



UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS - UEA
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA - EST
ENGENHARIA MECÂNICA – TCC 2021 - UEA EM ENG. MECÂNICA



CHAENNY LETÍCIA DA SILVA AMORIM

**Avaliação experimental de compósito sanduíche com
matriz de fibra de sisal e núcleo de PLA e matriz de
fibra de juta com núcleo de ABS**

MANAUS

2021

CHAENNY LETÍCIA DA SILVA AMORIM

**Avaliação experimental de compósito sanduíche com
matriz de fibra de sisal e núcleo de PLA e matriz
fibra de juta com núcleo de ABS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial à obtenção do título
de bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
do Estado do Amazonas (UEA)

Orientador: Prof. Dr. Gilberto Garcia Del Pino

MANAUS
2021

CHAENNY LETÍCIA DA SILVA AMORIM

**Avaliação experimental de compósito sanduíche com
matriz de fibra de sisal e núcleo de PLA e matriz
fibra de juta com núcleo de ABS**

APROVADO POR:



PROF. DR. GILBERTO GARCIA DEL PINO (UEA)

(Orientador)



PROF. Msc. MARCOS DANTAS DOS SANTOS (UEA)

(Examinador)



PROF. DR. ANTONIO CLAUDIO KIELING (UEA)

(Examinador)

Manaus-AM, 18 de Dezembro de 2021.

C432a Silva Amorim, Chaenny Leticia da
Avaliação experimental de compósito sanduíche com
matriz de fibra de sisal e núcleo de PLA e matriz fibra de
juta com núcleo de ABS / Chaenny Leticia da Silva
Amorim. Manaus : [s.n], 2021.
61 f.: color.; 8 cm.

TCC - Graduação em Engenharia Mecânica -
Universidade do Estado do Amazonas, Manaus, 2021.
Inclui bibliografia
Orientador: Gilberto Garcia Del Pino

1. Estrutura Sanduíche. 2. Honeycomb. 3. PLA. 4.
ABS. 5. Compósitos. I. Gilberto Garcia Del Pino
(Orient.). II. Universidade do Estado do Amazonas. III.
Avaliação experimental de compósito sanduíche com matriz
de fibra de sisal e núcleo de PLA e matriz fibra de juta
com núcleo de ABS

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus pelo dom da vida e por ter me dado forças para chegar até aqui. Apesar de todas as adversidades desse ano pandêmico, Ele permaneceu ao meu lado, e me abençoou com várias oportunidades.

À minha família, obrigada pelo apoio, amor e por não deixar que eu desistisse dos meus sonhos. Mesmo que um país, estado ou plano espiritual nos distancie, vocês sempre serão meu pilar.

À minha avó, Antônia Amorim, toda minha gratidão, pois me ensinou ser paciente e perseverante, e que proveu, de forma incondicional, todos os recursos necessários para que eu chegasse até aqui.

Aos meus professores, expresso minha gratidão por terem contribuído de forma fundamental para minha formação profissional. Em especial, agradeço ao professor Dr. Gilberto Garcia Del Pino, por ter me orientado com paciência e didática.

Agradeço ainda ao Sanches Ismael, pelo apoio incondicional e por estar ao meu lado em todos os momentos durante este ano e principalmente, durante o desenvolvimento deste trabalho.

Por fim, agradeço a todos os meus amigos que participaram desta fase da minha vida e que por vezes, me animaram e me socorreram nos momentos de aflição e vibraram comigo em cada etapa vencida.

"Em algum lugar, algo incrível está esperando para ser descoberto."

Carl Sagan

RESUMO

O estudo voltado para fontes renováveis e materiais alternativos é constante. Sempre em busca de materiais alternativos que possam substituir os materiais atuais, sejam eles de origem animal e/ou vegetal. Pensando nisso, o seguinte estudo foi realizado com finalidade de obter um novo compósito de estrutura sanduíche, com materiais alternativos, sendo eles as fibras vegetais, já comumente utilizadas em outros trabalhos, trazendo como inovação a utilização de material impresso em PLA e ABS para confecção de Honeycomb. O trabalho tem o objetivo de confeccionar compósitos de estrutura sanduíche, com as matrizes de fibras vegetais, sendo elas de sisal e de juta, com o núcleo honeycomb de PLA e ABS. Foram confeccionados o provetes e em seguida foram levados a caracterização através dos ensaios mecânicos onde foi possível adquirir características mecânicas dos compósitos confeccionados. Onde foi possível observar que a estrutura com matrizes de juta e núcleo de ABS se sobressaiu em relação a estrutura com matriz de sisal e núcleo de PLA, pois apresentou propriedades de um material mais tenaz, suportando elevado esforço e sofrendo deformação, ao contrário do outro que apresentou propriedade de um material rígido e frágil. Quando comparada os dois compósitos, a estrutura sisal com ABS suporta 44,5 % da carga máxima suportada pelo outro material, na mesma proporção apresenta 44,7% menor tensão à flexão, 93% menor com a carga de ruptura e 83 % maior em relação ao deslocamento.

Palavras chave: estrutura sanduíche, honeycomb, PLA, ABS, compósitos.

ABSTRACT

The study focused on renewable sources and alternative materials is constant. Always looking for alternative materials that can replace current materials, whether of animal and/or vegetable origin. Thinking about it, the following study was carried out with the purpose of obtaining a new composite of sandwich structure, with alternative materials, being the vegetable fibers, already commonly used in other works, bringing as innovation the use of printed material in PLA and ABS for the manufacture of Honeycomb. The objective of this work is to make composites of sandwich structure, with the matrices of vegetable fibers, being sisal and jute, with the honeycomb core of PLA and ABS. The specimens were made and then the specimen scans were taken through mechanical tests where it was possible to acquire mechanical characteristics of the composites made. Where it was possible to observe that the structure with jute matrices and ABS core emerged in relation to the structure with sisal matrix and PLA core, because it presented properties of a more tenacious material, supporting high effort and suffering deformation, unlike the other that presented property of a rigid and fragile material. When comparing the two composites, the sisal structure with ABS supports 44.5% of the maximum load supported by the other material, in the same proportion presents 44.7% lower bending stress, 93% lower with the rupture load and 83% higher in relation to displacement.

Keywords: sandwich structure, honeycomb, PLA, ABS, composites.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Formação do compósito.....	17
Figura 2 - Estrutura de materiais compósitos com alguns dos possíveis arranjos das fibras ...	18
Figura 3 - Esquema de classificação para os tipos de compósitos 19	19
Figura 4- Padrão de deformação na matriz ao redor de uma fibra que está submetida à aplicação de uma carga de tração.	22
Figura 5 - Classificação das fibras, origem e exemplos. Adaptado de PANDEY et al.(2010).	23
Figura 6 Fibro-célula do sisal	24
Figura 7 - Fibra de sisal in natura (EMBRAPA ALGODÃO, 2006).	25
Figura 8 - a) Fibra de Juta; b) Planta de Juta	27
Figura 9 - Princípio do processo FDM	28
Figura 10 - Diagrama da seção transversal de um painel sanduíche (CALLISTER,2008).....	30
Figura 11 - Estrutura esquemática de um painel sanduíche	32
Figura 12 - Viga simplesmente apoiada submetida a uma força pontual aplicada na metade da distância entre os apoios.	36
Figura 13 - Resina epóxi e endurecedor	38
Figura 14 - Anti-bolhas	39
Figura 15 - Fibra de Sisal e Fibra de Juta	39
Figura 16 - 1) Estufa QUIMIS; 2) Fibras em desumidificação na estufa.....	40
Figura 17- 1) Matriz de fibra de sisal e resina epóxi; 2) Matriz de fibra de juta e resina epóxi.	40
Figura 18 - Molde preenchido com resina.....	41
Figura 19 - 1) Molde preenchido com resina e fibra de juta; 2) Molde preenchido com resina e fibra de sisal.....	41
Figura 20 - Molde fechado	42
Figura 21- Molde utilizado para confeccionar as matrizes.....	42
Figura 22 - Matriz de sisal sendo desmoldada	43
Figura 23 - Projeto 3D do Honeycomb	44
Figura 24 - Geometria e dimensões dos favos do Honeycomb	44
Figura 25 - 1) Honeycomb em processo de impressão; 2) Honeycomb impresso em material ABS	45
Figura 26 - 1) Honeycomb em processo de impressão; 2) Honeycomb impresso em material PLA.....	45
Figura 27- 1) Bordas de papel de 10mm na matriz de juta; 2) Bordas de papel de 10mm na matriz de sisal	46
Figura 28 - 1) Matriz de juta preenchida com resina; 2) Matriz de sisal preenchida com resina	46
Figura 29 - Honeycombs posicionados de forma centralizada nas matrizes.....	47
Figura 30 - Matrizes unidas aos honeycombs após a cura	47
Figura 31 - 1) Estrutura sanduíche de matriz de sisal com núcleo de PLA; 2) Estrutura sanduíche com matriz de juta com núcleo de ABS	47
Figura 32 - Instron® 5984.....	48
Figura 33 - Posicionamento do provete nos suportes para ensaios de flexão de 3 pontos segundo a norma ASTM C 393 / 393 M (ASTM 2006, 2000).....	49
Figura 34 - 1) Posicionamento do provete sobre os roletes; 2) Início do ensaio na estrutura de sisal e PLA.....	49

Figura 35 - Início do teste na estrutura de juta e ABS.....	50
Figura 36 - 1) Início do ensaio; 2) Aplicação da carga; 3) Ruptura	51
Figura 37 - Ruptura do Honeycomb ; Matriz sem características de ruptura.....	52
Figura 38 - 1) Início do ensaio; 2) Aplicação da carga; 3) Ruptura	53
Figura 39 - Estrutura após a ruptura.	54

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Tensão x deslocamento Fibra de Sisal com PLA.....	52
Gráfico 2 - Tensão x Deslocamento Fibra de juta com ABS	55

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1 Problematização e hipóteses	14
1.1.1 Hipóteses	14
1.2 Objetivos	15
1.2.1 Objetivo Geral	15
1.2.2 Objetivos específicos	15
1.3 Justificativa	15
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
2.1 Compósitos	17
2.1.1 Compósitos Reforçados com Fibras Naturais	19
2.1 Fibras Vegetais	22
2.1.2 Fibra de Sisal	25
2.1.3 Fibra de Juta	26
2.2 Resina Epoxi	27
2.3 Modelação por extrusão de plástico – FDM	27
2.3.1 PLA (ácido poliláctico)	28
2.3.2 ABS (Acrilonitrila butadieno estireno)	29
2.4 Estrutura Sanduíche	30
2.5 Ensaio de flexão	36
3. METODOLOGIA	37
3.1 Métodos	37
3.2 Técnicas	37
4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS	51
CONCLUSÃO	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

No passado, os materiais desenvolvidos para o uso cotidiano marcaram as diferentes Eras e o progresso das civilizações. A fabricação manual de tecidos flexíveis e a fiação de fibras como o algodão, o linho e a juta foram um grande avanço quando comparado com as peles de animais também muito utilizadas por povos antigos (VENTURA 2009).

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. Na medida em que as tecnologias ficam mais sofisticadas, torna-se mais difícil que os materiais até então disponíveis satisfaçam plenamente às necessidades, sejam por questões de propriedades mecânicas, características, formas de obtenção ou custo (RAMIRES, 2010).

Pode-se obter combinações de propriedades melhores em materiais compósitos do que aquelas encontradas nas ligas metálicas, nos materiais poliméricos e cerâmicos, conhecendo os seus vários tipos, assim como uma compreensão da dependência de seus comportamentos em relação às características, as quantidades relativas, a geometria/distribuição e as propriedades das fases constituintes (CALLISTER, 2008).

A aplicação industrial de compósitos nas diversas áreas vem crescendo consideravelmente em virtude do aperfeiçoamento nos processos de produção, bem como da concepção de novos agentes de reforço e estruturas sanduíches. Destaca-se, também, a evolução do uso de compósitos à base de fibras naturais em elementos estruturais submetidos a pequenos esforços. Isso porque as fibras naturais, em geral, apresentam propriedades mecânicas inferiores às das fibras manufaturadas, restringindo o seu uso em elementos estruturais de desempenho limitado (CORREIA, 2011).

Nos últimos anos, observa-se um aumento de estudos que focam na substituição de fibras sintéticas por naturais em compósitos poliméricos. Estudos demonstram que compósitos poliméricos reforçados por fibras vegetais são adequadas a um grande número de aplicações e seu uso é vantajoso em termos econômicos e ambientais (SILVA, 2010).

As estruturas sanduíches são materiais constituídos por uma estrutura de três camadas: duas lâminas finas de reforço, separadas por uma camada de um material de baixa densidade, em geral menos rígido, menos resistente e, mais leve. Inicialmente aplicados nas indústrias aeroespacial e naval, foi a partir dos anos 1960 que os painéis sanduíche começaram a ser aplicados em novos campos, nomeadamente na construção.

Devido à sua estrutura, os compósitos sanduíches apresentam-se como materiais com elevadas relações entre rigidez/massa específica e resistência/massa específica. A sua facilidade de montagem, devido ao seu reduzido peso e ao fato de serem geralmente pré-fabricados, permite uma economia de tempo e de custo. Estes compósitos caracterizam-se ainda pelas suas boas propriedades de isolamento térmico, pela sua durabilidade, mesmo em ambientes quimicamente agressivos e por permitirem a combinação de diferentes materiais, possibilitando a criação de formas relativamente complexas.

As propriedades de um compósito polimérico reforçado com uma fibra vegetal dependerão das propriedades dos componentes individuais (matriz e reforço), da fração volumétrica de fibra utilizada no compósito (em geral entre 20% e 30%) e, principalmente, da região de interface, ou seja, a interação entre a matriz e o reforço. A interação química entre a matriz e o reforço irá determinar o desempenho mecânico do compósito final. Dependendo do tipo de interação que houver na interface, as tensões localizadas que se concentram nessa região podem funcionar como pontos de tensão ocasionando a falha prematura no material (CALDAS, 2014).

Neste trabalho serão apresentados os dados comparativos de uma avaliação experimental de estruturas sanduíche a base de fibra de sisal (*Agave sisalana*) e fibra de juta (*Corchorus capsularis*) com material impresso, a base de ABS (Acrilonitrila butadieno estireno) e PLA (ácido poliláctico), como núcleo e resina epóxi como revestimento do compósito. A fim de obter as propriedades desses materiais, será realizado o ensaio de flexão em 3 (três) pontos.

1.1 Problematização e hipóteses

Como se comportam as estruturas sanduíches de matriz de material impresso, a base de ABS e PLA, com fibra de sisal e fibra de juta nas faces?

1.1.1 Hipóteses

H0: O desempenho e o comportamento mecânico das estruturas sanduíches reforçados com tecido sisal e/ou juta e núcleo de material impresso, a base de ABS e PLA, poderá ser verificado através do ensaio de 3 pontos sendo possível compará-las.

A utilização de fibras vegetais como carga de reforço não é uma prática nova, porém, atualmente, com a escassez do petróleo e seus derivados, de maneira geral, têm se buscado um maior aproveitamento dos recursos naturais renováveis.

O uso de materiais ditos ecologicamente amigáveis vem se tornando cada vez mais popular e necessário. Tal demanda induz à realização pesquisas referentes ao desenvolvimento e a caracterização dos mesmos, para serem utilizados nas indústrias de construção civil, automotiva, dentre outras.

Os materiais ecologicamente amigáveis em uma definição simples são aqueles que não são prejudiciais ao meio ambiente ou que contribuem para evitar a poluição, seja do ar, da água ou da terra. Geralmente são biodegradáveis, oriundo de recursos renováveis ou mesmo são feitos com material reciclado.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver e caracterizar compósitos de estrutura sanduíche utilizando-se a fibra de sisal e fibra de juta como material constituinte da lâmina e material impresso, a base de ABS e PLA como núcleo.

1.2.2 Objetivos específicos

- Confeccionar estrutura sanduíche com os materiais citados;
- Avaliar o desempenho e o comportamento mecânico da estrutura sanduíche ;
- Comparar resultados entre os materiais.

1.3 Justificativa

O desenvolvimento de novos materiais que atendam as necessidades humana, tanto do ponto vista do desenvolvimento de novas tecnologias, como para substituir outros materiais na tentativa de diminuir custos e melhorar suas aplicações, é uma busca constante.

Logo, desenvolvimento de produtos que utilizem combinações de materiais, sendo parte deles caracterizado como recursos renováveis e simples de serem processados, tornam-se interessantes tanto no âmbito financeiro como no âmbito ecológico, pois o custo com aquisição de material e produção terá uma redução, sem prejudicar a fonte dessa matéria prima.

Portanto, a fabricação de um novo compósito utilizando fibra vegetal, o sisal e/ou a juta, e material impresso como núcleo, permitirá obter os dados mecânicos e comparação de suas propriedades mecânicas, para se obter um novo material com parte de seus recursos sendo renováveis e parte de seus recursos utilizando novas tecnologias em sua fabricação.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

A fomentação na utilização de materiais ecologicamente corretos em substituição dos materiais sintéticos tem sido uma necessidade para minimizar os problemas ambientais no mundo. Logo, o uso de matérias-primas de fontes renováveis tem sido objetivo de diversos estudos e pesquisas, pois tais materiais apresentam um grande potencial em diversas aplicações, tais como, por exemplo, a indústria têxtil, na indústria automobilística, na área de revestimento interno de automóveis, ônibus e caminhões e construção civil. Além disso, nos últimos anos, o uso de fibras naturais como curauá, coco, sisal, rami, bagaço de cana-de-açúcar, juta e abacaxi como reforço em materiais poliméricos teve um acelerado crescimento. (GOMES, 2003)

2.1 Compósitos

Segundo a definição apresentada por vários autores, como AGARWAL (1990), MENDONÇA (2005), GIBSON (2011), (CALLISTER,2008), entre outros, um material compósito é um conjunto de dois ou mais materiais combinados em escala macroscópica, tendo uma distinta interface entre eles, para funcionarem como uma unidade, visando obter um conjunto de propriedades mecânicas que nenhum dos componentes apresentava trabalhando de forma individual.

Mesmo com uma diversificada possibilidade de combinações entre diferentes materiais disponíveis para a formação de um compósito, SILVA FILHO e GARCEZ (2007) afirmam que os compósitos são basicamente formados por dois componentes, o componente matricial e o componente de reforço.



Figura 1- Formação do compósito

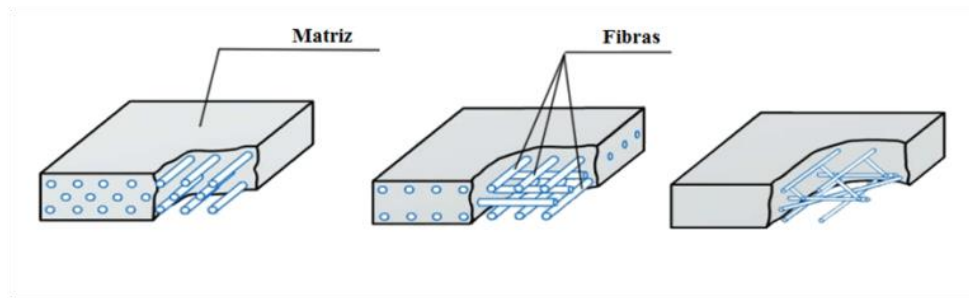


Figura 2 - Estrutura de materiais compósitos com alguns dos possíveis arranjos das fibras

Fonte: Fibersals (<https://fibersals.com.br/blog/uso-de-compositos-na-impermeabilizacao/>)

Conforme Callister (2008), os compósitos são materiais multifásicos que apresentam propriedades diferentes em relação às propriedades de seus constituintes. As combinações e faixas de propriedades foram, e ainda estão sendo ampliadas pelo desenvolvimento desses materiais.

Existem ainda diversos materiais compósitos que ocorrem na natureza, como por exemplo, a madeira que é constituída de fibra de celulose resistente e flexível, envolvida por um material mais rígido denominado lignina. De acordo com Callister (2008), muitos materiais compósitos são formados por apenas duas fases: uma é denominada matriz, a qual é contínua e envolve outra fase dispersa, com frequência chamada de fase dispersa. A matriz possui várias funções, a saber:

- a) interligar as fibras;
- b) atuar como meio transmissor e distribuidor das tensões externas aplicadas para as fibras;
- c) proteger as fibras individuais contra danos superficiais.

A matriz pode ser polimérica, metálica ou cerâmica. A maioria dos materiais compósitos foi criada para que se combine determinadas características mecânicas, tais como a rigidez e a tenacidade (CALLISTER 2008).

Um esquema simples para a classificação dos materiais compósitos está mostrado na Figura 3, que apresenta quatro divisões principais:

1. Compósitos reforçados com partículas,
2. Compósitos reforçados com fibras,
3. Compósitos estruturais, e
4. Nanocompósitos.

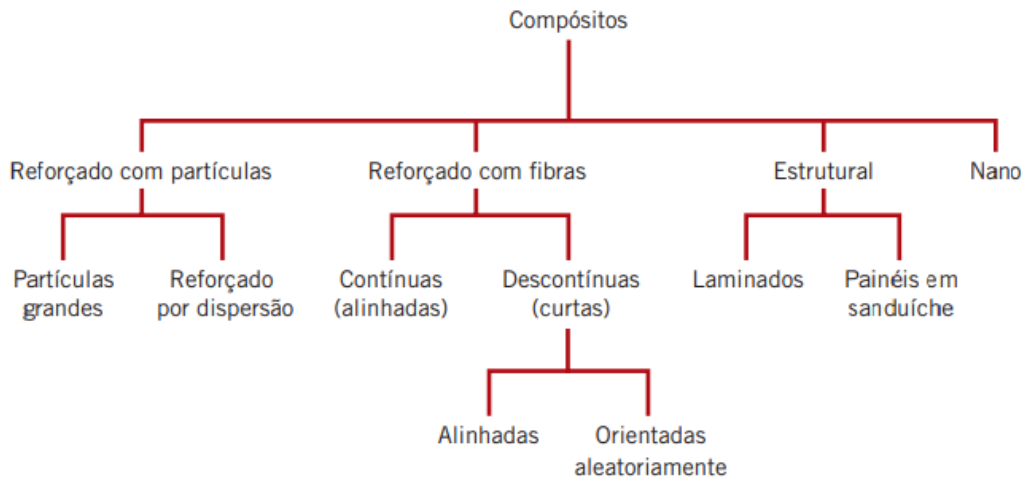


Figura 3 - Esquema de classificação para os tipos de compósitos

Fonte: CALLISTER (2008)

A fase dispersa nos compósitos reforçados com partículas é equiaxial (ou seja, as dimensões das partículas são aproximadamente as mesmas em todas as direções). Nos compósitos reforçados com fibras, a fase dispersa apresenta a geometria de uma fibra (ou seja, uma grande razão entre o comprimento e o diâmetro). Os compósitos estruturais possuem camadas múltiplas e são projetados para apresentar baixa massa específica e alto grau de integridade estrutural. Nos nanocompósitos, as dimensões das partículas da fase dispersa são da ordem de nanômetros.

2.1.1 Compósitos Reforçados com Fibras Naturais

Tecnologicamente, os compósitos mais importantes são aqueles em que a fase dispersa está na forma de uma fibra. Os objetivos de projeto dos compósitos reforçados com fibras incluem, com frequência, alta resistência e/ou rigidez em relação ao peso. Essas características são expressas em termos dos parâmetros resistência específica e módulo específico, que correspondem, respectivamente, às razões entre o limite de resistência à tração e a massa específica e entre o módulo de elasticidade e a massa específica. Compósitos reforçados com fibras com resistências e módulos específicos excepcionalmente elevados são produzidos empregando fibras e matrizes de baixa massa específica.

Como observado na Figura 3, os compósitos reforçados com fibras são subclassificados, considerando o comprimento das fibras. Para os compósitos com fibras curtas, as fibras são muito curtas para produzir um aumento significativo na resistência.

As fibras vegetais naturais têm recentemente atraído a atenção dos cientistas devido às vantagens que fornecem quando comparadas a materiais convencionais de reforço. Dentre elas estão às boas propriedades de resistência e módulo específico, baixo custo, baixa densidade, alta tenacidade, boas propriedades térmicas, provoca reduzidos desgastes às ferramentas, baixa irritação dérmica e respiratória, facilidade de separação, elevada recuperação de energia e biodegradabilidade (KARNANI et al., 1997; MASOODI et al., 2012).

O desenvolvimento de materiais compósitos poliméricos reforçados com fibras vegetais naturais tem sido objeto de crescente interesse. Eles são pretendidos por oferecer vantagens ambientais como: reduzir a dependência de fontes de energia/materiais não renováveis, menor emissão de poluentes, menor emissão de gases de efeito estufa, maior recuperação de energia e a maior biodegradabilidade de seus resíduos (JOSHI et al., 2004). Além disso, têm sido indicados como alternativa econômica potencialmente viável para a fixação de carbono na natureza, redução da emissão de CO₂ para a atmosfera durante o seu ciclo de produção, processamento e utilização, incluindo a possibilidade de comércio de créditos de carbono para a produção em cadeia (PANDEY et al., 2010).

Porém, há também alguns aspectos indesejáveis das fibras vegetais naturais como o fato de absorverem umidade, provocando um inchaço das mesmas, possuem baixa resistência térmica, e de que suas propriedades mecânicas, físicas e até químicas serem fortemente dependentes da safra e influenciadas pelo clima, localização, características do solo, circunstâncias climáticas, etc. Além disso, as propriedades de tais fibras são afetadas pelos processamentos aos quais estas fibras são submetidas e também pela forma com que são incorporadas ao compósito (RODRÍGUEZ et al., 2005; VAN DE WEYENBERG et al., 2006; KALIA et al., 2009; MYLSAMY e RAJENDRAN, 2011).

Restrições ao sucesso na utilização das fibras vegetais naturais em compósitos também são encontradas e são ocasionadas principalmente devido a sua baixa resistência microbiana, susceptibilidade ao apodrecimento, incompatibilidade com a matriz e a difícil previsão das propriedades do compósito (VAN DE WEYENBERG et al., 2006; JOHN e ANANDJIWALA, 2008).

A incompatibilidade entre as fibras vegetais e a matriz é oriunda do fato das fibras serem de natureza hidrofílica, pois são derivadas de lignocelulose, que contém grupos hidroxila fortemente polarizados, e da matriz polimérica ser hidrofóbica. Como consequências diretas

deste fato encontram-se uma fraca adesão interfacial entre a fibra polar e hidrofílica e a matriz não polar e hidrofóbica e dificuldades de mistura devidas à baixa molhabilidade da fibra pela matriz o que leva a uma fraca interface destes compósitos (JOHN e ANANDJIWALA, 2008; SREENIVASAN et al., 2012).

Uma interface fibra/matriz forte acarreta em um melhor desempenho em resistência do compósito devido à transferência mútua das cargas externamente aplicadas ao compósito entre a matriz e as fibras. As cargas aplicadas diretamente à matriz na superfície do compósito são transferidas para as fibras próximas à superfície e isto é propagado fibra a fibra através da matriz e da interface. Caso a interface seja fraca, a distribuição efetiva da carga não é alcançada e as propriedades do compósito são prejudicadas. Por outro lado, uma forte interface pode assegurar que o compósito possa suportar cargas mesmo após o rompimento de várias fibras porque a carga pode ser transferida a porções intactas das fibras rompidas e também das não rompidas.

Devido à baixa compatibilidade entre as fibras naturais e a matriz polimérica, as fibras devem ser adequadamente modificadas por meio de tratamentos físicos ou químicos com o objetivo de melhorar a adesão entre ambas (PANDEY et al., 2010).

Habitualmente as resinas utilizadas como matriz são de epoxy, poliéster ou fenólicas e reforçadas com fibras de vidro, aramida ou carbono. A grande vantagem de se produzir compósitos com estas fibras convencionais é que um limite bem definido de suas propriedades pode ser alcançado. Já a grande desvantagem encontra-se no problema da sua eliminação após o final de sua vida útil, pois, como seus componentes apresentam-se intimamente ligados e relativamente estáveis são, portanto, difíceis de separar e reciclar (MOHANTY et al., 2000).

Aliado a isso, a crescente consciência ambiental e a exigências legais, a fabricação, o uso e a eliminação das estruturas usualmente feitas com estas resinas e fibras convencionais estão sendo consideradas e, mudanças de paradigma em direção a projetos utilizando materiais compatíveis com o meio ambiente vêm ganhando força (KARNANI et al., 1997).

É neste contexto ecológico que a incorporação de fibras vegetais naturais em matrizes feitas de biopolímeros derivados da celulose, os chamados biocompósitos foram criados e ainda estão sendo desenvolvidos. Os biocompósitos consistem de um polímero biodegradável como material da matriz e frequentemente fibras vegetais naturais como elementos de reforço. Uma vez que ambos os componentes são biodegradáveis, o compósito como um todo é também biodegradável (MOHANTY et al., 2000).

Apesar de os biocompósitos mostrarem-se bastante sedutores, os melhores plásticos de engenharia são obtidos de polímeros sintéticos, mas não biodegradáveis. Isto remete-nos à fabricação de compósitos de polímeros sintéticos não biodegradáveis (matriz termoplástica ou

termorrígida) com fibras vegetais naturais. Tal combinação pode ser considerada uma nova classe de materiais, mas que não é completamente biodegradável e que possui benefícios ambientais positivos com relação à utilização de matéria prima e também com relação ao descarte (KARNANI et al., 1997; MOHANTY et al., 2000).

As características mecânicas de um compósito reforçado com fibras não dependem somente das propriedades da fibra, mas também do grau segundo o qual uma carga aplicada é transmitida para as fibras pela fase matriz. O grau de transferência de carga é dependente da magnitude da ligação interfacial entre as fases fibra e matriz. Essa ligação fibra-matriz não ocorre nas extremidades da fibra e, sob a aplicação de uma tensão, produz um padrão de deformação da matriz, conforme está mostrado esquematicamente na Figura 4; em outras palavras, não existe qualquer transmissão de carga pela matriz nas extremidades de cada fibra.

Certo comprimento crítico de fibra é necessário para que haja aumento efetivo na resistência e na rigidez de um material compósito. Esse comprimento crítico l_c depende do diâmetro da fibra d e da sua resistência máxima (ou limite de resistência à tração) σ_f^* , assim como da resistência da ligação fibra-matriz (ou da tensão de escoamento em cisalhamento da matriz, o que for menor) τ_c , de acordo com:

$$l_c = \frac{\sigma_f^* d}{2\tau_c}$$

(Equação 1)

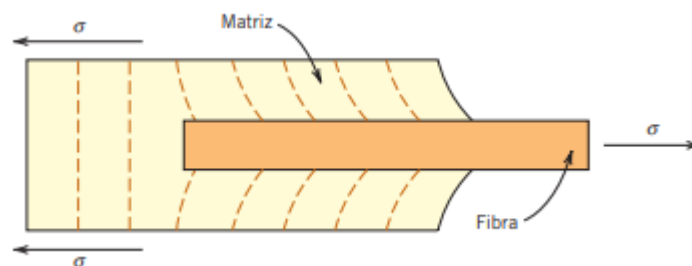


Figura 4- Padrão de deformação na matriz ao redor de uma fibra que está submetida à aplicação de uma carga de tração.

Fonte: CALLISTER (2008)

2.1 Fibras Vegetais

As fibras são classificadas em fibra 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). A classificação das fibras, sua origem e alguns exemplos são apresentados na Figura 5.

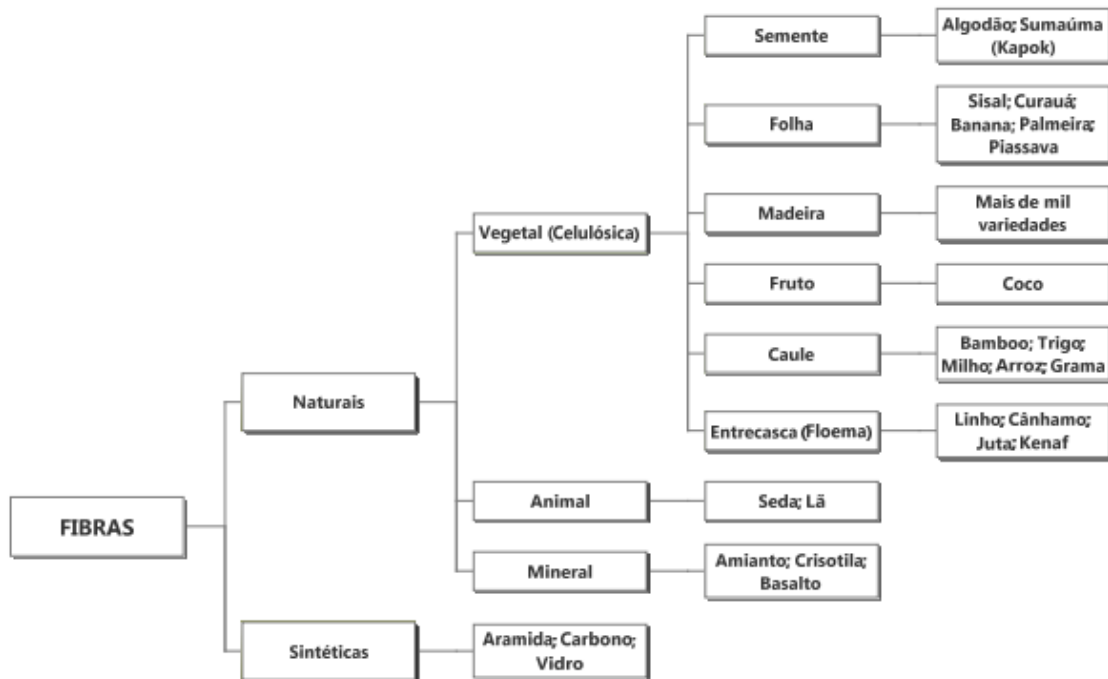


Figura 5 - Classificação das fibras, origem e exemplos. Adaptado de PANDEY et al.(2010).

Fonte: CALLISTER (2008)

As fibras manufaturadas surgiram a partir da necessidade de o homem encontrar uma solução para minimizar os prejuízos causados pelas intempéries que comprometiam a safra e, por conseguinte, diminuía os lucros. As desvantagens iniciais em relação às fibras naturais (aparência, toque e conforto) foram sanadas com o passar do tempo, através do aperfeiçoamento de novas técnicas de produção, tornando-as bastante competitivas (LEÃO, 2008).

As vantagens de se utilizar fibras naturais em relação a materiais de reforço tradicionais, tal como fibra de vidro, são: baixo custo, alta tenacidade, boas propriedades mecânicas, redução do desgaste de máquina, facilidade de separação e biodegradabilidade, e uso reduzido de instrumentos para o seu tratamento ou processamento. (RANA et al. 2003; FINKLER et al. 2005;).

Na última década, porém, o interesse pelas fibras vegetais aumentou novamente, devido ao fato de serem provenientes de fontes renováveis, biodegradáveis, recicláveis e representar

em uma nova fonte de renda para população rural, além de trazerem economia de energia por meio da redução de peso dos componentes. A substituição das fibras sintéticas por fibras vegetais é uma possibilidade bastante interessante por se tratar da substituição de um recurso não renovável por um recurso renovável. (SATYANARAYANA et al. 2007).

Considerando a estrutura interna, as fibras vegetais podem ser consideradas como materiais compósitos naturais (JOHN e THOMAS, 2008), compostos principalmente por celulose, lignina e hemicelulose. Uma fibra individual (denominada de fibra técnica) é constituída por feixes de fibras celulares ou fibro-células alinhadas ao longo do eixo principal da fibra técnica (OLIVEIRA, 2010). Geralmente, cada fibro-célula (Figura 6) é composta por uma parede celular constituída por quatro paredes cilíndricas também alinhadas no sentido longitudinal que são mantidas juntas por lignina. Assim, a parede celular é composta por uma parede primária, três paredes secundárias e o lúmen.

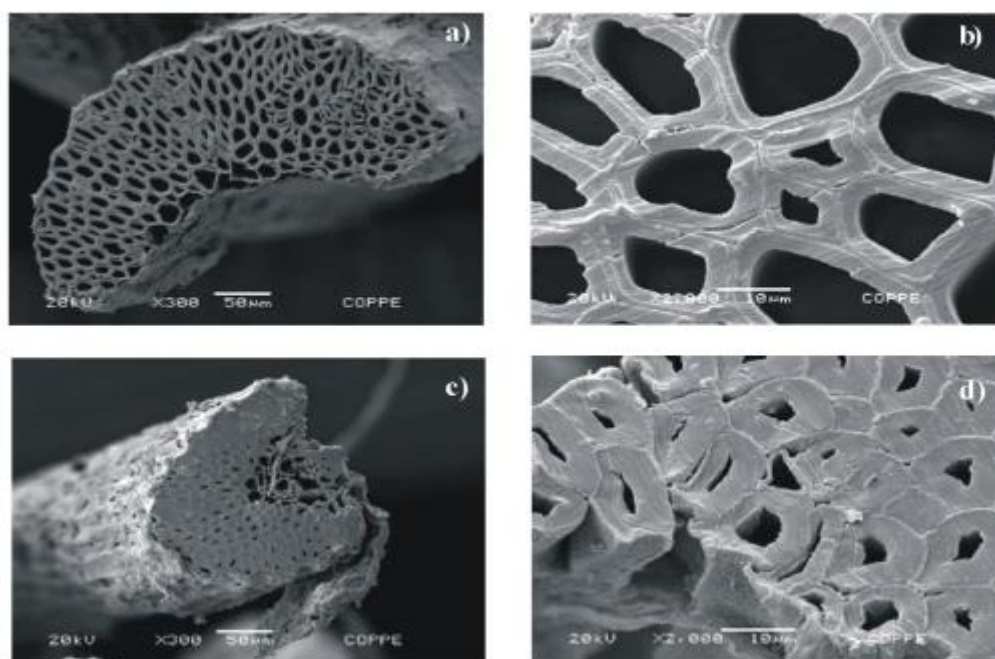


Figura 6 Fibro-célula do sisal

Fonte: (FERREIRA,2011)

As fibras naturais apresentam baixo custo, são biodegradáveis, recicláveis, não tóxicas e podem ser incineradas. Estão sendo utilizadas como reforço em polímeros e substituindo parcialmente as fibras sintéticas como amianto, Kevlar, boro, carbono, nylon e vidro que, apesar de possuírem boas características mecânicas, apresentam um custo elevado, são abrasivas aos equipamentos de processamento, possuem alta densidade, não são biodegradáveis, geram

produtos com um custo muito alto de reciclagem, além de algumas dessas fibras comprometerem a saúde humana. (ARAUJO e MOTHÉ, 1998)

2.1.2 Fibra de Sisal

Dentre as fibras naturais com potencial de aplicação, destaca-se o sisal. O sisal (*Agave sisalana*) é a principal fonte de extração de fibras duras vegetais do mundo. No Brasil, o seu cultivo ocupa uma extensa área de solos pobres na região semi-árida dos Estados da Bahia, Paraíba e Rio Grande do Norte, em regiões com escassa ou nenhuma alternativa para exploração de outras culturas. A fibra de sisal (Figura 7) é industrializada e convertida em fios, barbantes, cordas, tapetes, sacos, bolsas, chapéus e artesanato. Pode ser utilizada também na fabricação de pasta celulósica, empregada na confecção do papel Kraft e de outros tipos de papéis finos. Além dessas aplicações, a fibra de sisal pode ser empregada na indústria automotiva, de móveis e eletrodomésticos, na mistura com polipropileno e na construção civil (EMBRAPA ALGODÃO, 2006).



Figura 7 - Fibra de sisal in natura (EMBRAPA ALGODÃO, 2006).

Fonte: EMBRAPA ALGODÃO (2006)

Do ponto de vista anatômico, as fibras de sisal se inserem no grupo das fibras estruturais cuja função é dar sustentação e rigidez às folhas. Cada fibra é composta de um ou mais feixes fibrosos, os quais, por sua vez, são constituídos de um grande número de células, justapostas e intimamente ligadas por uma substância de natureza pécica, que não se separa durante as

operações de manufatura. Como estas fibras são espessas, ásperas e rígidas, classificam-se no grupo das fibras denominadas “duras” ou vasculares, distinguindo-se do grupo das fibras “macias” ou liberianas (juta, rami, cânhamo, linho) que são de constituição mais fina, macia e flexível (SALAZAR, 2005; MOCHNACZ, 2003).

2.1.3 Fibra de Juta

Dentre as fibras naturais com potencial de aplicação, destaca-se a juta (*Corchorus capsularis*), cultivada em climas úmidos e tropicais na região norte do país, que produz uma fibra de alta resistência, que quando misturada a polímeros, pode dar origem a produtos com menor densidade, podendo apresentar grandes aplicações (Neto et al, 2007).

A Juta, de nome científico *Corchorus capsularis*, é uma fibra têxtil vegetal que provém da família Tilioidae. Sua planta alcança um tamanho de 3 a 4 metros e o seu talo tem uma grossura de aproximadamente 20 mm. A fibra útil é contida entre a casca e o talo interno e a extração é feita pelo processo da maceração. A alta temperatura das regiões nas quais é cultivada favorece a fermentação e desta forma consegue-se a maceração em 8 a dez dias, permitindo assim a fácil retirada da casca da planta e separação da fibra da parte lenhosa do talo. O comprimento das células elementares da juta é em média de 0,80 mm, e o diâmetro varia de 0,01 a 0,03 mm, essa fibra também possui rigidez por ser lignificadas. O tempo necessário para maceração depende de vários fatores, como: temperatura da água, estado mecânico da água e idade da planta na ocasião da colheita (Alves, 2008).

A fibra de juta tem como seu principal componente é a celulose, sob a forma de linhocelulose, tendo boa afinidade para corantes diretos e para corantes básicos. É muito higroscópica, regulando a umidade em 12%, o que a torna a matéria prima ideal para a sacaria, evitando tanto o ressecamento quanto a fermentação do produto acondicionado. É uma cultura fácil, acompanhada de uma maceração trabalhosa e de pouco rendimento, sem a utilização de agrotóxicos ou fertilizantes. Introduzida no Brasil por Ryota Oyama, a cultura foi feita inicialmente por japoneses, tornando-se a seguir uma das principais atividades econômicas das populações ribeirinhas da região amazônica, sendo um fator fundamental da fixação de mais de 50 mil famílias ao campo (Alves, 2008).

A lavoura de juta, figura 6 (a), atingiu seu auge na década de 1960, com mais de 50 mil agricultores envolvidos no seu plantio e representou mais de um terço do PIB (Produto Interno

Bruto) do Estado do Amazonas, levando o Brasil a autossuficiência de fibra de juta em 1952. No entanto, torna novamente importador em 1970 e tem o seu gradativo desaparecimento na década de 1990 (Homma, 2005).



Figura 8 - a) Fibra de Juta; b) Planta de Juta

Fonte: Agro 20 (agro20.com.br)

2.2 Resina Epoxi

Entre as resinas poliméricas, as resinas termorrígidas são as mais utilizadas no processamento de compósitos poliméricos. Isto acontece por possuírem um fácil processamento, uma boa molhabilidade dos reforços, e apresentarem boas propriedades, além de estarem disponíveis em uma ampla variedade de grades a um custo relativamente baixo. (GARAY, 2010).

2.3 Modelação por extrusão de plástico – FDM

Neste processo, filamentos de resina termoplástica aquecidos são extrudidos a partir de uma cabeça de extrusão que se move no plano x-y. O material termoplástico utilizado para a construção dos modelos, sob a forma de fio, é alimentado através de uma bobine. Uma cabeça da máquina deposita filamentos de material sobre uma base, formando a primeira camada do

componente. A plataforma é mantida a uma temperatura inferior à do material extrudido, de forma à resina termoplástica endurecer rapidamente. Após este processo a plataforma movimenta-se no sentido vertical (eixo z) e a cabeça deposita uma segunda camada sobre a primeira. O processo é repetido até à construção total do protótipo. Se necessário, são construídos suportes durante o processo para dar sustentação ao protótipo durante a sua produção. Estes são fixos ao protótipo, usando um segundo material, mais fraco, ou uma junção perfurada. (GIBSON,2010) (LINO,2001) (MIT, 2000).

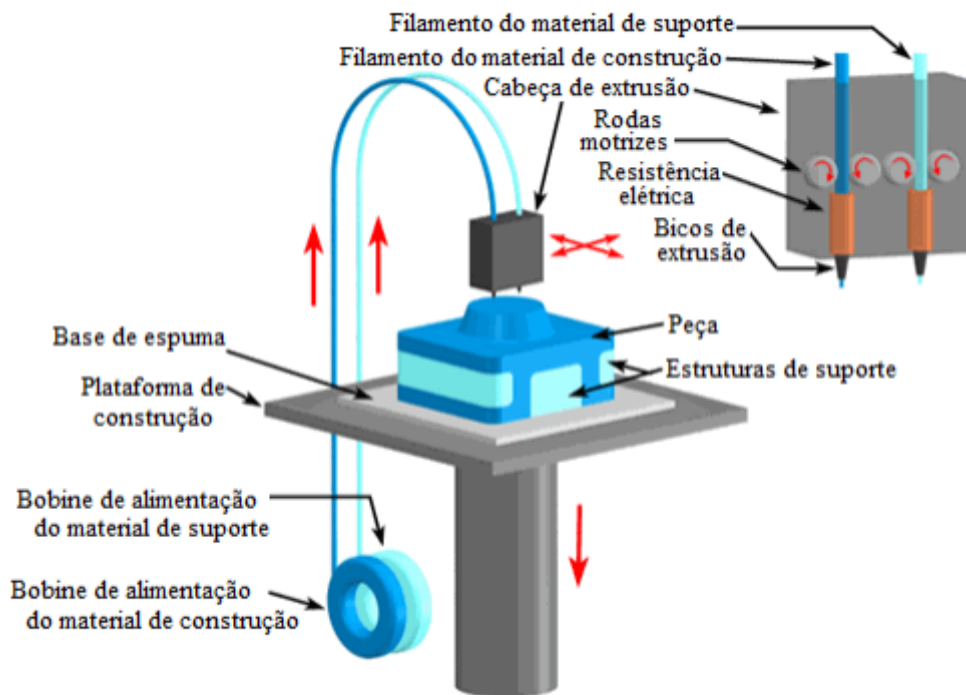


Figura 9 - Princípio do processo FDM

Fonte: Abreu (2015)

Quando se trata de filamentos para impressoras 3D, os materiais mais utilizados são PLA, ABS, PETG (PET, PTT), Nylon, os flexíveis TPE, TPN e TPC e o PC, as características técnicas difundidas se resumem sobre resistências, durabilidade e custos.

2.3.1 PLA (ácido polilático)

O ácido polilático (PLA), é o principal filamento utilizados nas impressoras 3D, ele possui uma temperatura de impressão menor que acrilonitrilo butadieno estireno (ABS), por isso não necessita de mesa aquecida para impressão. Segundo Brito et al. “o poli (ácido láctico) – PLA é um poliéster alifático, termoplástico, semicristalino ou amorfo, bi compatível e

biodegradável, sintetizado a partir do ácido lático obtido de fontes renováveis”. As fontes renováveis de onde é derivado o PLA são oriundas do amido de milho, cana-de-açúcar, raízes de tapioca e amido de batata. Não é tóxico, e por ser um termoplástico biodegradável, o torna mais ecológico do que a maioria dos filamentos de impressoras 3D, como dito por Allthat3d “este filamento de impressão 3D é mais amigo do ambiente em comparação com outros materiais plásticos”. Quando aquecido para sua extrusão, sente-se um leve aroma doce, tem a capacidade de degradar-se em ácido lático, é inofensivo ao organismo humano e devido a esta propriedade é usado na medicina em suturas e implantes cirúrgicos. É considerado o material mais fácil de se trabalhar, por isso é bastante indicado aos iniciantes de impressão 3D. Pode ser usado em louças descartáveis, produtos de higiene, embalagens de alimentos e tem menor propensão a deformação quando comparado com o ABS. O PLA é quebradiço, portanto deve-se evitar de usá-lo em peças que requer resistência mecânica, e também em peças com exposições a temperaturas em torno de 60°C ou mais. Têm maior facilidade para entupir o bico do extrusor e seu armazenamento requer um cuidado maior devido ao fato do PLA absorver facilmente umidade do ar, caso isto aconteça, será necessária uma maior temperatura de extrusão.

2.3.2 ABS (Acrilonitrila butadieno estireno)

O segundo filamento mais utilizados em impressão 3D é o ABS, “o polímero ABS é um copolímero obtido a partir de reações de três monômeros diferentes, sendo eles acrilonitrilo, butadieno e estireno [...]” (Francisco, 2016, p. 16), sua impressão requer mais conhecimento técnico e necessita de mesa aquecida. O ABS é superior ao PLA em relação às suas propriedades mecânicas, é durável, forte e é considerado leve. Suporta temperaturas mais elevadas, é ligeiramente flexível e sua maior vantagem em relação ao PLA, deve-se ao fato de ser o termoplástico mais barato no mercado de filamentos para impressão 3D. A desvantagem do ABS é uma pequena geração de fumaça durante o processo de impressão e esta é considerada tóxica, por isso, deve-se operar a impressora 3D em uma área ventilada. O ABS é derivado de petróleo e conseqüentemente não é um material biodegradável assim como o PLA. Necessita de maior temperatura para atingir seu ponto de fusão, e pode deformar durante e depois do processo de impressão, por isso é indicado mesa de aquecimento e o uso em impressoras fechadas.

2.4 Estrutura Sanduíche

Um compósito estrutural é um compósito multicamada e em geral de baixa massa específica, usado em aplicações que exigem integridade estrutural, resistências à tração, compressão e torção e rigidez normalmente elevadas. As propriedades desses compósitos dependem não somente das propriedades dos materiais constituintes, mas também do projeto geométrico dos vários elementos estruturais. Os compósitos laminados e os painéis-sanduíche são dois dos mais comuns compósitos estruturais (CALLISTER,2008).

Dentre todos os possíveis conceitos de compósitos estruturais, a ideia da construção sanduíche tem se tornado bastante popular devido ao desenvolvimento de materiais celulares produzidos pelo homem como material do núcleo. Por definição, uma estrutura sanduíche é um composto em que um material de núcleo é cercado por duas ou mais camadas (FIEDLER e OCHSNER, 2008).

Os painéis-sanduíche, considerados como uma classe de compósitos estruturais, são projetados para serem vigas ou painéis de baixo peso, com rigidez e resistência relativamente elevadas. Um painel sanduíche consiste em duas lâminas externas, ou faces, que se encontram separadas, e são unidas com adesivo a um núcleo mais espesso (Figura 8).

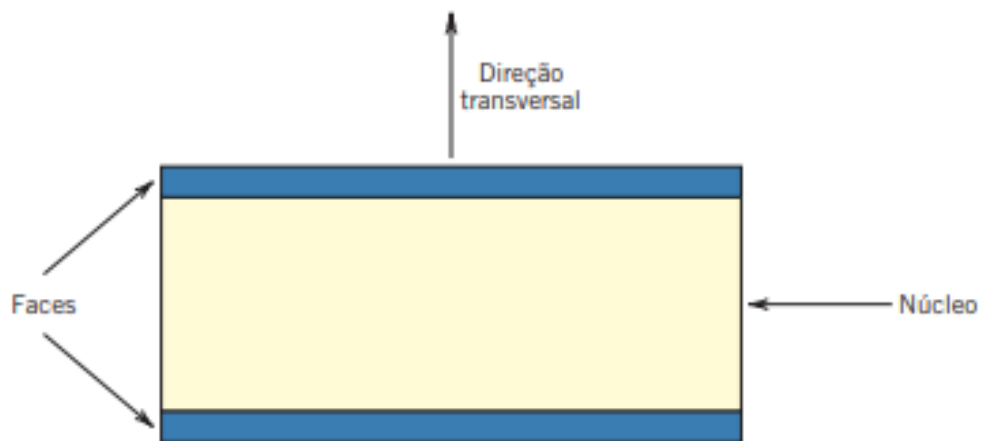


Figura 10 - Diagrama da seção transversal de um painel sanduíche (CALLISTER,2008)

Fonte: CALLISTER, 2008

As lâminas externas são feitas de um material relativamente rígido e resistente, tipicamente ligas de alumínio, aço e aço inoxidável, plásticos reforçados com fibras, e madeira compensada; elas suportam as cargas de flexão que são aplicadas ao painel. Quando um painel-sanduíche é fletido, uma face sofre tensões de compressão, e a outra, tensões de tração.

O material do núcleo é leve e apresenta normalmente um baixo módulo de elasticidade. Estruturalmente, ele desempenha várias funções. Em primeiro lugar, ele proporciona um suporte contínuo para as faces e as mantém unidas. Além disso, possui suficiente resistência ao cisalhamento para resistir às tensões de cisalhamento transversais, e também é espesso o suficiente para prover alta rigidez em cisalhamento (para prevenir a flambagem do painel). As tensões de tração e de compressão sobre o núcleo são muito menores do que sobre as faces. A rigidez do painel depende principalmente das propriedades do material do núcleo e da espessura do núcleo; a rigidez à flexão aumenta significativamente com o aumento da espessura do núcleo. Além disso, é essencial que as faces estejam fortemente coladas ao núcleo. O painel-sanduíche é um compósito eficiente em termos de custo, pois os materiais do núcleo são mais baratos do que os materiais usados nas faces.

Tipicamente, os materiais do núcleo enquadram-se em três categorias:

- i. Espumas poliméricas rígidas,
- ii. Madeira, e
- iii. Colmeias.

Tanto polímeros termoplásticos quanto polímeros termorrígidos são usados como espumas rígidas; esses incluem (e estão ordenados em ordem crescente do custo) poliestireno, fenolformaldeído (fenólico), poliuretano, poli (cloreto de vinila), polipropileno, poli(éter-imida), e poli (metacrilato de metila).

A madeira balsa também é comumente usada como um material de núcleo, por várias razões:

1. Sua massa específica é extremamente baixa ($0,10$ a $0,25$ g/cm³), a qual, no entanto, é maior que a de outros materiais de núcleo;
2. Relativamente barata;
3. Possui resistências à compressão e ao cisalhamento relativamente altas.

Outro tipo de núcleo popular é uma estrutura em “colmeia”, que será objeto de estudo desse trabalho, — finas folhas que foram produzidas como células intertravadas (com formato hexagonal ou com outras configurações), com os eixos orientados perpendicularmente aos planos das faces. A Figura 9 mostra uma vista em corte de um painel-sanduíche com núcleo de colmeia. As propriedades mecânicas das colmeias são anisotrópicas: a resistência à tração e à compressão é maior em uma direção paralela ao eixo da célula; a resistência ao cisalhamento é maior no plano do painel. A resistência e a rigidez das estruturas em colmeia dependem do tamanho da célula, da espessura da parede da célula e do material a partir do qual é feita a

colmeia. As estruturas em colmeia também possuem excelentes características de amortecimento do som e de vibrações, por causa da alta fração volumétrica de espaços vazios no interior de cada célula. As colmeias são fabricadas a partir de lâminas delgadas. Os materiais usados para essas estruturas de núcleo incluem as ligas metálicas — alumínio, titânio, à base de níquel e aços inoxidáveis; e polímeros — polipropileno, poliuretano, papel kraft (um papel de cor marrom, resistente, usado em sacos de compras para serviços pesados e papelão), e fibras de aramida.

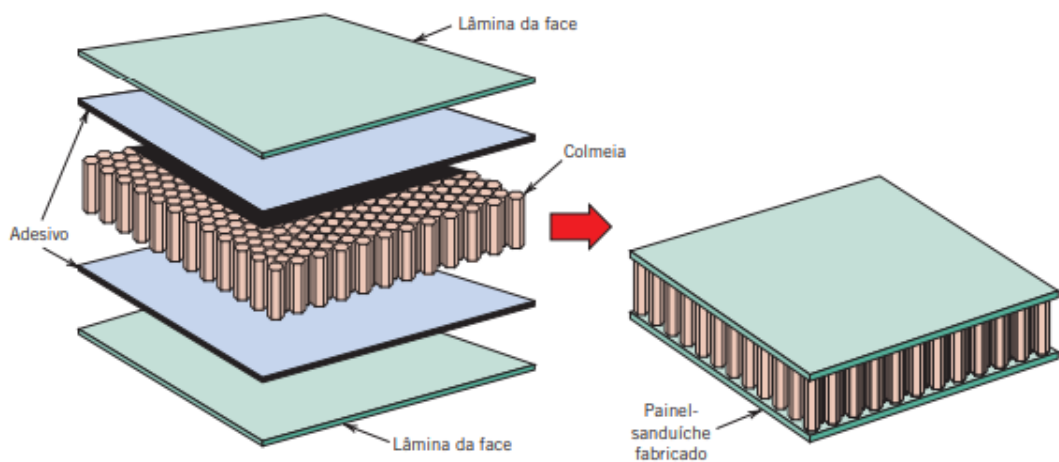


Figura 11 - Estrutura esquemática de um painel sanduíche

Fonte: CALLISTER, 2008

Estruturas sanduíche comumente consistem de :

1. Um par de lâminas finas, rígidas e fortes
2. Um núcleo grosso e de baixo peso para separar as lâminas e transmitir cargas de uma lâmina para outra;
3. Um adesivo para conexão, capaz de transmitir cargas axiais e de cisalhamento para e do núcleo.

Os painéis-sanduíche são usados em uma ampla variedade de aplicações em aeronaves, construção, e indústrias automotiva e marítima, incluindo as seguintes: aeronaves — bordos de ataque e de fuga, domos de radares, carenagens, carcaças de motores (seções de carenagem e dos dutos de ventilação ao redor dos motores das turbinas), flaps, lemes, estabilizadores e lâminas de rotores de helicópteros; construção — revestimento arquitetônico para edifícios, fachadas decorativas e superfícies de interiores, sistemas de telhados e paredes de isolamento, painéis para salas limpas, e gabinetes embutidos; automotivo — revestimentos de teto, pisos de compartimentos de bagagens, coberturas de pneus de estepe e pisos de cabines; marítimo — quilhas, móveis e painéis de paredes, tetos e divisórias.

Devalus et al. (2001) realizaram um estudo em compósitos sanduíche com núcleo honeycomb de geometria senoidal, sendo ambos, núcleo e lâminas, fabricados com fibra de vidro e resina poliéster. Avaliaram, através de testes experimentais, de simulações numéricas utilizando o MEF e, de um modelo analítico por eles apresentado, o comportamento destes compósitos quando submetidos a testes de flexão três e quatro pontos. Obtiveram boa concordância entre os dados oriundos das três diferentes formas de avaliação tanto para tensões quanto para deflexão. Quando comparados os dados experimentais com os dados oriundos das simulações numéricas, uma diferença máxima de 8,56% foi obtida para a deflexão, o que mostra uma boa correlação entre os dados.

Estudos vêm sendo desenvolvidos para avaliar a performance dinâmica dos compósitos sanduíches, através de análises numéricas e experimentais, TSA (Análise de Tensão Termo Elástica) e EF (elementos Finitos), além de simulações computacionais e ensaios mecânicos com corpos de prova, para averiguar seu desempenho dinâmico e comportamento de fratura (WANG et. al., 2015). O conhecimento das características de distintos núcleos pode ajudar na escolha do tipo e dimensão dos componentes dos sanduíches, conforme sua aplicação estrutural.

Chen et al. (2008-a) relataram que há um grande potencial no emprego da tecnologia têxtil na confecção de tramas de tecidos para a fabricação de compósitos *honeycomb* tridimensionais. Neste trabalho projetaram e fabricaram compósitos *honeycomb* hexagonais com diferentes tramas de algodão, como fase reforçadora, e resina epóxi, como fase matriz. Ao todo desenvolveram quatorze compósitos variando-se parâmetros construtivos que, posteriormente, foram divididos em quatro grupos com base nos seguintes critérios: Grupo I – ângulo de abertura do favo (30°, 45°, 60°, 75° e 90°); Grupo II – tamanhos da parede do favo (3,8 mm, 5,1 mm, 6,4 mm e 7,6 mm); Grupo 3 – tamanhos distintos entre as paredes do favo coladas e das não coladas. Grupo 4 – diferentes números células e do tamanho das paredes das células, visando manter a largura do compósito constante. Nos três primeiros grupos previamente mencionados foram fabricados compósitos com o mesmo número de células e nos dois últimos com um ângulo de abertura do favo de 60°. Dando complemento a este trabalho, Chen et al. (2008-b) avaliaram o desempenho ao impacto destes compósitos através de dados como absorção de energia; força transmitida e atenuação do impacto. Concluíram: o aumento do ângulo de abertura do favo causa uma redução na energia de absorção e no pico da força transmitida; a diminuição de tamanho da parede do favo está relacionada a maiores módulos de absorção de impacto e maiores picos das forças transmitidas, porém, sem

alteração significativa na energia de absorção e com redução na atenuação do impacto; tamanhos distintos das paredes dos favos influenciam principalmente a força transmitida e a atenuação do impacto; e, por fim, que o aumento na densidade das células causa um aumento na força transmitida e uma redução na atenuação ao impacto.

Buscando compreender a influência que a espessura das lâminas tem sobre a resistência à fadiga de materiais compósitos sanduíche com núcleo *honeycomb*, Jen e Chang (2009) submetem compósitos construídos com lâminas e núcleos de alumínio, unidos por resina epóxi a testes de fadiga a 4 pontos. Resultados experimentais não evidenciaram nenhuma relação entre a espessura das lâminas e a resistência à fadiga para as amostras submetidas às mesmas forças fletoras. O principal modo de falha foi o descolamento entre as lâminas e o adesivo. A utilização do MEF foi feita visando obter o comportamento das tensões interfaciais. Modelaram a estrutura com elementos sólidos de oito nós e o adesivo com elementos tetraédricos de quatro nós. A fim de reduzir os custos computacionais

Rao *et al.* (2011) observaram que os compósitos reforçados com fibras naturais têm ganhado grande importância na substituição de compósitos convencionais. Assim, buscando uma nova forma de agregar valor ao material, foram feitos núcleos do tipo favo de mel para estruturas sanduíches, a partir de compósitos reforçados com fibras naturais, com os quais foram realizados ensaios de cisalhamento do núcleo com a intenção de avaliar a utilização do material como núcleo para sanduíches. Os resultados obtidos nos ensaios de compressão e flexão mostraram que os núcleos suportaram uma deformação de 80%, mostrando que o material pode ser utilizado para diversas finalidades, por também possuírem boas propriedades na absorção de ruídos.

Stocchi *et al.* (2014) desenvolveram um núcleo do tipo favo de mel que consiste em uma matriz éster vinílico e tecido de juta. Foram fabricados dois núcleos, sendo um com células de 6 mm e outro com 10 mm, utilizando a moldagem por compressão. O ensaio de compressão transversal mostrou que os núcleos produzidos não apresentam o comportamento clássico dos favos de mel comercializados, ou seja, a falha por instabilidade das paredes celulares devido à deformação. Para os núcleos de juta o dano é progressivo devido ao mecanismo de falha típico de compósitos com fibra, como o arrancamento (pull-out) e ruptura das fibras. Segundo os autores, esse comportamento se deve pela maior espessura das paredes em relação ao tamanho das células, o que inibe a deformação. Os núcleos de juta e éster vinílico apresentaram resistência à compressão elevadas quando comparadas com os núcleos disponíveis

comercialmente, sendo $\sigma_c = 15,5$ MPa para o núcleo com célula de 6mm e $\sigma_c = 13,5$ MPa para o núcleo com célula de 10mm. Por outro lado, apesar dos núcleos apresentarem densidades elevadas, como $\rho = 290$ kg/m³ para 6mm e $\rho = 157$ kg/m³ para 10mm, as resistências à compressão específicas de $\sigma_{cs} = 0,085$ MPa/kg para 6 mm e $\sigma_{cs} = 0,05$ MPa/kg para 10 mm, são semelhantes aos núcleos disponíveis comercialmente, ou seja, o núcleo de juta tem potencial para ser uma alternativa aos núcleos comercializados em aplicações específicas.

Cerchiaro (2010) desenvolveu um tecido com fibras de sisal para reforçar uma matriz termofixa de poliéster utilizando o método de laminação manual, comparando seu comportamento com compósitos de fibras de vidro. Com intuito de aumentar a proporção de fibras no compósito, diminuir a presença de vazios e manter uma espessura uniforme, desenvolveu-se um tecido unidirecional com um tear de pente, utilizando mechas (fios) de fibras de sisal na trama e linhas de algodão no urdume. Os compósitos foram laminados manualmente com duas camadas de resina poliéster e duas de tecidos de fibra deitados variando a orientação dos tecidos em sentidos perpendiculares [0/90] para obter compósitos multidirecionais, em duas laminas orientadas em direção paralela ao carregamento axial [0/0] para obter compósitos unidirecionais e finalmente duas laminas perpendiculares [90/90]. Avaliou-se o comportamento mecânico à tração e à flexão no qual se obteve melhor desempenho com as duas laminas direcionadas paralelamente ao carregamento axial [0/0] que apresentou uma resistência à tração de 25,05 MPa e módulo de elasticidade de 2,71 GPa. Os compósitos reforçados com fibras de vidro apresentaram uma resistência seis vezes maior que os compósitos reforçados com fibras de sisal alinhadas paralelamente ao carregamento [0/0].

Ramesh *et al.* (2013a) analisaram a incorporação de fibras vegetais (sisal e juta) em compósitos reforçados com fibra de vidro. Através do método de laminação manual foram produzidos compósitos híbridos vidro/sisal ou juta com a montagem da placa consistindo na utilização de três camadas de tecido de fibra de vidro intercaladas por duas camadas de sisal ou juta (cortadas com de comprimento) previamente secas por 3 a 5 horas, sendo todas as camadas impregnadas com resina epóxi e a espessura final das placas igual a 5 mm. Em relação ao ensaio de tração, os compósitos híbridos sisal/fibra de vidro apresentaram os melhores resultados, já em relação ao ensaio de flexão, o compósito juta/fibra de vidro mostrou um melhor desempenho. Os autores concluíram que apesar dos compósitos híbridos apresentarem resultados menores aos compósitos reforçados com fibras de vidro, eles podem ser uma alternativa em aplicações que não necessitem de elevados esforços simularam apenas um quarto da estrutura por questões de simetria. Demonstraram boa concordância entre os valores das tensões obtidos nos ensaios experimentais e nas simulações numéricas.

2.5 Ensaio de flexão

Temos da resistência dos materiais que, para vigas simplesmente apoiadas e com força pontual aplicada na metade da distância entre os apoios (Figura 4.29), os valores máximos de deslocamento vertical são dados pela Equação (4.8) (HIBBELER, 2005). Cabe salientar que tal equação desconsidera a parcela dos esforços cortantes (cisalhamento) e preserva apenas a parcela dos esforços fletores. Tal hipótese geralmente é adotada para flexão de barras longas (barras cujo comprimento é muito maior do que a altura da seção transversal).

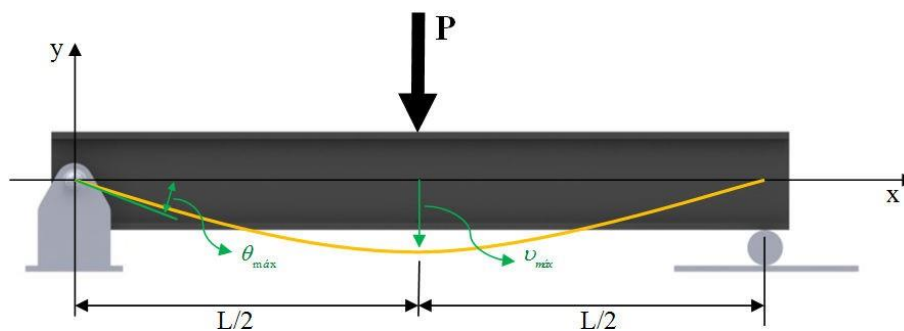


Figura 12 - Viga simplesmente apoiada submetida a uma força pontual aplicada na metade da distância entre os apoios.

Fonte: Hibbeler, 2010

$$v_{máx} = -\frac{PL^3}{48EI}$$

Reescrevendo a equação, com o intuito de isolar a variável do produto de rigidez equivalente do compósito (EI). Para a obtenção do produto de rigidez supõe-se que os materiais dos compósitos sanduíche eram fabricados com um material sólido, homogêneo e isotrópico. Uma vez conhecidos os demais parâmetros força aplicada (P), distância entre os apoios (L) e o máximo deslocamento ($v_{máx}$) - o produto da rigidez pode ser calculado e utilizado através da equação (DUTRA, 2014).

$$EI = -\frac{PL^3}{48v_{máx}}$$

3. METODOLOGIA

3.1 Métodos

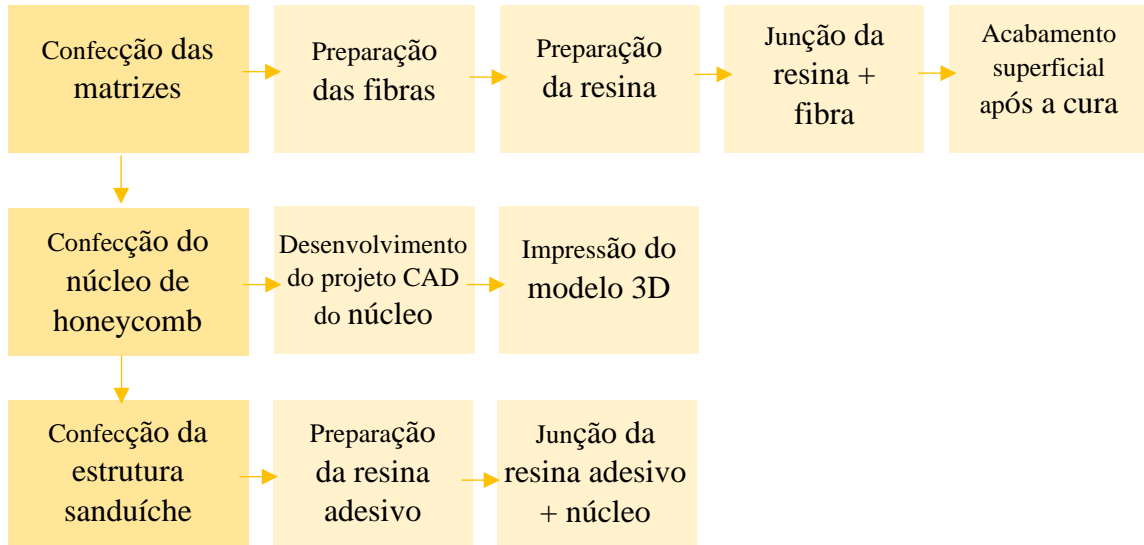
Para este trabalho serão abordas os seguintes métodos:

- Estudo de caso: É um tipo de pesquisa qualitativa e/ou quantitativa, compreendido como uma classe de investigação que tem como finalidade o estudo de uma unidade de maneira mais aprofundada (PRODANOV, 2013).
- Quantitativo: este método se caracteriza pelo uso da quantificação, tanto nas categorias de recolhimento de informações, quanto no tratamento dessas através de técnicas estatísticas, a partir das mais simples até as mais complexas. O método quantitativo tem o benefício de ter a finalidade de proporcionar a precisão do trabalho minimizando dessa forma as chances de divergência de resultados (RICHARDSON, 1999)
- Para a elaboração deste tipo de trabalho, o primeiro passo a ser dado é no sentido de identificar as variáveis específicas que possam ser importantes, para assim poder explicar as complexas características de um problema (RICHARDSON, 1999).
- O método dedutivo, de acordo com o entendimento clássico, é o método que parte do geral e, a seguir, desce ao particular. A partir de princípios, leis ou teorias consideradas verdadeiras e indiscutíveis, prediz a ocorrência de casos particulares com base na lógica. “Parte de princípios reconhecidos como verdadeiros e indiscutíveis e possibilita chegar a conclusões de maneira puramente formal, isto é, em virtude unicamente de sua lógica.” (GIL, 2002).

3.2 Técnicas

Este capítulo está subdividido em itens para melhor entendimento do desenvolvimento do experimento. Sendo partes das etapas de fabricação e caracterização realizadas nas dependências dos laboratórios de metrologia avançada e soldagem, ambos pertencentes ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas.

A confecção do material sanduíche seguiu o seguinte fluxo:



3.2.1 Matriz de fibra de Naturais

3.2.1.1 Resina Epóxi

Para a confecção das matrizes foi utilizada a resina Redelease Resina Epóxi Transparente 2001 (0,670 Kg) com Endurecedor 3154 (0,330 Kg) (Figura 13), ambos fornecidos pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas. A proporção mássica utilizada obedeceu às recomendações do fabricante da resina, sendo 100% de resina para 50% de endurecedor (2:1), ou seja, 100g de resina para 50g de endurecedor, adicionado também 4g de anti-bolhas (Redelease SILADIT-53 FR 0,100ml) (Figura 14), totalizando 154g de resina.



Figura 13 - Resina epóxi e endurecedor

Fonte: Autor



Figura 14 - Anti-bolhas

Fonte: Autor

3.2.1.2 Fibras Naturais

As fibras utilizadas foram: fibra natural de sisal e fibra natural de juta, ambas as fibras foram fornecidas pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas, sendo utilizadas 20g de fibra para cada placa matriz (Figura 15-1 – Fibra de sisal e Figura 15-2 – Fibra de juta). As fibras também passaram por um processo de desumidificação na estufa (Figura 16-2), onde ficaram por 50 min a 100° Celsius para secagem das fibras. A estufa utilizada neste trabalho foi da marca QUIMIS e modelo 0317M-72 (Figura 16-1).



Figura 15 - Fibra de Sisal e Fibra de Juta

Fonte: Autor



Figura 16 - 1) Estufa QUIMIS; 2) Fibras em desumidificação na estufa

Fonte: Autor

3.2.1.3 Confeccção da Matriz

Foram fabricadas duas amostras de placa de fibra de sisal com resina epóxi (Figura 17-2) e duas amostras de placa de fibra de juta com resina epóxi (Figura 17-2). Para cada placa foi preparada a quantidade de resina já relatada no item 3.2.1.1, sendo pesada cada quantidade com uma balança digital SF-400, após o preparo foi feita homogeneização da resina durante 15 minutos.

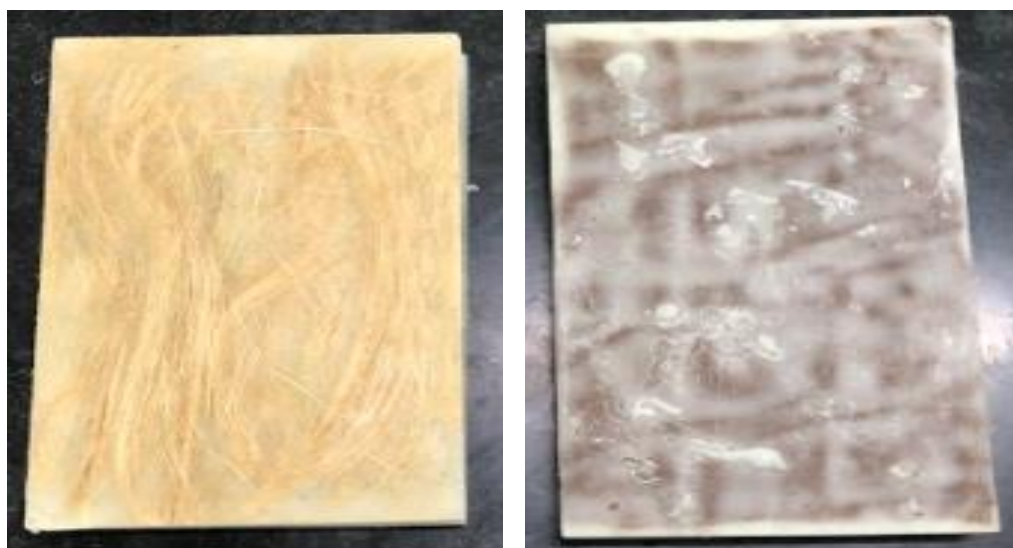


Figura 17- 1) Matriz de fibra de sisal e resina epóxi; 2) Matriz de fibra de juta e resina epóxi.

Fonte: Autor

Após a homogeneização, foi feito o preenchimento do molde com a resina preparada (Figura 18) e as fibras alinhadas e na quantidade relatada no item 3.2.1.2 (Figura 19-1 – Fibra de juta e Figura 19-2 – Fibra de sisal). O molde foi fechado e prensado (Figura 20). Para a confecção das placas matrizes foi utilizado um molde com as seguintes dimensões: 250mm x 155mm x 3,2mm (Figura 21).



Figura 18 - Molde preenchido com resina.

Fonte: Autor



Figura 19 - 1) Molde preenchido com resina e fibra de juta; 2) Molde preenchido com resina e fibra de sisal

Fonte: Autor



Figura 20 - Molde fechado

Fonte: Autor



Figura 21- Molde utilizado para confeccionar as matrizes

Fonte: Autor

A cura foi obtida após 24 horas a temperatura ambiente, as matrizes foram retiradas dos moldes (Figura 22) passando por uma etapa de acabamento superficial tendo suas faces lixadas a fim de preparar a superfície para receber o adesivo e melhorar a aderência do material a matriz.



Figura 22 - Matriz de sisal sendo desmoldada

Fonte: Autor

3.2.2 Núcleo de honeycomb

Segundo Menta et al. (2012), a fabricação normal de compósitos sanduíche com núcleos *honeycomb* geralmente inclui várias etapas, tais como a fabricação dos laminados seguida pela união destas ao núcleo. Sendo assim, neste trabalho a fabricação dos compósitos sanduíches foi realizada mediante a união de duas placas de compósito de fibra de sisal a um núcleo de PLA impresso em 3D e outra união de duas placas de compósito de fibra de juta a um núcleo de ABS impresso em 3D.

A fabricação dos núcleos começou com a elaboração do projeto do *honeycomb* através de software CAD SolidWorks, conforme mostrado na Figura 23, seguindo a geometria e dimensões apresentadas na Figura 24 e com espessura da parede do favo de *1mm*.

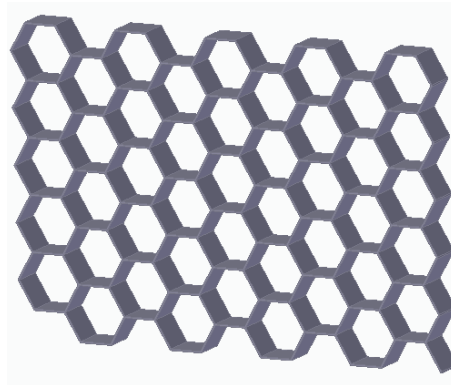


Figura 23 - Projeto 3D do Honeycomb
Fonte: Autor

A seguir serão relatados os parâmetros de impressão de cada material nos tópicos abaixo.

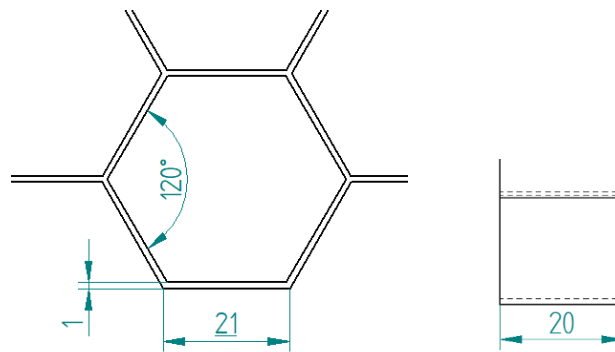


Figura 24 - Geometria e dimensões dos favos do Honeycomb
Fonte: Autor

3.2.2.1 Núcleo impresso em ABS

Para a confecção do núcleo em ABS foi utilizado o software de fatiamento (processo para definir parâmetros de impressão) Ultimaker Cura e uma impressora Sethi3D S3. Foram utilizados 23,70 metros de filamento a 60 mm/s com duração de 600 minutos e a temperatura da extrusora em 235°C.

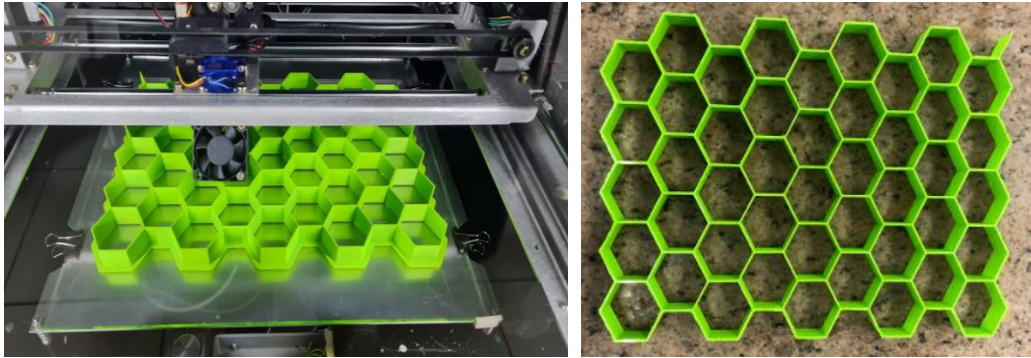


Figura 25 - 1) Honeycomb em processo de impressão; 2) Honeycomb impresso em material ABS

Fonte: Autor

3.2.2.2 Núcleo impresso em PLA

Para a confecção do núcleo em PLA foi utilizado o software de fatiamento Simplify3D e uma impressora Sethi3D 4SX. Foram utilizados 21,72 metros de filamento a 50 mm/s com duração de 177 minutos e a temperatura da extrusora em 205°C.

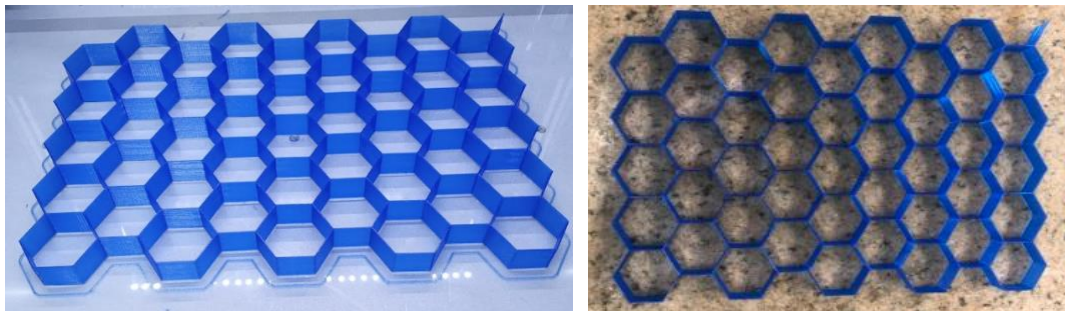


Figura 26 - 1) Honeycomb em processo de impressão; 2) Honeycomb impresso em material PLA

Fonte: Autor

3.2.3 Confecção da estrutura sanduíche

Para a confecção da estrutura sanduíche foi necessário fazer a junção das placas matrizes com o núcleo impresso, para fazer tal união foi utilizada Redelease Resina Epóxi Transparente 2001 (0,670 Kg) com Endurecedor 3154 (0,330 Kg), ambos fornecidos pelo Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade do Estado do Amazonas. A proporção mássica utilizada obedeceu às recomendações do fabricante da resina, sendo 100% de resina para 50% de endurecedor (2:1), utilizando 80g de resina para 40g de endurecedor, adicionado também 3g de anti-bolhas (Redelease SILADIT-53 FR 0,100ml), totalizando 123g de resina. Após o preparo foi feita homogeneização da resina durante 15 minutos. Posteriormente, foi feito o preenchimento de uma face da matriz com a resina preparada. Para a resina não escorrer foram colados papéis com largura de 10mm nas laterais da matriz.



Figura 27- 1) Bordas de papel de 10mm na matriz de juta; 2) Bordas de papel de 10mm na matriz de sisal

Fonte: Autor



Figura 28 - 1) Matriz de juta preenchida com resina; 2) Matriz de sisal preenchida com resina

Fonte: Autor

O honeycomb foi colocado de forma centralizada sobre da matriz e colocado um peso sobre o honeycomb. A cura foi obtida após 24 horas a temperatura ambiente, os papéis foram retirados da lateral e as bordas passando por uma etapa de acabamento superficial sendo lixadas a fim de melhorar o acabamento superficial. Essas etapas foram feitas nas quatro lâminas envolvidas nesse estudo, resultando no produto final: a estrutura sanduíche. Após a fabricação as estruturas resultantes ficaram passaram pela estufa à 60°C por 6 horas e descansaram por cerca de 24 horas em temperatura ambiente.

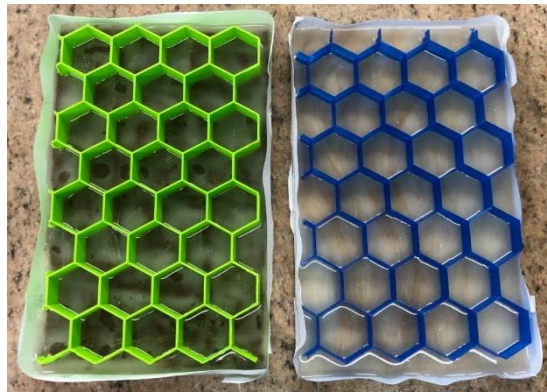


Figura 29 - Honeycombs posicionados de forma centralizada nas matrizes

Fonte: Autor

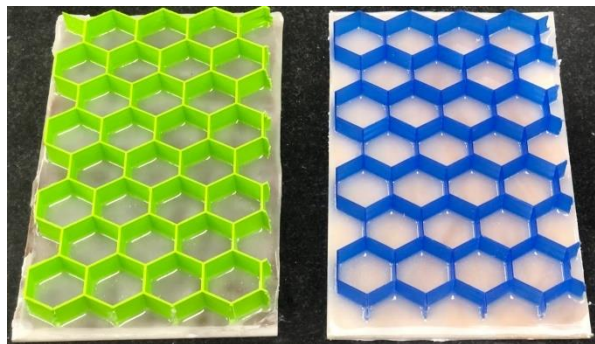


Figura 30 - Matrizes unidas aos honeycombs após a cura

Fonte: Autor

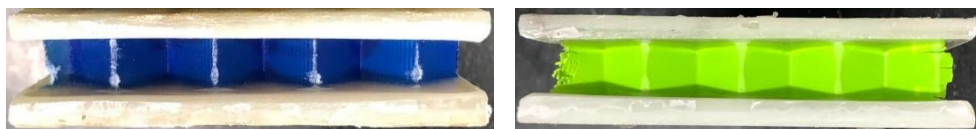


Figura 31 - 1) Estrutura sanduíche de matriz de sisal com núcleo de PLA; 2) Estrutura sanduíche com matriz de juta com núcleo de ABS

Fonte: Autor

3.2.3 Flexão em 3 Pontos

Os ensaios de flexão são pertinentes no caso de estruturas sanduíche, isto porque o objetivo deste tipo de construção é precisamente obter uma estrutura de elevada rigidez à flexão com reduzido acréscimo de massa.

Estes ensaios ocorreram no laboratório de ensaios mecânicos do departamento de Engenharia de materiais e foi usada uma Instron® 5984 (Figura 27).

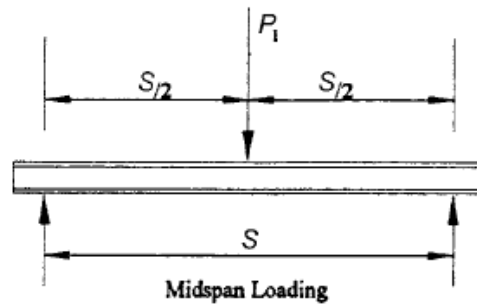


Figura 32 - Instron® 5984

Fonte: Autor

Seguiu-se o método da norma de ensaio ASTM C393/393 M (ASTM 2000), e usou-se configuração com distância de 200 mm entre os centros dos roletes inferiores para o ensaio em 3 pontos (ASTM 2000, 2006). Esta norma salienta ainda a importância da presença de pequenas peças que permitem distribuir a carga evitando indentação, colocadas entre os roletes da máquina e os provetes.

O procedimento dos ensaios consistiu em colocar o provete na zona de carga, posicionando-o simetricamente os apoios (Figura 28) (ASTM 2000). O rolete superior foi encostado à face superior do provete, e foi centralizado para iniciar o ensaio.



(a) 3-Point Loading (Standard Configuration)

$P/2$

$P/2$

Figura 33 - Posicionamento do provete nos suportes para ensaios de flexão de 3 pontos segundo a norma ASTM C 393 / 393 M (ASTM 2006, 2000).

Foram realizados 2 ensaios, um para cada sanduíche a uma velocidade de 5 mm/min até a ruptura dos provetes (ASTM 2000).

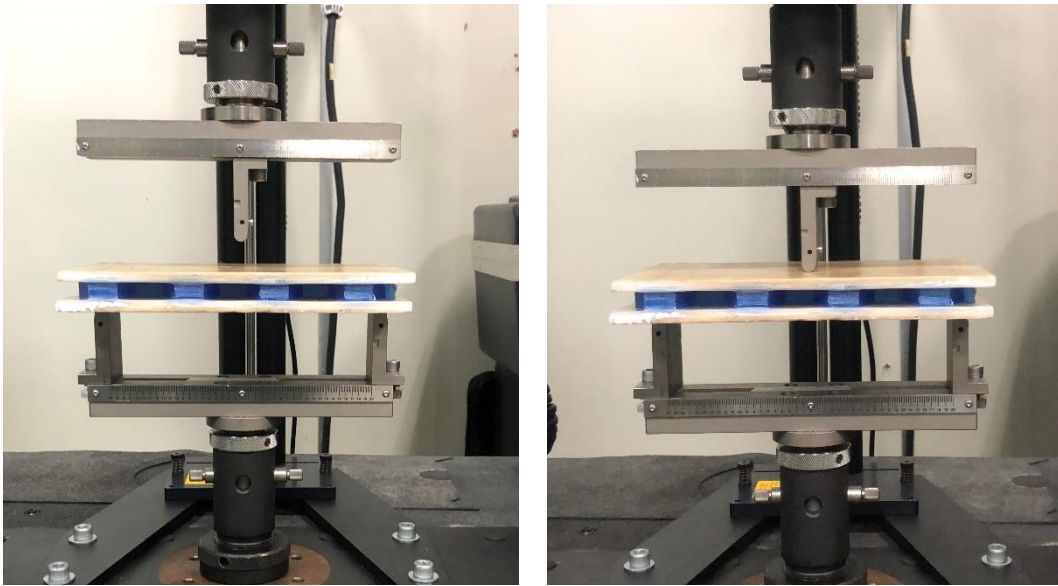


Figura 34 - 1) Posicionamento do provete sobre os roletes; 2) Início do ensaio na estrutura de sisal e PLA.

Fonte: Autor

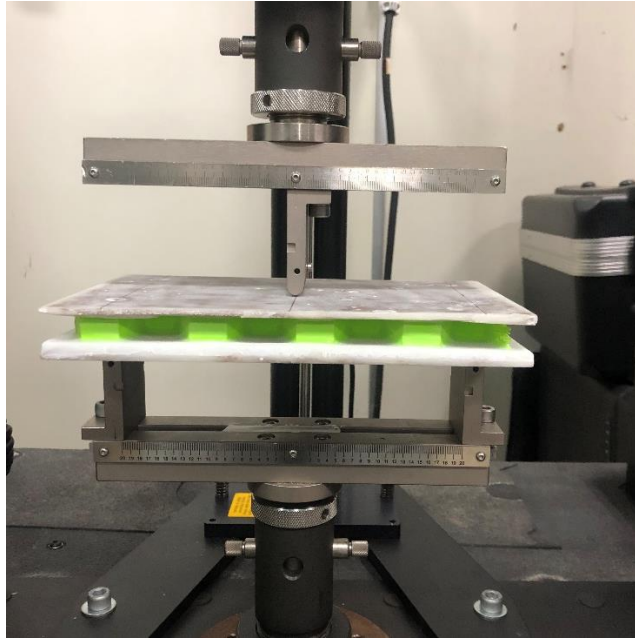


Figura 35 - Início do teste na estrutura de juta e ABS

Fonte: Autor

4 ANÁLISE E INTERPRETAÇÃO DOS RESULTADOS

Para os ensaios realizados, foram observadas diferentes características entre as duas estruturas sanduíche. Para ambos os casos, o ensaio foi realizado até a ruptura do material, sendo possível obter:

- Carga máxima (N);
- Tensão à flexão em carga máxima (Mpa);
- Carga de ruptura (kgf);
- Deformação à flexão (%).

Estrutura sanduíche sisal com PLA

Para a estrutura sanduíche composta de matriz de sisal e núcleo de PLA, a estrutura rompe logo (Figura 31) no início sem que haja grandes deslocamentos, resultado de um material rígido. Apesar da matriz ser composta por fibra vegetal que naturalmente apresenta bons parâmetros para a flexão, o núcleo de PLA torna a estrutura sanduíche frágil, pois o honeycomb acaba se tornando muito rígido e quebradiço.

Na Figura 32, podemos ver claramente que houve ruptura justamente no honeycomb, com a matriz apresentando uma estrutura intacta em relação a qualquer tipo de ruptura ou deformação plástica.

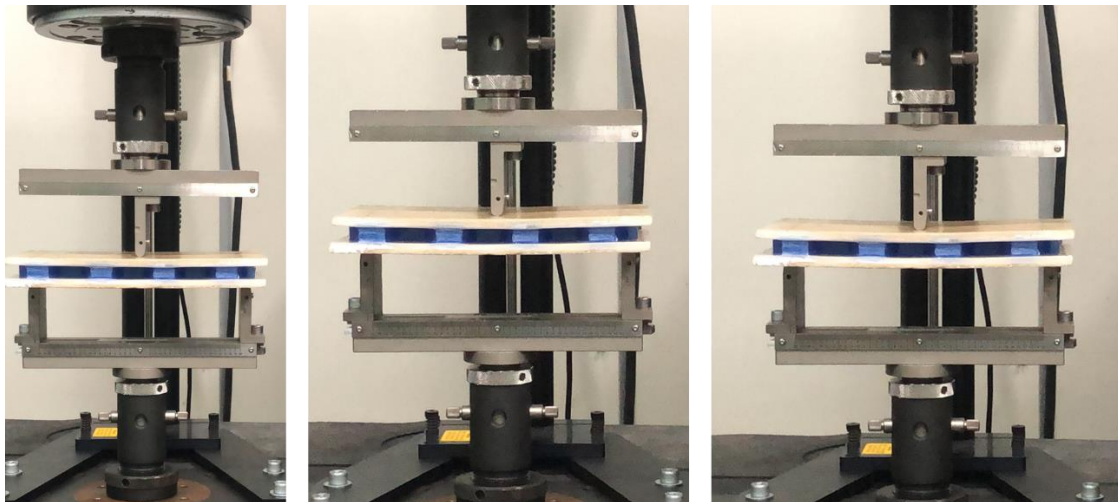


Figura 36 - 1) Início do ensaio; 2) Aplicação da carga; 3) Ruptura

Fonte: Autor

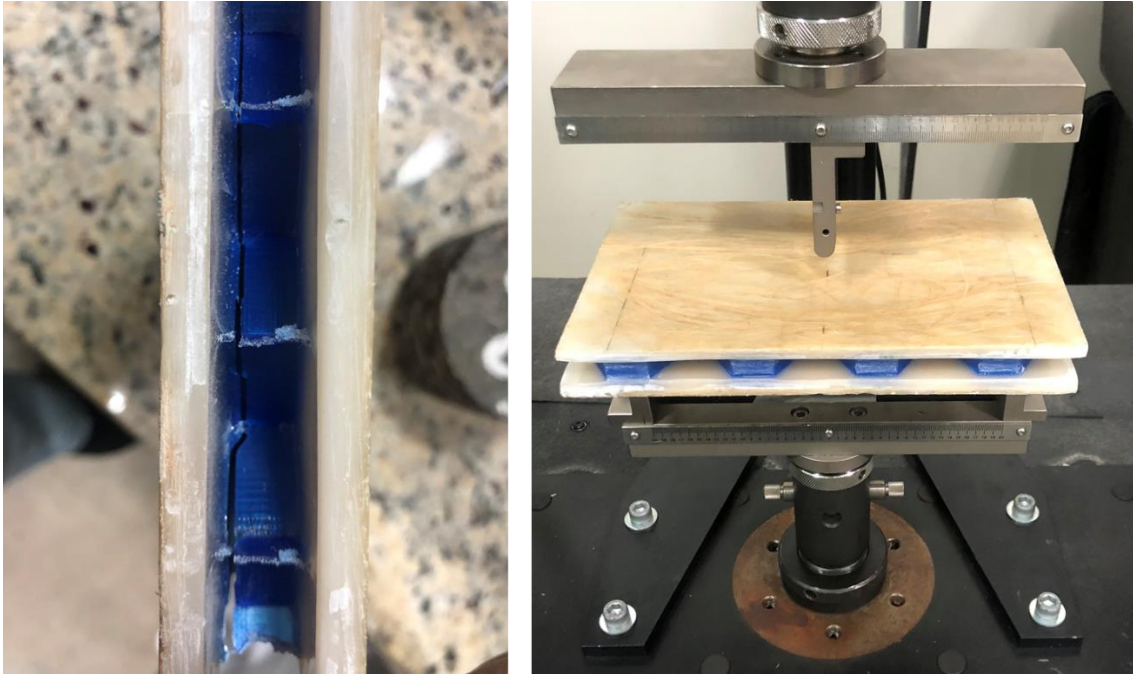


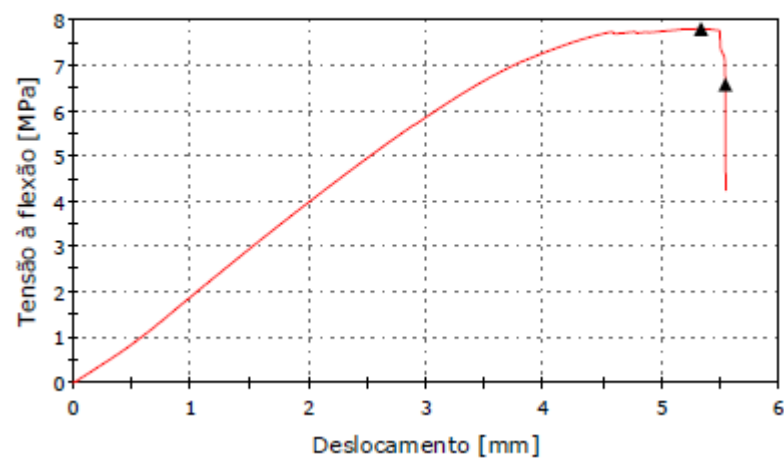
Figura 37 - Ruptura do Honeycomb ; Matriz, sem características de ruptura

Fonte: Autor

Os dados obtidos através do ensaios podem ser verificados no gráfico 1, e as informações abaixo.

- Carga máxima (N) = 4813, 73 N
- Tensão à flexão em carga máxima (Mpa) = 7,81 MPa
- Carga de ruptura (kgf) = 413,7 kgf
- Deformação à flexão (%) = 2,22%

FIBRA DE SISAL COM PLA



Legenda:

— Curva Tensão x
Deslocamento

Gráfico 1 - Tensão x deslocamento Fibra de Sisal com PLA

Fonte: Autor

Como podemos ver no gráfico 1, ao receber a carga o deslocamento é pequeno, chegando rapidamente a ruptura.

Estrutura sanduíche juta com ABS

Para a estrutura sanduíche composta de matriz de juta e núcleo honeycomb de ABS, o ensaio mostrou que a estrutura resiste bem antes de romper, apresentando um elevado deslocamento (Figura 33), como de um material tenaz, que suporta carga sem romper rapidamente.

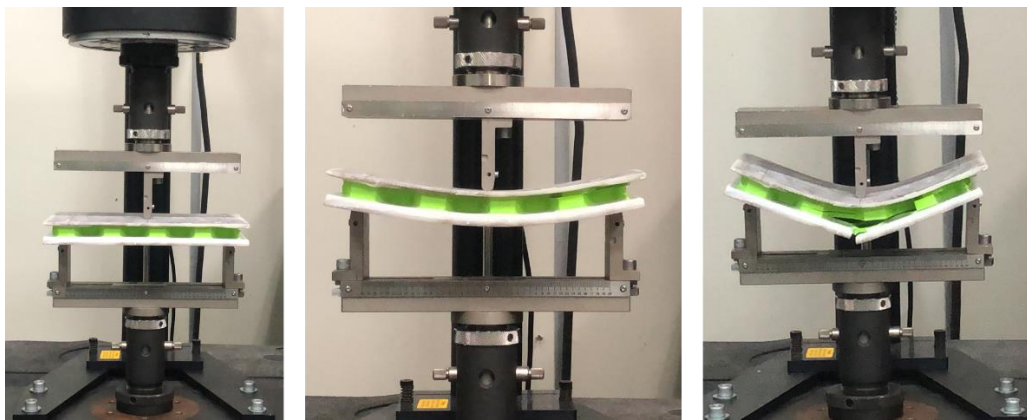


Figura 38 - 1) Início do ensaio; 2) Aplicação da carga; 3) Ruptura

Fonte: Autor

Como pode ser vista na Figura 33, a estrutura se comporta bem diante da aplicação da carga, apresentando um elevado deslocamento que ocorre em toda a estrutura, tanto na matriz como no núcleo de Honeycomb. Pode ser visto ainda na Figura 34, que toda a estrutura se rompe, demonstrando uma homogeneidade no resultado obtido pela estrutura sanduíche.

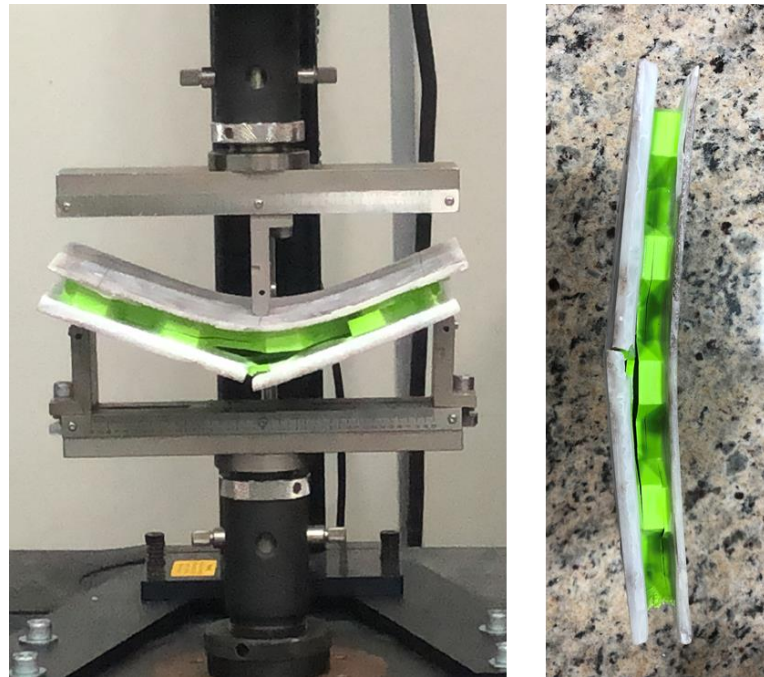


Figura 39 - Estrutura após a ruptura.

Fonte: Autor

Os dados obtidos através do ensaios podem ser verificados no gráfico 2, e as informações abaixo.

- Carga máxima (N) = 2145,22 N
- Tensão à flexão em carga máxima (Mpa) = 3,49 MPa
- Carga de ruptura (kgf) = 28,81 kgf
- Deformação à flexão (%) = 12,80 %

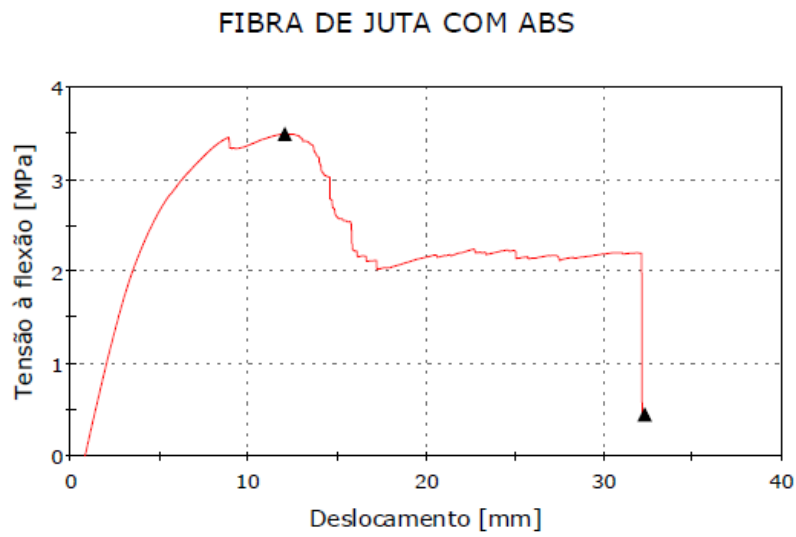


Gráfico 2 - Tensão x Deslocamento Fibra de juta com ABS

Fonte: Autor

Através do gráfico 2, podemos ver claramente o quanto de deslocamento há ao longo da aplicação da carga, suportando muito bem o esforço aplicado, rompendo somente depois de está muito flexionado.

CONCLUSÃO

A elaboração deste trabalho teve como objetivo a criação de um compósito em sanduíche com núcleo honeycomb em material impresso e matriz de fibras vegetais, e a sua caracterização. O sisal e a juta, são materiais naturais que provém da flora brasileira e são extraídos para confecção de artesanatos. As fibras vegetais contribuem diretamente na renda de pequenos produtores, e desenvolvendo tecnologias que envolvam as fibras vegetais poderá trazer vantagens para a economia dessas pessoas. Além disso, as fibras vegetais não poluem o ambiente na sua obtenção, fazendo destes materiais uma opção interessante e inovadora do ponto de vista do desenvolvimento sustentável, alinhado com a utilização de material impresso.

De forma geral, as fibras vegetais são um material leve, elástico e com facilidade de manuseio, além de fornecer resistência quando combinadas com outros materiais como reforço.

As estruturas em forma de favo de abelha ou honeycomb são porosas e têm como objetivo, diminuir a densidade de um dado material, contribuindo para o seu baixo peso. Os honeycombs são importantes, não só do ponto de vista da redução de peso, como de isolamento e absorção energética. Estes são geralmente usados sob a forma de núcleos de sanduíches e permitem aumentar significativamente a inércia da estrutura sem acréscimo significativo de peso. As sanduíches são vulgarmente compostas por duas matrizes finas coladas nas faces do núcleo, e que apresentam comparativamente a esse, muito maior resistência. Numa sanduíche sujeita à flexão, o núcleo tende a suportar sobretudo esforços de corte e as matrizes são sujeitas a esforços de tração e compressão. Mediante as propriedades do honeycomb este pode ser usado nas mais diversas aplicações, nomeadamente em camuflagem de aeronaves, partes estruturais de automóveis, entre outros.

No que concerne aos ensaios de flexão a 3 pontos, estes permitiram determinar propriedades mecânicas como a carga máxima, tensão à flexão, carga de ruptura e deslocamento. Os resultados permitiram concluir que para os dois casos analisados - ambos com materiais inovadores, já que envolve a utilização de um núcleo com material impresso - as propriedades encontradas são satisfatórias. Onde a estrutura com matrizes de juta e núcleo de ABS se sobressaiu em relação a estrutura com matriz de sisal e núcleo de PLA, pois apresentou propriedades de um material mais tenaz, suportando elevado esforço e sofrendo deformação, ao contrário do outro que apresentou propriedade de um material rígido e frágil. Sendo então um comparativo direto, a estrutura sisal com ABS suporta 44,5 % da carga máxima suportada pelo outro material, na mesma proporção apresenta 44,7% menor tensão à flexão, 93% menor com a carga de ruptura e 83 % maior em relação ao deslocamento. Apesar de

suporta maior esforço, a estrutura sisal com PLA rompe muito rapidamente, sendo então a estrutura de juta com ABS uma boa alternativa de material de compósito de estrutura sanduíche, podendo ser aperfeiçoado e otimizado para aplicação comuns futuramente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, R.T. (2008) Embrapa Cerrados celebra centenário da imigração japonesa. *Cerrados Informa*. Planaltina, v. 9, n. 88, p. 2.

ARAÚJO, C. R. (2003) “Cinética de Decomposição Térmica de Compósitos Poliméricos com Fibras de Curauá”, *Tese de Doutorado, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro*, Brasil.

AGARWAL, B.D.; BROUNTMAN, L.J. (1990) *Analysis and Performance of Fiber Composites*, Nova York: John Wiley & Sons.

BALDISSERA, Adelina. **PESQUISA-AÇÃO: uma metodologia do “conhecer” e do “agir” coletivo**. 2001. *Sociedade em Debate*, Pelotas, 7(2):5-25.

CALLISTER JR., W.D. **Ciência e engenharia de materiais: uma introdução**. Tradução de S.M.S. Soares. 7. ed. Rio de Janeiro, RJ: Livros Técnicos e Científicos, 2008. Único. 705 p. ISBN 978-85-216-1595-8.

CALDAS, Bruno Gomes Silveira. **Estrutura sanduíche de matriz poliéster reforçado com tecido de sisal conformado por infusão a vácuo**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia ambiental Urbana) Universidade Federal da Bahia, UFB, 2014.

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.

DAVALOS, J.F.; QIAO, P.; FRANK XU, X.; ROBINSON, J.; BARTH, K.E. Modeling and characterization of fiber-reinforced plastic honeycomb sandwich panels for highway bridge applications. *Composite Structures*, v. 52, n. 3–4, p. 441-52, 2001.

DUTRA, J.R.; SILVEIRA, M.E.; CHRISTOFORO, A.L.; SANTOS, J.C.; CARVALHO, S.S.; RIBEIRO FILHO, S.L.M. Estudo numérico com emprego de elementos finitos na simulação de material compósito com núcleo honeycomb. In: XII CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA E INDUSTRIAL e 2º CONGRESSO DE ENGENHARIAS DA UFSJ. São João del Rei, 2012.

FINKLER, M.; SCAPINI, P.; FREIRE, E.; ZATTERA, A.J.; ZENI, M. Compósitos de HDPE com resíduos de fibras têxteis. Parte I: Caracterização Mecânica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, São Carlos, v.15, n.3, p.171-175, 2005.

FIEDLER, T.; ÖCHSNER, A. Experimental analysis of the flexural properties of sandwich panels with cellular core materials. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik*, v. 39, n. 2, p. 121-4, 2008.

GARAY, André Cechin. **Efeito da adição de carbonato de cálcio em compósitos poliméricos moldados por rtm e rtm light**. 2010, 92p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, 2010.

GIBSON, R. F. **Principles of composite Material mechanics**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011, e.3, 683p.

GIL, Antonio C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4.ed. São Paulo: Atlas, 2002.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais I**. Russell Charles Hibbeler ; tradução Arlete Simille Marques ; revisão técnica Sebastião Simões da Cunha Jr. 7. ed. - São Paulo : Pearson Prentice Hall, 2010

HIBBELER, R. C. **Resistência dos Materiais**. 5ª ed. PEARSON, 2005

HOMMA, A. K.O. (2005) Amazônia: como aproveitar os benefícios da destruição? *Estudos Avançados, São Paulo*, v. 54, n. 19, p. 115-135.

JOHN, M.J.; ANANDJIWALA, R.D. Recent developments in chemical modifications and characterization of natural fiber reinforced composites. *Polymer composites*, v.29, n.2, p.187-207, 2008.

JOHN, M. J.; THOMAS, S.; Biofibers and biocomposites. *Carbohydrate Polymers*, v.71, p.343–364, 2008.

JOSHI, S.V.; DRZAL, L.T.; MOHANTY, A.K; ARORA, S. Are natural fiber composites environmentally superior to glass fiber reinforced composites? *Composites Part a: Applied Science and Manufacturing*, v.35, n.3, p.371 – 6, 2004

KALIA, S.; KAITH, B.S.; KAUR, I. Pretreatments of natural fibers and their application as reinforcing material in polymer composites: a review. *Polymer Engineering & Science*, v.49, n.7, p. 1253-1272, 2009.

KARNAN, R; KRISHNAN, M; NARAYA, R. Biofiber-reinforced polypropylene composites. *Polymer Engineering and Science*, v.37, n.2, p. 476-83, 1997

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. de A. **Fundamentos da metodologia científica** . 5.ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LEÃO, Mirtânia Antunes. **Fibras de licuri: um reforço vegetal alternativo de compósitos poliméricos**. 2008, 109p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Rio Grande do Norte, UFRN, Natal, 2008.

MAFALDA, Rovilson. CORREA, Ana Magda Alencar. **Projeto para manufatura e montagem: uma prática de aprendizagem baseada em projetos**. *Revista Educação Gráfica*, V.20 – N°. 01, 2016 .

MENDONÇA, P. T. R. **Materiais compostos e estruturas sanduíche: Projeto e análise**. Barueri: Manole, 2005. 632p.

MYLSAMY, K.; RAJENDRAN, I. Influence of alkali treatment and fiber length on mechanical properties of short Agave fiber reinforced epoxy composites. *Material & Design*, v.32, n.8-9, p.4629-40, 2011.

MOTHE, C.G., ARAUJO, C.R., OLIVEIRA, M.A., YOSHIDA, M.I. (2002) Thermal decompositions kinetics of polyurethane composites with bagasse of sugar cane, *J. Thermal Analysis and Calorimetry*, v. 67, p. 305-312.

MOHANTY, A.K.; MISRA, M.; HINRICHSEN, G. Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: an overview. **Macromolecular Materials and Engineering**, v. 276-7, n. 1, p. 1-24, 2000.

NETO, J. R. A., CARVALHO, L. H., ARAÚJO, E. M. (2007) “Influência da Adição de uma Carga Nanoparticulada no Desempenho de Compósitos Poliuretano/Fibra de Juta”, *Polímeros: Ciência e Tecnologia*, vol. 17, nº 1, p. 10-15.

OLIVEIRA, Ana Maria Ricl da Silva. **Caracterização da fibra de licuri (*Syagrus coronata* (Martius) Beccari) para aplicações na construção civil**. 2010, 156p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) Universidade Federal da Bahia, UFBA, Salvador, 2010.

PANDEY, J.K.; AHN, S.H.; LEE, C.S.; MOHANTY, A.K.; MISRA, M. Recent Advances in the Application of Natural Fiber Based Composites. *Macromolecular Materials and Engineering*, v.295, n.11, p.975-89, 2010.

PAHL, G. et al. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.

PRODANOV, Cleber Cristiano; FREITAS, Ernani C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. – Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

RAMIRES, Elaine Cristina. **Biocompósitos a partir de matrizes poliméricas baseadas em lignina, tanino e glioxal reforçadas com fibras naturais**. 2010, 277p. Tese (Doutorado em Ciências (Físico-química)) Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, USP, São Carlos, 2010.

RANA, A.K.; MANDAL, A.; BANDYOPADHYAY, S. Short jute fiber reinforced polypropylene composites: effect of compatibiliser, impact modifier and fiber loading. **Composites Science and Technology**, v. 63, n.6, p.801-806, 2003.

REZENDE, Mirabel C. **Fractografia de Compósitos Estruturais**. *Polímeros: Ciência e tecnologia*, vol. 17, nº 3, São José dos Campos, Sp, 2007.

RICHARDSON, Roberto Jarry. **Pesquisa social: métodos e técnicas**. São Paulo: Atlas, 1999.

RODRÍGUEZ, E.; PETRUCCI, R.; PUGLIA, D.; KENNY, J.M.; VÁSQUEZ, A. Characterization of composites based on natural and glass fibers obtained by vacuum infusion. *Journal of Composite Materials*, v.39, n.3, p.265-82, 2005.

SILVA FILHO, L. C. P.; GARCEZ, M. R. Compósitos de engenharia de matriz polimérica. In: **Materiais de construção civil e princípios de ciência e engenharia de materiais**. São Paulo: IBRACON, 2007, v.2, p. 1423-1464.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Estera Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. Ed. Santa Catarina : Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. 2005.

SILVA, Humberto Sartori Pompeo. **Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras de curauá e híbridos com fibras de vidro**. 2010, 86p. Dissertação (Mestrado em Minas, Metalúrgica e de Materiais) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, 2010.

SREENIVASAN, V.S.; RAVINDRAN, D; MANIKANDA, V.; NARAYANASAMY,R. Influence of fiber treatments on mechanical properties pf short Sansevieria cylindrica / polyester composites. *Materials & Design*, v.37, p111-21, 2012

VAN DE WEYENBERG, I.; CHI TRUONG, T.; VANGRIMDE, B.; VERPOEST, I. Improving the properties of UD flax fiber reinforced composites by applying an alkaline fiber treatment. *Composites Part A: Applied Science ad Manufacturing*, v.37, n.9, p1368-1376, 2006.

VENTURA, 2009 – VENTURA, A. M. Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de Estruturas metálicas. *C.Tecn. Mat.*, Lisboa , v. 21, n. 3-4, p. 10-19, jul. 2009 . Disponível em <<http://www.scielo.mec.pt>>. acesso em 02 jun. 2017.