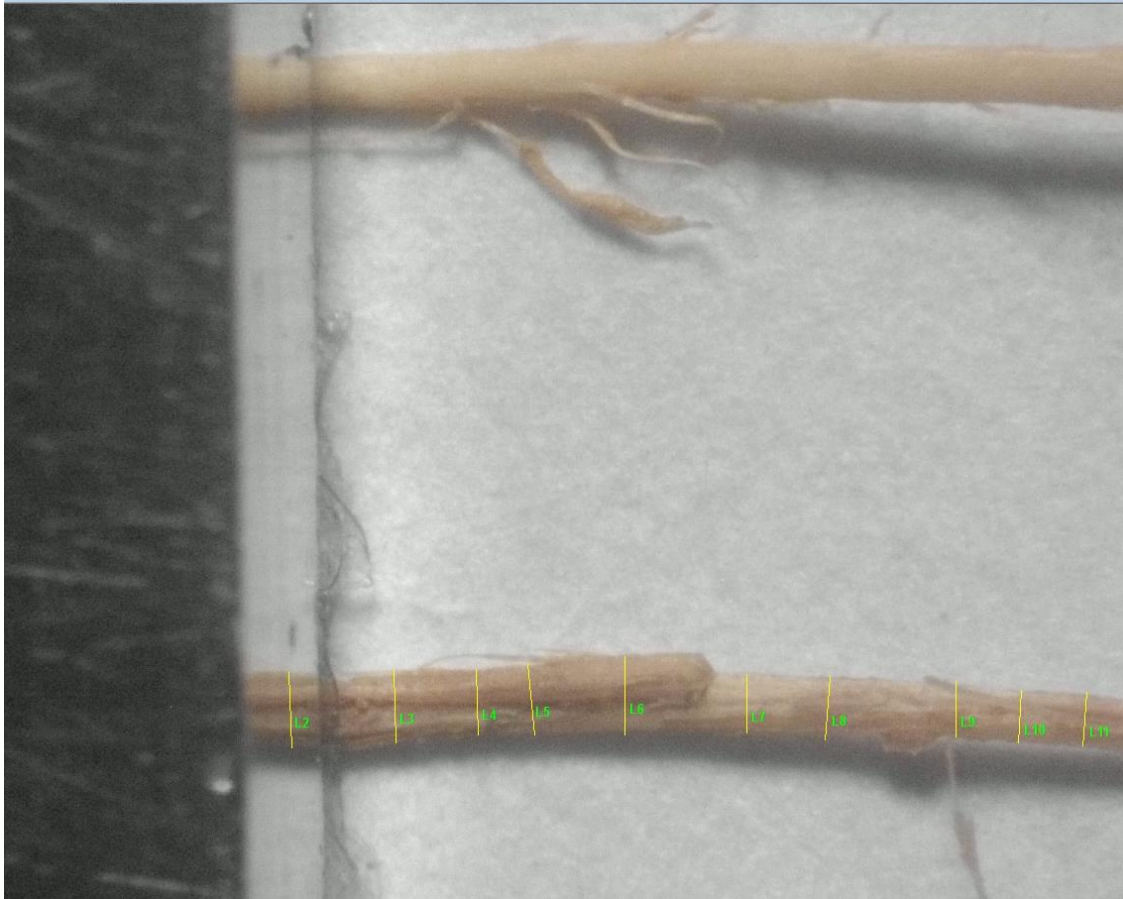


Fonte: autores, 2019.

### 4.3 Ensaios Mecânico

Para o ensaio de resistência à tração, primeiro foi necessário encontrar um diâmetro médio que seria usado para calcular a área de todos os feixes, já que os feixes não possuem uma forma bem definida e uniforme. Esse diâmetro foi encontrado através da análise microscópica (Figura 8) feita na Lupa WF10X BEL Photonics que forneceu imagens da geometria do feixe de fibra mostrando seu diâmetro.

Figura 8: Análise microscópica



Fonte: autores, 2019.

O diâmetro da fibra foi determinado através de 27 medidas feitas ao longo de dois feixes de fibra, por fim foi tirado uma média e usada para todos os feixes.

Os ensaios de resistência à tração foram realizados em uma máquina universal de ensaio modelo EMIC DL 30000 (Figura 9), com célula de carga de 5KN, baseados nos métodos de Caldas (2014), mas com modificações na velocidade de ensaio de 0,1 mm/min; sendo a distância entre garras de 20 mm.

Figura 9: Corpo de prova na máquina



Fonte: autores, 2019.

#### 4.4 Metodologia Estatística

Os dados das três variedades de Inajá foram aplicados na estatística descritiva (média, desvio padrão, máximo e mínimo) e comparados estatisticamente em tensão máxima e módulo de elasticidade.

Os dados não apresentaram as prerrogativas para o uso do teste T; não tinham distribuição normal, homogeneidade nas variâncias e o máximo de 30 amostras por grupo.

Foram realizados os testes estatísticos de Shapiro-Wilk e Kruskal-Wallis.

##### 4.4.1 Teste de Shapiro-Wilk.

Shapiro-Wilk é um teste de normalidade que é usado para determinar se um conjunto de dados de uma dada variável aleatória é bem

modelado por uma distribuição normal ou não, ou para calcular a probabilidade da variável aleatória subjacente estar normalmente distribuída.

Para determinar se os dados não seguem uma distribuição normal, foi comparado o valor de  $p$  com o nível de significância. No presente trabalho foi usado nível de significância de 0,05. Um nível de significância de 0,05 indica um risco de 5% de concluir que os dados não seguem a distribuição normal quando eles realmente a seguem, ou seja, 95% de confiabilidade.

Se o valor de  $p$  for menor ou igual ao nível de significância, deve-se rejeitar a hipótese nula e concluir que os dados não seguem a distribuição normal. Se o valor de  $p$  for maior do que o nível de significância, a hipótese nula não deve ser rejeitada, portanto não há evidências suficientes para concluir que os dados não seguem uma distribuição normal.

#### 4.4.2. Teste de Kruskal-Wallis.

O teste de Kruskal-Wallis é um teste não paramétrico utilizado para comparar três ou mais populações com um grupo de até 50 amostras. Ele é usado para testar a hipótese de que todas as populações possuem funções de distribuição iguais contra a hipótese alternativa de que ao menos duas das populações possuem funções de distribuição diferentes.

Enquanto a análise de variância dos testes depende da hipótese de que todas as populações em confronto são independentes e normalmente distribuídas, o teste de Kruskal-Wallis não coloca nenhuma restrição sobre a comparação.

Para determinar se todas as populações possuem funções de distribuição iguais ou não, foi comparado o valor de  $p$  com o nível de significância. No presente trabalho foi usado nível de significância de 0,05. Um nível de significância de 0,05 indica um risco de 5% de concluir que os dados não seguem a distribuição normal quando eles realmente a seguem, ou seja, 95% de confiabilidade.

Se o valor de  $p$  for menor ou igual ao nível de significância, deve-se rejeitar a hipótese e concluir que os dados das populações possuem funções de distribuição diferentes. Se o valor de  $p$  for maior do que o nível de significância, a hipótese não deve ser rejeitada, portanto não há evidências suficientes para concluir que os dados das populações possuem funções de

distribuição diferentes. O teste também apresenta a formação de grupos segundo os dados, no qual eles podem fazer parte do mesmo grupo podendo assim ser considerados da mesma família, ou de grupos diferentes.

As estatísticas descritivas e os testes foram feitos utilizando-se o software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2014), as análises gráficas foram realizadas utilizando software Microsoft Excel.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi realizado teste de Shapiro-Wilk, (Tabela 1) a fim de verificarmos se as tensões e o modulo de elasticidade seguem uma distribuição normal.

**Tabela 1:** Teste de Normalidade de Shapiro-Wilk

<b>Variável</b>	<b>Shapiro-Wilk (P-Value)</b>
<b>Tensão Máxima</b>	0.0096 << 0.05
<b>Módulo de elasticidade</b>	0.0003 << 0.05

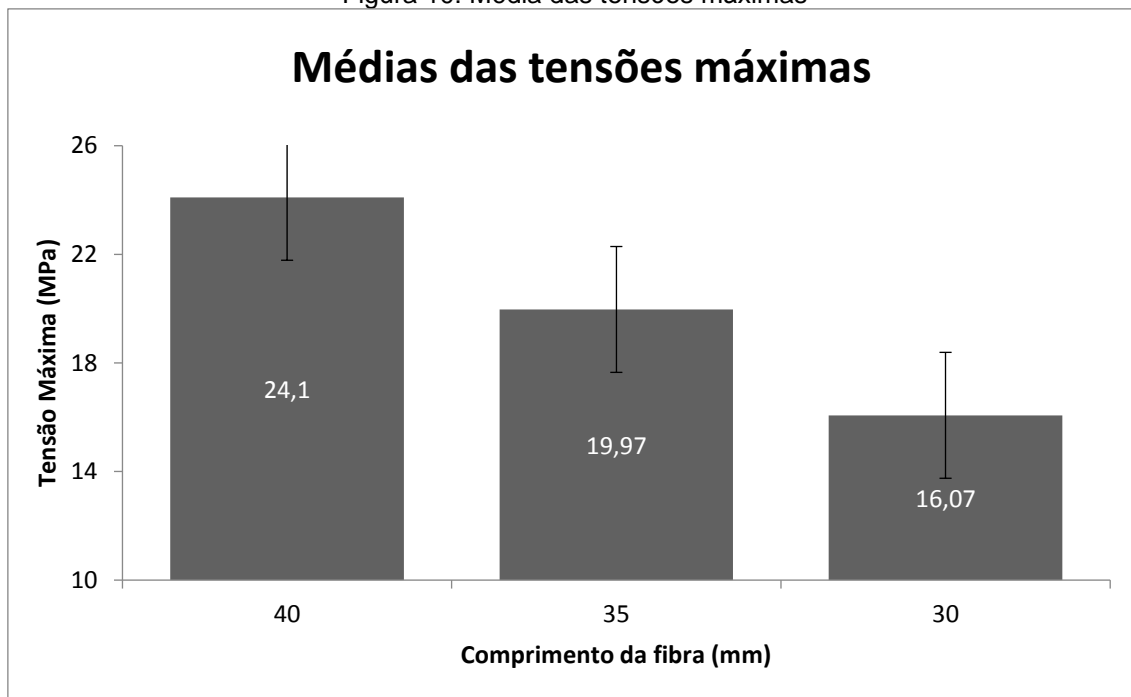
Fonte: Autores, 2019.

Podemos observar que, tanto a tensão máxima quanto o módulo de elasticidade, apresentaram valores de p bem abaixo do nível de significância que é de 0,05. Portanto os dados das variáveis não seguem uma distribuição normal descartando assim qualquer tipo de teste paramétrico.

### 5.1. Tensão máxima

As médias das Tensões máximas obtidas através do ensaio de tração estão na Figura 10.

Figura 10: Média das tensões máximas



Fonte: autores, 2019.

Observamos que a fibra de maior comprimento (40 mm) obteve a maior média de tensão máxima nos ensaios e por consequente a menor fibra (30 mm) obteve a menor média. A variação das medias de resistência à tração entre as fibras de tamanhos diferentes chegou a 34%, uma diferença significativa.

A fim de confirmarmos se essas diferenças de tensão em relação ao comprimento da fibra realmente condizem com a realidade foi feito o teste estatístico não paramétrico de Kruskal-Wallis (Tabela 2).

Tabela 2: Teste não paramétrico de Kruskal-Wallis

Tamanho da Fibra (mm)	Tensão Máxima Média (Mpa)	Desvio Padrão	Grupos
40	24.10	9.33	a
35	19.97	12.38	b
30	16.07	10.95	c
<b>Valor p</b>	0,0041		

Fonte: Autores, 2019.

Como mostra a Tabela 2, o valor de  $p$  para o teste de Kruskal-Wallis foi de 0,0041, bem abaixo de 0,05 mostrando estatisticamente que os dados da tensão máxima possuem funções de distribuições diferentes.

Um alto grau de dispersão das médias segundo o desvio padrão, forma assim 3 grupos de dados diferentes e mostrando que as tensões realmente variam conforme o tamanho da fibra, nesse caso quanto maior a fibra maior sua resistência a tração.

Comparando-se os resultados do presente estudo com o de outros autores que estudaram a resistência dos feixes de fibras de diferentes espécies (tabela 3)

**Tabela 3.** Comparativo da resistência à tração de feixes fibrosos

<b>Feixes</b>	<b>Resistência à tração (MPa)</b>	<b>Autores</b>
<b><i>Curauá branco</i></b>	859-1404	Silva e Aquino (2008)
<b><i>Curauá roxo</i></b>	665-1300	Silva e Aquino (2008)
<b><i>Sisal</i></b>	606,4	Caldas, (2014)
<b><i>Coco in natura</i> <i>Coco modificado</i></b>	110,87 97,84	Bedin, (2014)
<b><i>Bamboo</i> <i>Buriti</i> <i>Piaçava</i> <i>Ramie</i></b>	106-204 129-254 109-1750 400-1620	Monteiro, et al. (2011)
<b><i>Inajá 40 mm</i></b>	25	Presente trabalho

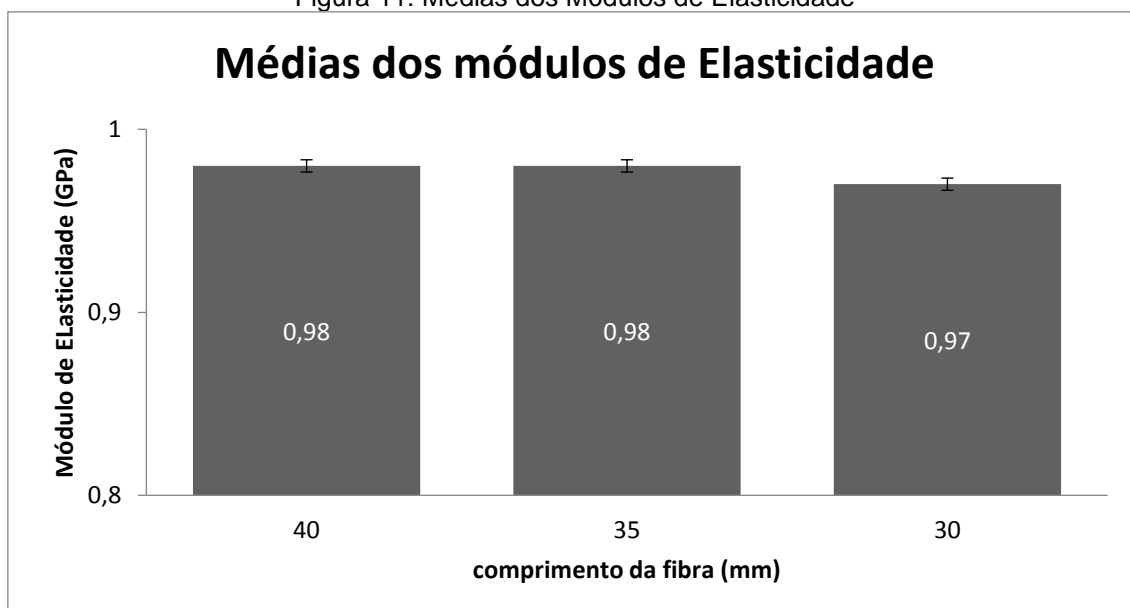
Fonte: Autores, 2019.

## 5.2. Módulo de elasticidade

Com o calculo das tensões foi possível encontrar os valores médios para o módulo de elasticidade das fibras (figura 11)



Figura 11: Médias dos Módulos de Elasticidade



Fonte: autores, 2019.

Como visto na figura a cima, os três tamanhos diferentes de fibras não apresentaram nenhuma diferença significativa nas médias dos módulos de elasticidade, todos eles chegando próximos a 1 Gpa.

Para confirmarmos tal observação, fazemos o teste de Kruskal-Wallis (tabela 4) a fim de obter uma precisão estatística dos dados.

Tabela 4: Teste não paramétrico de Kruskal-Wallis

Tamanho da Fibra (mm)	Módulo de Elasticidade Médio (Gpa)	Desvio Padrão	Grupos
40	0.98	0.38	a
35	0.98	0.49	a
30	0.97	0.39	a
<b>Valor P</b>	0.9552		

Fonte: Autores, 2019.

Observemos que o valor de P para o teste de Kruskal-Wallis é de 0.9552, bem acima do nível de significância usado que é de 0,05, mostrando estatisticamente que não há evidências suficientes para concluir que os dados das populações possuem funções de distribuição diferentes.

O baixo grau de dispersão das médias segundo o desvio padrão também mostra que os módulos de elasticidade fazem parte do mesmo grupo de dados, não tendo assim diferença entre eles, provando estatisticamente que o módulo de elasticidade não varia conforme o comprimento da fibra.

## 6 CONCLUSÃO

O feixe de fibra com 40 mm mostrou-se mais resistente à tração, com uma média de 24,1 Mpa. O ensaio também mostrou que as tensões máximas variam de acordo com o tamanho da fibra, quanto maior a fibra maior sua resistência.

Já o módulo de elasticidade não variou com o tamanho da fibra, mostrando-se assim uma variável dependente apenas do composto da fibra e não do seu comprimento.

Quando comparadas com outras fibras vegetais, a resistência à tração do inajá está abaixo das fibras mais usadas no mercado hoje, porém devido ao seu tamanho e a sua abundância na região ela pode ser aplicadas, por exemplo, na área da construção civil visando o melhoramento mecânico de seus materiais.

Com base na pesquisa deste material podemos destacar que os feixes de fibra do inajá surgem como um material alternativo para sua aplicação na engenharia, servindo como referência nas pesquisas de novos materiais, contribuindo com a sustentabilidade ambiental, econômica e social.

## REFERÊNCIAS

ANGRIZANI, C. A.; VIEIRA, C. A. B.; ZATTERA, A. J.; FREIRE, E.; SANTANA, R. M. C.; AMICO, S. C. Influência do comprimento da fibra de sisal e do seu tratamento químico nas propriedades de compósitos com poliéster. In: 17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais. Novembro, 2006, Foz do Iguaçu, **Anais**. Paraná: 17º CBECiMat, 2006.

ANGRIZANI, C.C.; AMICO, S.C.; CIOFFI, M.O.H.; ZATTERA, A.J. **Influência da Espessura nas Propriedades Mecânicas de Compósitos Híbridos Interlaminares de Curauá/Vidro/Poliéster**. *Polímeros*, vol. 24, n. 2, p. 184-189, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FIBRAS ARTIFICIAIS E SINTÉTICAS - ABRAFAS. Disponível em: <<http://www.abrafas.org.br/fibras/manufaturadas.html>>. Acesso em: 27 jun. 2019.

AQUINO, R.C.M.P., MONTEIRO, S.N., D'ALMEIDA, J.R.M., “**Evaluation of the Critical Fiber Length of Piassava (*Attalea funifera*) Fibers using the Pullout Test**”, *Journal of Materials Science Letters*, v. 22, pp. 1495-1497, 2003.

SPINACÉ, M.A.S.; JANEIRO, L.G.; BERNADINO, F.C.; GROSSI, T.A.; PAOLLI, M.A. **Poliiolefinas reforçadas com fibras vegetais curtas: sisal x curauá**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, v. 21, n 3, São Carlos, 2011.

BALSEIRO, A.M.R. **Reforço e reabilitação de vigas de madeira por pré-esforço com laminados FRP**. 2007, p. 144. Dissertação (Mestrado em Reabilitação do Patrimônio Edificado). Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.

BERALDO, A. L. **Bambu-Cimento: Alternativa para Construções Rurais**. In: ENCONTRO NACIONAL SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, 1., Canela, 1997. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 1997.

BERALDO, A. L.; AZZINI, A. **Efeito de Modificações da Matriz na Resistência à Compressão de Compósitos Bambu-Cimento**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 6., Florianópolis, 1998.

BILCATTI, G.K. **Produção de painéis de cimento portland reforçados com fibra de curauá (*Ananas erectifolius*)**. 2015. 100p. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015.

BLAAK, G. **Procesamiento de los Frutos de la Palmera Cucurita (*Maximiliana maripa*)**, In: Palmeras Poco Utilizadas de America Tropical. Turrialba, Costa Rica: FAO/Catie. p. 113-117. 1984.

BLEDZKI, A. K.; GASSAN, J. **Composites reinforced with cellulose based fibres**. *Progress in Polymer Science*, 24, p. 221-274, 1999.

BODMER, R. E. **Managing Wildlife With Local Communities: case of the Reserva Comunal Tamshiyacu - Tahuayo**. Case study 12b. Liz Claiborne Art Ortenberg Foundation, Arlington, Virginia, USA, 1993.

CALDAS, B.G.S. **Estrutura sanduíche de matriz poliéster reforçado com tecido de sisal conformado por infusão a vácuo**. 2014. p. 102. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

CALLISTER, W. D. JR. **Ciência de Engenharia de Materiais: uma Introdução**. 5. ed. 2008.

CARVALHO, L. H.; CAVALCANTI, W. S. Propriedades mecânicas de tração de compósitos poliéster/tecidos híbridos sisal/vidro. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v.16, n.1, p.33-37, 2006.

CASTRO, D.O., FROLLINI, E.; MARINI, J.; RUVOLO FILHO, A. Preparação e Caracterização de Biocompósitos Baseados em Fibra de Curauá, Biopolietileno de Alta Densidade (BPEAD) e Polibutadieno Líquido Hidroxilado (PBHL). **Polímeros**, vol. 23, n. 1, p. 65-73, 2013.

CERCHIARO, Jorge Ruben. **Comportamento Mecânico de Compósitos com Poliéster e tecidos de sisal por moldagem manual**. 2010, 87p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) Universidade Federal da Bahia, UFBA, Salvador, 2010.

CORREIA, Edvaldo Amaro Santos. **Compósitos de Matriz Geopolimérica Reforçados com Fibras Vegetais de Abacaxi e de Sisal**. 2011, 113p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal de Paraíba, UFPB, João Pessoa, 2011.

COMPANHIA SISAL DO BRASIL - COSIBRA. Disponível em:  
<<http://www.cosibra.com.br/1101.html>>. Acessado em 09 de julho 2019

CYMERYS, M. e FERREIRA, E. **Frutíferas e Plantas Úteis na Vida Amazônica**. Editora CIFOR & Imazon. Belém 2005. Pág. 189 a 195.

DONADON, B.F.; MASCIA, N.T.; TRAUTWEIN, L.M.; HAKAMADA, A.; BERTOLINE, C.A.A. **Utilização de fibras naturais de curauá e sisal para reforço de vigas de madeira laminada colada**. In: XV Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 2016.

FROLLINI, E.; PAIVA, J. M. F.; TRINDADE, W. G.; RAZERA, I. A. T.; TITA, S. P. **Natural Fibers, Plastics and Composites**: Plastics and composites from lignophenols. Editado por Frederick T Wallenberger; Norman E.Weston, Ed Kluwer Academic Publishers, Section III , p.193-225, 2004.

GUTIÉRREZ, M.C.; ROSA, P. DE T.V., DE PAOLI, M.A.; FELISBERTI, M.I. **Biocompósitos de Acetato de Celulose e Fibras Curtas de Curauá Tratadas com CO2 Supercrítico**. **Polímeros**, vol. 22, n. 3, p. 295-302, 2012.

JOSHI, S. V.; DRZAL, L. T.; MOHANTY, A. K.; ARORA, S. Are natural fibre composites environmentally superior to glass fibre reinforced composites? **Composites Part A**, v.35, p.371-376, 2004.

KIM, H. J.; SEO, D. W. Effect of water absorption fatigue on mechanical properties of sisal textile-reinforced composites. **International Journal of Fatigue**, v.28, n.10, p.1307–1314, 2006.

MAGALHÃES, A. C. T. V. **Estudo de fibras vegetais, mucilagem de cacto e gesso e componentes construtivos**. 2007. 123p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Brasília (UnB), Brasília, 2009.

MARTINS, G. S.; IOZZI, M. A.; MARTINS, M. A.; MATTOSO, L. H. C.; FERREIRA, F. C. **Caracterização Mecânica e Térmica de Compósitos de Poli (Cloreto de Vinila) Reforçados com Fibras de Sisal**. *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 14, nº 5, p. 326-333, 2004.

MOE THWE, KIN LIAO, “**Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo–glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites**”, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, 2002.

MONTEIRO, S.N., CALADO, V., SANCHEZ R.J. (2012). *Materials Science & Engineering. A, Structural Materials: Properties, Microstructure and Processing*, 557.

MONTEIRO, S.N., TERRONES, L.A.H., CARVALHO, E.A. de, D’ALMEIDA, J.R.M. “**Efeito da Interface Fibra/Matriz Sobre a Resistência de Compósitos Poliméricos Reforçados com Fibras de Coco**”, *Revista Matéria*, v. 11, n. 4, pp. 395 – 402. 2006.

MOTHÉ, Cheila G.; ARAÚJO, Carla R. de. Caracterização térmica e mecânica de compósitos de poliuretano com fibras de curauá. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 14(4) p. 274-278, 2004.

OLIVEIRA, E. C. P.; LAMEIRA, O. A.; SOUSA, F. I. B.; SILVA, R. J. F. **Estrutura foliar de curauá em diferentes intensidades de radiação fotossinteticamente ativa**. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, DF, v. 43, n. 2, p. 163-169, 2008.

PINTO, A. R. G. **Fibra de curauá e sisal como reforço em matrizes de solo**. Rio de Janeiro, 2008, 103p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC - Rio).

RABELO, A. **Inajá, fruteira amazônica de grande potencial alimentar, industrial e paisagístico**. Disponível em: <<http://frutasnativasdaamazonia.blogspot.com/2012/05/normal-0-21-microsoftinternetexplorer4.html>>. 2012. Acesso em: 27 jun. 2019.

RAO K, M.M.; RAO K, M. **Extraction and tensile properties of natural fibers: vakka, date and bamboo.** Compos Struct 2007

ROCHA, I.G., LADCHUMANANANDASIVAM, R., GALVÃO, A.O., COELHO, M.P.G. **Compósito unidirecional de fibra de curauá com resina epóxi: estudo das propriedades mecânicas.** In: 21º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Cuiabá, MT, 2014.

SANTOS, M. S. **“Propriedades térmicas e mecânicas de materiais reciclados à base de PET pós-consumo e cargas de coco”**, Tese de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Brasil, 2002.

SANTOS, P.A.; SPINACÉ, M.A.S.; FERMOSELLI, K.K.G.; DE PAOLI, M.A. **Efeito da Forma de Processamento e do Tratamento da Fibra de Curauá nas Propriedades de Compósitos com Poliamida-6.** Polímeros: Ciência e Tecnologia, vol. 19, n. 1, p. 31-39, 2009.

SCHUH, T.G., CAYER. U. **Lignocellulosic – Plastic Composites**, p. 181 – 195, Botucatu, Brasil, USP/UNESP, 1997.

SILVA, R. V.; AQUINO, E. M. F. **Curaua fiber: a new alternative to polymeric composites.** Journal of Reinforced Plastics and Composites, v. 27, n. 1, 2008.

SILVA, F. A.; CHAWLA, N.; TOLEDO FILHO, R. D. Tensile behavior of high performance natural (sisal) fibers. **Composites Science and Technology**, v.68, n.15-16, p.3438-3443, 2008.

SOUZA JUNIOR, F.G. de; PICCIANI, P.H.S.; ROCHA, E.V. da; OLIVEIRA, G.E. **Estudo das Propriedades Mecânicas e Elétricas de Fibras de Curauá Modificada com Polianilina.** Polímeros, vol. 20, n. especial, p. 377-382, 2010.

SOUSA, A. B. F. **Fibras Têxteis.** Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais – CETEC. 2009.

TOMCZAK, F. **Estudos sobre as propriedades de fibras de coco e curauá no Brasil.** 2010. 135p. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Paraná, 2010.

UNIOESTE. **PROPRIEDADES MECÂNICAS DE MATERIAIS.** Disponível em: <<http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downmateriais/materiaiscap10.>> ,2014. Acesso em: 27 jun. 2019.

WAMBUA, P.; IVENS, J.; VERPOEST, I. **Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?** Composite Science and Technology, v. 63, p. 1259-1264, 2003.