



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CAMPUS CARAÚBAS
CURSO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

MOACIR DE SOUZA VIEIRA JÚNIOR

**ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO ENTRE COMPÓSITOS
DE POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS**

CARAÚBAS - RN
2022

MOACIR DE SOUZA VIEIRA JÚNIOR

**ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO ENTRE COMPÓSITOS
DE POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
(UFERSA), como requisito para obtenção do
título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Orientadora: Daniely Formiga Braga Prof^a.
Dr^a.

Coorientadora: Rejane Ramos Dantas Prof^a.
Dr^a.

CARAÚBAS - RN
2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

J95a Junior, Moacir de Souza Vieira.
Análise comparativa da resistência à tração
entre compósitos de poliéster reforçados com fibras
naturais / Moacir de Souza Vieira Junior. - 2022.
57 f. : il.

Orientadora: Daniely Formiga Braga.
Coorientadora: Rejane Ramos Dantas.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Ciência e
Tecnologia, 2022.

1. Propriedades mecânicas. 2. Meio ambiente. 3.
Matriz. 4. Reforço. I. Braga, Daniely Formiga,
orient. II. Dantas, Rejane Ramos, co-orient. III.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Caraúbas
Bibliotecária: Dalvanira Brito Rodrigues
CRB: 15/700

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

MOACIR DE SOUZA VIEIRA JÚNIOR

**ANÁLISE COMPARATIVA DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO ENTRE COMPÓSITOS
DE POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS NATURAIS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Universidade Federal Rural do Semi-Árido
como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Defendida em: 25 / 11 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

**DANIELY FORMIGA
BRAGA:**

Assinado digitalmente por DANIELY FORMIGA
BRAGA: [REDACTED]
ND: CN=DANIELY FORMIGA BRAGA [REDACTED], OU=
UFERSA - Universidade Federal Rural Do Semi-Árido, O=
ICPEdu, C=BR
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização:
Data: 2022.11.28 09:38:42 -03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 12.0.2

Daniely Formiga Braga, Prof^ª. Dr^ª. (UFERSA)
Presidente

**Guymmann
Clay da Silva**

Assinado digitalmente por Guymmann Clay da Silva
ND: OU=UFERSA, CN=Guymmann Clay da Silva, E=
[REDACTED]
Razão: Eu sou o autor deste documento
Localização:
Data: 2022.11.28 09:43:59 -03'00'
Foxit PDF Reader Versão: 12.0.1

Guymmann Clay da Silva, Prof^ª. Dr^ª. (UFERSA)
Membro Examinador

**ROSILDA SOUSA
SANTOS:**

Assinado de forma digital por ROSILDA
SANTOS [REDACTED]
Dados: 2022.11.28 20:27:02 -03'00'

Rosilda Sousa Santos, Prof^ª. Dr^ª. (UFERSA)
Membro Examinador

AGRADECIMENTOS

À Deus, primeiramente, por me dar a vida, saúde, forças para buscar os meus sonhos e permitir que eu progredisse nessa caminhada ao lado de minha família juntamente com pessoas incríveis que não me deixaram desanimar no decorrer desse trabalho.

Aos meus pais, Moacir de Souza e Joana Darc, simplesmente por tudo! Aos quais devo tudo que sou e serei. Pelo amor, educação, paciência, apoio incondicional e por sempre me incentivarem a vencer na vida pelos estudos. A minha irmã, Jamile Souza, pela compreensão e bom humor nos momentos difíceis dessa jornada. Afinal, a toda minha família que presenciou essa etapa da minha vida. Amo todos vocês incondicionalmente.

À Profª Dra. Rejane Ramos Dantas pela orientação, perseverança, dedicação e por ter me dado o suporte necessário para a conclusão desse trabalho, com correções cautelosas seguidas de conselhos, ensinamentos e motivações constantes para que eu chegasse até aqui.

À esta universidade e aos seus professores, pelos ensinamentos, conhecimentos transmitidos e por me proporcionarem novas perspectivas.

Aos meus amigos ufersianos, Francisco Gekson e Weskley Rondinelle, que essa caminhada acadêmica me trouxe, os quais considero como irmãos. Pessoas especiais em minha vida.

À minha saudosa avó, Joana Baralho (in memória), pela pessoa incrível que foi em minha vida.

Por fim, agradeço aos meus tios, Alderi Rodrigues (in memória), Mozaniel Souza e Roberto Cruz, pelas energias positivas sempre transmitidas, me motivando na vida e no ramo acadêmico.

“Não importa quanto a vida possa ser ruim, sempre existe algo que você pode fazer, e triunfar. Enquanto há vida, há esperança.” (Stephen Hawking)

RESUMO

As questões ambientais preocupam cada vez mais a sociedade e a partir daí a pesquisa e o desenvolvimento de materiais provenientes de recursos renováveis e sustentáveis tem sido bastante motivado. O desenvolvimento de materiais compósitos poliméricos utilizando fibras naturais como reforço é crescente e vêm ocupando novos segmentos de mercado, devido ao baixo custo das fibras, biodegradabilidade, serem de fontes renováveis, não tóxicas e possuírem boas propriedades mecânicas. Estudos apontam o uso de fibras naturais como reforço para substituir as fibras sintéticas em materiais compósitos. Nesta pesquisa foram analisadas, de forma comparativa, as propriedades mecânicas (resistência à tração) destes compósitos, a partir de matrizes poliméricas, reforçados com fibras naturais que foram estudados através de ensaios normalizados de acordo com a ASTM D3039 (2017). A análise ocorreu nos compósitos de poliéster/eucalipto, poliéster/sisal, poliéster/malva, poliéster/bambu e poliéster/cânhamo, com 0 % de inserção de fibra e 30 % em peso de fibras contínuas e alinhadas e foram comparados ao compósito polimérico - poliéster/juta de Dantas (2004) com fibras tramadas. Os resultados entre os compósitos poliméricos analisados, o que obteve um melhor desempenho com 0 % de incorporação de fibras, foi o de juta/poliéster, trabalhado por Dantas (2004) e Cavalcanti (2000). Entretanto, quando se inseriu 30 % em peso de fibras, o desempenho mais satisfatório, entre os comparados, foi o do sisal/poliéster, seguidos dos compósitos poliméricos de poliéster/bambu e poliéster/malva desenvolvidos por Margem *et al.* (2017). Isso remete ao fato que, as fibras foram colocadas de forma alinhadas e orientadas no processo de elaboração dos compósitos poliméricos, já que o compósito polimérico poliéster/juta de Dantas (2004) foi produzido com tecido de juta tramado.

Palavras chave: Propriedades mecânicas. Meio ambiente. Matriz. Reforço.

ABSTRACT

Environmental issues are of increasing concern to society and since then the research and development of materials from renewable and sustainable resources has been highly motivated. The development of polymeric composite materials using natural fibers as reinforcement is increasing and has been occupying new market segments, due to the low cost of the fibers, biodegradability, being from renewable sources, non-toxic and having good mechanical properties. Studies point to the use of natural fibers as reinforcement to replace synthetic fibers in composite materials. In this research, the mechanical properties (tensile strength) of these composites were analyzed comparatively, from polymeric matrices, reinforced with natural fibers that were studied through standardized tests in accordance with ASTM D3039 (2017). The analysis took place on polyester/eucalyptus, polyester/sisal, polyester/mauve, polyester/bamboo and polyester/hemp composites, with 0 % fiber insertion and 30 % continuous and aligned fibers by weight, and were compared to the polymeric composite - polyester/jute from Dantas (2004) with woven fibers. The results among the analyzed polymeric composites, which obtained a better performance with 0 % of fiber incorporation, was the jute/polyester, worked by Dantas (2004) and Cavalcanti (2000). However, when 30 % by weight of fibers were inserted, the most satisfactory performance, among those compared, was that of sisal/polyester, followed by polymeric composites of polyester/bamboo and polyester/mauve developed by Margem *et al.* (2017). This refers to the fact that the fibers were placed in an aligned and oriented way in the elaboration process of the polymeric composites, since the polymeric composite polyester/jute by Dantas (2004) was produced with woven jute fabric.

Keywords: Mechanical properties. Environment. Headquarters. Reinforcement.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Classificação dos materiais.....	17
Figura 2	– Tipos de polímeros.....	19
Figura 3	– Demonstração de polímeros de ligações lineares, ramificadas e cruzadas	20
Figura 4	– Classificação dos compósitos segundo a disposição do elemento reforço.....	22
Figura 5	– Ilustração da formação do compósito com possíveis formações para as fibras.....	23
Figura 6:	– Comparação entre materiais convencionais e materiais compósitos, em relação às propriedades específicas.....	23
Figura 7	– Classificação dos reforços quanto à característica geométrica: (a)compósito particulado, (b) compósito fibroso, e (c) compósito laminado.....	26
Figura 8	– Representação esquemática dos compósitos reforçados com fase contínua e alinhada (a), descontínua e alinhada (b), e descontínua e aleatoriamente reforçadas com fibras orientadas (c).....	27
Figura 9	– Classificação das fibras.....	28
Figura 10	– Estrutura genérica das fibras naturais.....	28
Figura 11	– Fibras com potencial para reforço em compósitos de acordo com sua origem.....	30
Figura 12	– Estrutura química de polímeros termoplásticos (A) e termofíxos (B).....	32
Figura 13	– Processo de colheita (1) e secagem (2) das fibras de juta.....	35

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Compósito polimérico reforçado com a inserção de 30 % de fibra de juta.....	39
Gráfico 2	– Comparação entre os ensaios de tração de Dantas (2004) e Moraes <i>et al.</i> (2017)	44
Gráfico 3	– Comportamento das tensões de tração em relação aos percentuais incorporados.....	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Vantagens e desvantagens entre polímeros termoplásticos e termoendurecíveis.21

LISTA DE QUADROS

Quadro 1	–	Composição química, teor de umidade e ângulo microfibrilar de fibras vegetais.....	30
Quadro 2	–	Fibras e suas origens nas regiões das plantas	31
Quadro 3	–	Algumas das principais características do poliéster em geral.....	34
Quadro 4	–	Resultados dos ensaios no compósito de poliéster insaturado reforçado por tecidos híbridos de algodão/sisal.....	38
Quadro 5	–	Resistência à Tração de compósitos reforçados com fibras de malva.....	39
Quadro 6	–	Propriedades mecânicas do compósito.....	40
Quadro 7	–	Resistência a tração dos compósitos reforçados com fibras de sisal, bambu e malva.....	40
Quadro 8	–	Ensaio de resistência à tração para os compósitos de poliéster reforçados com fibras de eucalipto.....	40
Quadro 9	–	Dados coletados de cada compósito polimérico reforçado com inserção de 0 % e 30 % com fibras naturais pesquisado pelos autores.....	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ASTM	Sociedade Americana de Testes e Materiais
PET	Polietileno Tereftalato
MPa	Unidade de Megapascal
GPa	Unidade de Gigapascal

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	15
1. OBJETIVOS.....	16
2.1 Objetivo Geral.....	16
2.2 Objetivos Específicos	16
2. REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 – Materiais	17
3.1.1 - Metais	18
3.1.2 - Cerâmicas	18
3.1.3 – Polímeros	19
3.2 - Compósitos	21
3.2.1 - Matriz	24
3.2.2 - Reforço	25
3.2.2.1 - Fibras	27
3.3.1.1 - Resina poliéster	33
3.5 Propriedades dos materiais compósitos.....	36
3.4.1 - Resistência à tração	37
3. METODOLOGIA.....	41
4.1 Procedimento da análise	41
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	47
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	

1. INTRODUÇÃO

A evolução dos materiais nas civilizações, ao longo do tempo, foi marcada por etapas de desenvolvimento, que permitiu a criação de materiais compósitos, através de tecidos como o algodão, juta e o linho, marcando um grande avanço e suprimindo o uso de elementos com propriedades limitadas. Daí os compósitos acabaram ganhando espaço em diversos ramos, pela forma única de alcançarem componentes singulares que não perdem as suas propriedades distintas, difíceis de serem obtidos por um material individual (VENTURA, 2009).

No caso das fibras naturais, elas possuem relevante importância já que são renováveis, biodegradáveis e possuem natureza não cancerígena, além disso, devido à versatilidade dessas fibras, permite que sejam adequadas para diversos fins, inclusive para utilização em automóveis (ASIM *et al.*, 2015).

Segundo Satyanarayana *et al.* (2007); Monteiro *et al.* (2006), as fibras naturais, como a juta, possuem não só uma grande relevância, como também agradáveis aplicações em materiais de engenharia. Visto que apresentam propriedades mecânicas benéficas em consonância com vantagens relacionadas às fibras sintéticas, como: menos abrasividade, baixa densidade, propriedades não tóxicas, pouca densidade, além do baixo custo.

Dessa forma, o reforço das fibras naturais em materiais compósitos, acarreta em beneficiação não só a detalhes envolvendo os custos, como também, na parte social, envolvendo uma série de processos, realizados por mão de obra, que se envolvem algumas atividades como desfibramento de fibras, colheita, avaliações, plantação etc. Assim a análise comparativa da propriedade de tração, entre alguns compósitos com fibras naturais distintas, pode ter relevância no que se refere à implantação de futuros projetos ou execução de ensaios específicos envolvendo compósitos que contêm fibras naturais.

Fraxe e Ferreira (2018) relatam que nas últimas décadas é cada vez mais crescente a preocupação acerca dos problemas ambientais, assim abrindo espaço para a busca de componentes como as fibras naturais. Com isso, o cenário passou a ser promissor para essa categoria agrícola, uma vez que as fibras dessas plantas são biodegradáveis e o trabalho exercido é familiar, dessa forma, tratando-se de que se aproxima da ideia de sustentabilidade.

Este trabalho refere-se à combinação de matrizes poliméricas sintéticas de poliéster com fibras naturais com a finalidade de produzir materiais compósitos. E partir daí, fazer a comparação das propriedades mecânicas (resistência à tração) desses compósitos estudados.

1. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

- Realizar análise comparativa dos compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras naturais, com teor de fibras de 0 e ± 30 % em peso.

2.2 Objetivos Específicos

- Coletar dados da resistência à tração dos compósitos em artigos, monografias, teses e outros tipos de trabalhos;
- Analisar os dados bibliográficos dos ensaios de resistência à tração dos compósitos poliméricos de poliéster/sisal; poliéster/cânhamo; poliéster/malva e poliéster/eucalipto submetidos a ensaios normalizados pela ASTM D3039 (2017);
- Comparar com os compósitos (poliéster/juta) de matriz polimérica reforçados com fibras naturais estudados por Dantas (2004).

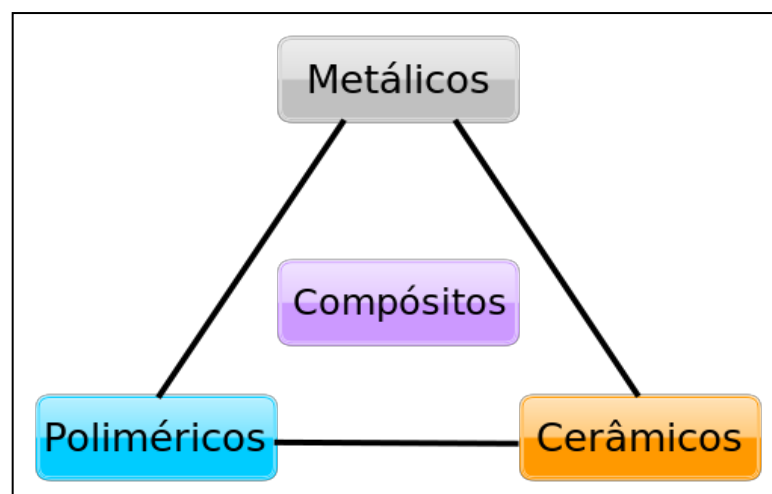
2. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 – Materiais

Segundo Moraes (2017), os materiais são substâncias com propriedades as quais permitem a sua utilização em máquinas, estruturas, dispositivos etc. Eles foram e ainda são de suma importância na evolução da sociedade. Nos primórdios da vida humana na terra, os materiais naturais, como argilas, madeira e pedras eram os predominantes. Dessa forma, com a progressão dos anos, a modernização e desenvolvimento de processos baratos para a fabricação do aço, permitiu a renovação e progresso da área manufatureira. A curiosidade seguidamente da necessidade de sobrevivência, levaram o homem a buscar melhorias em seu *habitat*, desse modo, muitas vezes de modo acidental, acabaram descobrindo alguns materiais como a cerâmica, que foi desenvolvida a partir do surgimento da argila, a qual era usada para armazenar alimentos e facilitar a locomoção de mercadorias. Logo depois, surgiram os materiais metálicos, utilizados em diversas aplicações atualmente, os quais são prata, ferro, ouro, bronze etc. Consequentemente, a evolução prevaleceu e continuou em progresso, sendo que em torno do ano 5000 a.C., eram criados, a partir das ligas e metais, objetos como carroças, embarcações, entre outros utensílios.

A forma mais conhecida de classificação dos materiais é a que engloba os seus principais tipos, sendo: metais, cerâmicas, polímeros e compósitos. A Figura 1 ilustra essa classificação:

Figura 1 - Classificação dos materiais



Fonte: Solidus Júnior (2021).

Pinheiro e Crivelaro (2018) afirmam que o processo de escolha de determinado material, para uso específico, passará não só pela experiência, como também pelos conhecimentos técnicos-científicos e ambientais possuídos. Nas últimas décadas tem se tornando frequente a discussão sobre o uso moderado dos recursos naturais, pois são finitos. Inicialmente descrevem-se os metais, seguido das cerâmicas, polímeros e finalmente dos compósitos.

3.1.1 - Metais

De acordo com Pires, Bierhalz e Moraes (2015), os metais destacam-se por demonstrar não só um ótimo desempenho mecânico, mas também uma alta resistência à fadiga e à fratura. Dessa forma, é um componente bastante usado em composições estruturais, com o intuito de reforçar, estabilizar ou até substituir os tecidos rígidos, os quais são frequentemente expostos a altas cargas de tração e compressão.

Morais (2017) declara que atualmente é possível destacar a utilização dos metais em diversas áreas, como em automóveis, produção de equipamentos, indústria de armas, construção civil, entre outras. Os metais puros e as ligas metálicas representam os materiais metálicos, onde os primeiros são maioria, sendo compostos por elementos metálicos da tabela periódica. Porém, para ser puro é necessário somente que haja um baixo teor de impureza, visto que é muito difícil obter um metal totalmente puro pelos meios atuais. Alguns exemplos podem ser o magnésio, cobalto, tungstênio, alumínio, ferro, cobre e titânio.

3.1.2 - Cerâmicas

Conforme Matencio (2020), quando se fala em materiais cerâmicos, podem vir à mente objetos como peças de construção, sendo tijolos, revestimentos de piso e parede, louça etc. Porém, o campo de componentes vai além disso, principalmente com o desenvolvimento ocorrido desde a metade do século XX, aplicando ideias de engenharia e melhorando suas aplicações no ramo. As cerâmicas naturais são produzidas a partir de materiais naturais, como o quartzo, argilas, feldspato etc; já as avançadas dispõem de propriedades químicas, físicas e mecânicas bem superiores às cerâmicas convencionais, como a alta dureza, elevada resistência mecânica, térmica, abrasão e corrosão; somado a isso, ainda possuem aplicabilidade na área da saúde, como as biocerâmicas, na estocagem e conversão de energia, como materiais eletrodos, eletrólitos, interconectores e selantes, indústria naval, automotiva,

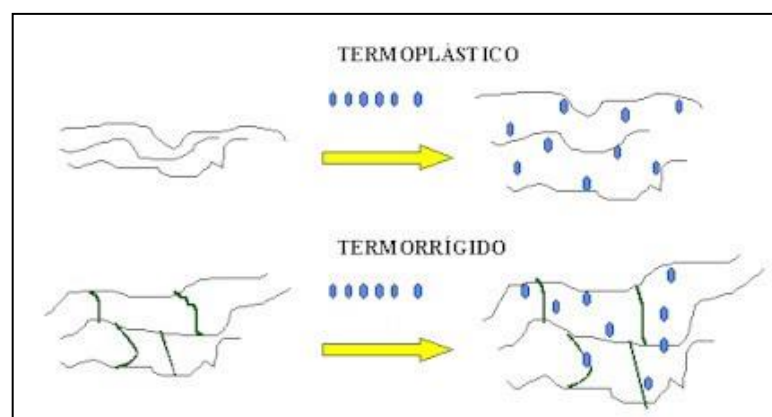
eletrodoméstica etc. Ademais, as mesmas não possuem silicatos e são fabricadas a partir de pós sintéticos de nitretos, carbetos, óxidos e borretos.

3.1.3 – Polímeros

Os polímeros são materiais como madeira, algodão, lã, seda, celulose, proteínas, amidos, entre outros derivados de origem animal e vegetal, utilizados no decorrer dos anos. O avanço da tecnologia permitiu a modernização dos dispositivos para exploração científica, assim possibilitando a formação de polímeros sintetizados de pequenas moléculas orgânicas como: borrachas, plásticos e fibras sintéticas; apresentando não apenas propriedades satisfatórias, como também, um baixo custo para a produção e, em alguns casos, superiores a alguns similares naturais (CALLISTER E RETHWISCH, 2016).

De acordo com Silva e Rabelo (2017), é possível afirmar que, desde os primórdios do século passado, o uso dos polímeros se tornou cada vez mais comum no planeta, substituindo outros materiais em virtude, não apenas, dos benefícios apresentados, mas também pelo vasto potencial de matéria prima encontrada na natureza, permitindo a sintetização e práticas experimentais com uma ampla variação de produtos visto que atualmente diversos objetos de uso comum tem algum tipo de polímero presente em sua composição em razão do destaque de suas propriedades químicas, físicas e alguns atributos como: elasticidade, resistividade a corrosão, flexibilidade, entre outras notórias características. A Figura 2 mostra uma ilustração das estruturas de dois tipos de polímeros.

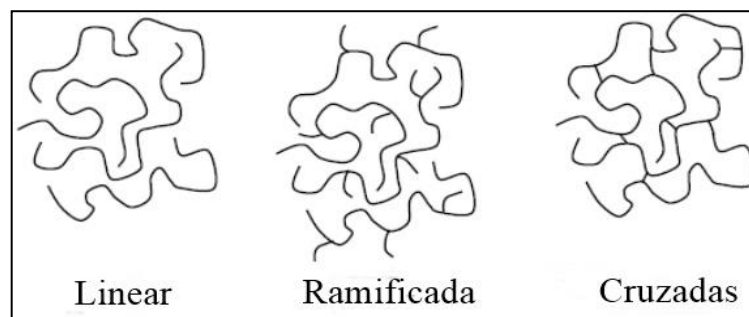
Figura 2 - Tipos de polímeros



Fonte: Rede Omnia (2022).

De acordo com Ito (2022), os polímeros são divididos em dois grupos: Termoplásticos e Termofixos. Os primeiros são materiais que se encontram em uma estrutura molecular de ligação linear ou ramificada. O mesmo, quando aquecido, obtém uma ótima trabalhabilidade, pois sua forma fica líquida e viscosa, podendo instaurar as suas características ao restabelecer a temperatura normal do material. Já os termofixos, dispõem de ligações cruzadas covalentes numa rede, sendo que uma vez realizada a ligação, o material não poderá ser processado novamente. Na Figura 3 são apresentados os tipos de ligações:

Figura 3 - Demonstração de polímeros de ligações lineares, ramificadas e cruzadas



Fonte: Adaptado de Ito (2022).

Segundo Marinucci (2011), os termoplásticos, que possuem atributos fundamentais, fazem parte da classificação dos polímeros. Um dos atributos é a capacidade de se converterem em um material fluido, sem que percam suas propriedades, no momento em que são expostos a uma alta temperatura; já quando submetidos ao frio, o mesmo é endurecido, se solidificando. Com isso, é possível remodelar o material com facilidade, indeterminadas vezes.

Já os termofixos também são polímeros, mas, diferentemente dos termoplásticos, não é possível a realização de modificações em sua forma e, além disso, são incapazes de serem reciclados depois de o material ser endurecido. Desse modo, possuem boa trabalhabilidade somente no momento de sua fabricação, assim, sendo impossível a sua remodelagem depois da solidificação. Entretanto, a sua utilização é alta na fabricação de materiais compósitos, visto que o polímero apresenta excelentes propriedades mecânicas, no que se refere ao baixo custo, módulo de elasticidade, boa interação com os reforços etc. O poliéster, éster vinílico e epóxi são alguns dos polímeros termorrígidos mais usados (GOMES, 2015).

É possível afirmar que, as matrizes termofixas, como os poliésteres não saturados, fenólicos e epóxis, juntamente com os termoplásticos como polietilenos e polipropilenos, são utilizados abrangentemente nos compostos com fibras naturais. Todavia, possuem

características físicas e químicas diferentes, assim como sua reatividade com a superfície das fibras. A Tabela 1 demonstra um pouco das vantagens e desvantagens fundamentais de cada tipo de matriz supracitada.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens entre polímeros termoplásticos e termoendurecíveis

	Vantagens	Desvantagens
Termoplásticos	- Reciclável - Fácil de reparar por soldagem ou por solventes - Pode ser remodelado - Resistente	- Baixo ponto de fusão - Precisa ser aquecido acima do ponto de fusão para ser processado
Termoendurecíveis	- Baixa viscosidade - Bom umedecimento em fibras - Excelente estabilidade térmica pós polimerizados	- Frágil - Não reciclável por técnicas convencionais - Não modelável após cura

Fonte: Kabir, Wang, Lau (2012).

Nesse sentido, a união de materiais é uma ideia que evolui no decorrer do tempo, no que se refere a busca por um elemento superior. Desse modo, segundo Carvalho (2020) esse conceito, de combinar diferentes materiais em apenas um, resultando em um superior com características mistas ou aprimoradas, ficou popularmente denominado de compósito. Sendo que, conforme Almendro (2018), a junção irá gerar um resultado que não seria possível obter nos materiais separadamente, que são os compósitos.

3.2 - Compósitos

De acordo com Pardal (2019), os compósitos se originam da junção de dois ou mais artefatos não solúveis entre si, sendo a classificação dos produtos, denominados como reforço e matriz respectivamente, entretanto, no resultado final, os mesmos terão atributos distintos, uma vez que os elementos de reforço são responsáveis pela resistência mecânica, física e química do compósito. Já a matriz, destina-se a preservar o material do meio externo, mantendo a proteção do reforço durante o manuseio.

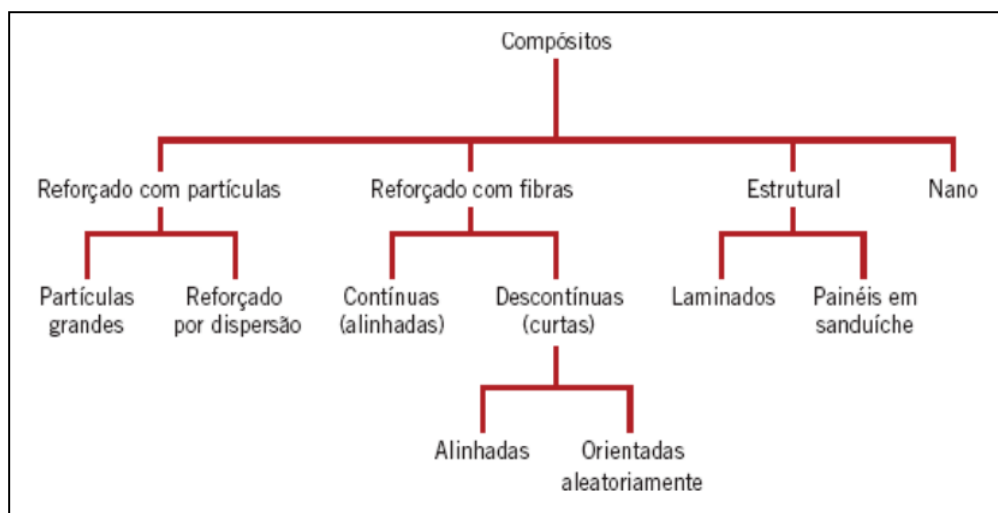
O conceito de unir materiais diferentes para a formação de um único surgiu em razão da exigência de se ter uma qualidade excelente em um material, sendo que os requisitos

necessários, para chegar a esse resultado, são extensos e, só poderiam ser atendidos com a união de elementos. Essa concepção é denominada de compósito, com o intuito de satisfazer as necessidades impostas, de modo que, com o desenvolver dos anos, avanço de tecnologia e surgimento de novos materiais, é normal que haja uma preferência por elementos mais leves e resistentes. Portanto, ao unir os dois materiais, que se formará o compósito com propriedades e desempenho mecânico superiores aos itens separados e com isso, contribui-se constantemente para o desenvolvimento de materiais (REDDY E MIRAVETE (1995); CHAWLA, 2013).

Os compósitos podem ser divididos em três classes gerais, sendo elas: compósitos carregados com partículas, também chamados de compósitos particulados. Compósitos carregados com fibras descontínuas, sendo que essas fibras podem ser unidirecionais ou dispostas aleatoriamente e compósitos carregados com fibras contínuas que também podem ser fibras contínuas unidirecionais, bidirecionais ou multidirecionais (BARRA, 2010). Os principais tipos de compósitos estão ilustrados na Figura 4.

De acordo com Gontijo (2018), os materiais compósitos normalmente são especificados de acordo com o que o autor descreve, não havendo uma classificação oficial. Callister e Rethwisch (2016) relatam que os compósitos são agrupados a partir da função do tipo de matriz e de acordo com a origem do elemento reforço, como mostra a Figura 4.

Figura 4 - Classificação dos compósitos segundo a disposição do elemento reforço

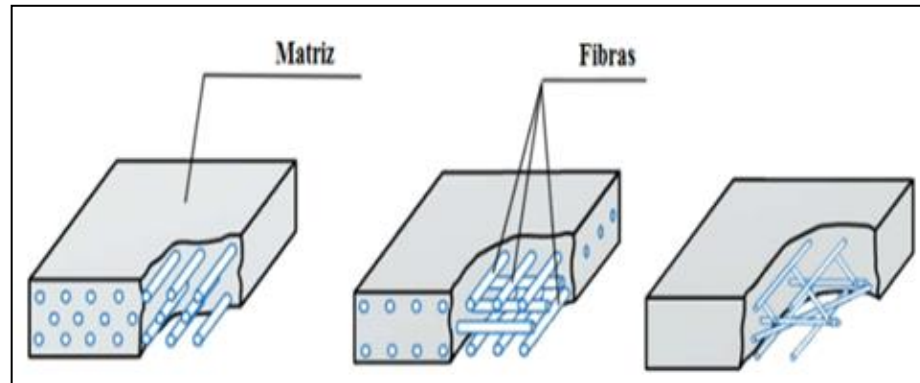


Fonte: Callister e Rethwisch (2016).

Segundo Chung (2010), esses materiais tem bastante variabilidade, podendo ser combinados de diversas formas, adaptando propriedades, elementos, cristalinidade, rugosidades, distribuições, sempre ajustando a conexão entre os componentes. A Figura 5

representa um esquema sanduíche da formação do compósito, o qual é composto pela matriz composta por, em seu interior, fibras que demonstram o reforço, organizadas de formas contínuas e aleatórias.

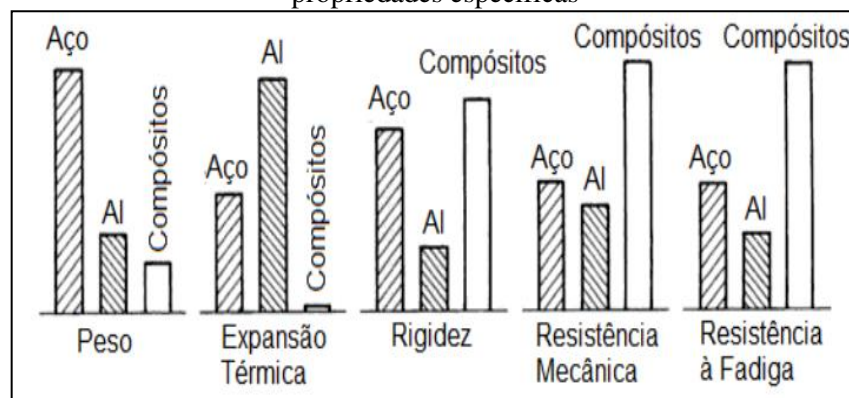
Figura 5 - Ilustração da formação do compósito com possíveis formações para as fibras



Fonte: Biscainho (2017).

De acordo com Fontes (2013), a analogia entre dois materiais compósitos pode trazer algumas respostas, no que se refere às propriedades mais relevantes entre os convencionais e os de matriz polimérica. O desfecho mais relevante infere que a análise da comparação dos materiais compósitos com os convencionais, resulta em alguns tipos do primeiro possuindo propriedades específicas superiores ao segundo como, por exemplo, os metais, referente aos convencionais, ou os materiais poliméricos que são compostos por matriz e reforço, sendo, de acordo com Antunes (2021), influenciados pelas suas construções e composição de suas camadas moleculares. A ilustração da Figura 6 nos mostra em detalhes essa análise.

Figura 6 - Comparação entre materiais convencionais e materiais compósitos, em relação às propriedades específicas



Fonte: Fontes (2013).

De acordo com Pinheiro e Crivelaro (2018), os dois tipos de materiais que constituem um compósito são conhecidos como matriz e reforço, sendo o primeiro, além de ser responsável em proteger as fibras do ambiente externo, preenche os espaços vazios localizados entre os materiais de reforço, concedendo estrutura ao compósito, e o segundo, são os que elevam as propriedades do compósito.

3.2.1 - Matriz

Em um material compósito polimérico uma fase é constituída por um polímero (chamado de matriz) e uma carga dispersa que, geralmente, atua como reforço. A matriz une as fibras, conservando a sua disposição geométrica, bem como as protegendo do ambiente exterior, é uma fase contínua a qual suporta e protege o reforço. Atua também transferindo as tensões impostas para a fase reforço, além de ser quase sempre dominante na escolha da temperatura de processamento dos compósitos. A fase dispersa está localizada distribuída na matriz, geralmente é mais rígida e resistente, por isso atua como um reforço à matriz polimérica (NETO, 2006).

Além de unir as fases dispersas e transportar as cargas aplicadas entre as mesmas, a matriz também tem a função de:

- realizar a proteção do reforço de um ambiente externo agressivo, e possíveis avarias geradas por produtos químicos, temperatura, umidade, etc.;
- transferir as forças de corte interlaminar;
- aprimorar as propriedades transversais dos compósitos;
- aperfeiçoar a resistência à fratura e ao impacto do compósito;
- manter a localização e orientação adequadas das fibras, na circunstância de compósitos fibrosos.

De acordo com Groover (2010) é possível, através do tipo de material de sua fase matriz, classificar os compósitos, sendo:

- compósitos de matriz cerâmica: pertencendo a categoria menos comum;
- compósitos com matriz metálica: que misturam a uma matriz metálica, os carbonetos cimentados, cerâmica, alta rigidez, fibras fortes e outros metais;
- compósitos de matriz polimérica: possuem os polímeros mais usados na categoria, que são as resinas termoendurecíveis. Os termoplásticos como matriz são utilizados geralmente após, como fase dispersa. Já o epóxi e poliéster são frequentemente unidos com reforços de fibra.

As matrizes poliméricas podem ser classificadas em dois tipos: termoplásticas e termofixas. A principal diferença entre estes dois tipos está no comportamento característico quando aquecidas, isto é, as resinas termoplásticas são constituídas de polímeros capazes de serem moldados várias vezes, devido às suas características de se tornarem fluidos perante a ação da temperatura e depois se solidificarem quando a temperatura diminui. Já nas resinas termofixas, os polímeros constituintes não têm o comportamento de fluidez devido à presença de ligações cruzadas entre as cadeias macromoleculares, ou seja, reticulação (HULL E CLYNE, 1996). As resinas termofixas são fornecidas na forma de um líquido viscoso que, após a adição de produtos químicos apropriados denominados iniciadores de reação, ou catalisadores, como são normalmente conhecidos, transforma-se do estado líquido para o sólido, irreversivelmente, devido às ligações entre as cadeias de polímeros, processo este chamado de cura (ou polimerização) da resina (ABMACO, 2010). A grande vantagem dos polímeros termofixos está nas suas elevadas propriedades mecânicas, que se mantém até em temperaturas onde um termoplástico já teria se desfeito. Por isso, embora o preço dos polímeros termofixos seja mais elevado, do que o dos polímeros termoplásticos, existem compensações em termos de desempenho da peça concebida com os termofixos (ABMACO, 2010). Pode-se citar como exemplo de matrizes termofixas mais usadas nos compósitos poliméricos: epóxi, poliéster insaturado, fenólica e silicone (CAHN, 1997).

3.2.2 - Reforço

Segundo Callister e Rethwisch (2013), o reforço é composto por uma fase contínua e descontínua, sendo a última a mais comum, podendo ser classificado como particulado, laminado e fibroso, podendo ainda ser sintético ou natural, o mesmo está presente nos compósitos, junto com a matriz, buscando sempre uma união eficaz com as melhores propriedades mecânicas possíveis ao ser inserido na matriz; custos, técnicas de fabricação e outras características devem ser levados em consideração em relação a sua escolha.

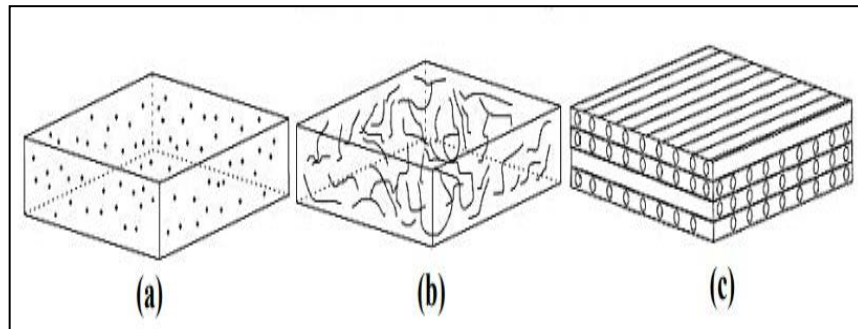
Os reforços contribuem para a resistência mecânica do material e podem ser encontrados como materiais particulados, lamelares, ou na forma de fibras (contínuas ou descontínuas) (NETO, 2006).

Presente em materiais compósitos estruturais que suportam carregamento mecânico, o reforço pode ter três formas de apresentação, sendo: em fibras curtas, contínuas e partículas (LEVY NETO E PARDINI, 2016). De acordo com Germano (2022), o seu principal efeito é

na tenacidade do produto final e a tensão de ruptura, com possibilidades de ocorrer modificações nas propriedades e, de acordo com a temperatura, na estabilidade dimensional.

Na Figura 7 é observado como os reforços se apresentam nos compósitos particulados, fibrosos e laminados, referente à classificação dos reforços e suas características geométricas.

Figura 7 - Classificação dos reforços quanto à característica geométrica: (a) compósito particulado, (b) compósito fibroso, e (c) compósito laminado

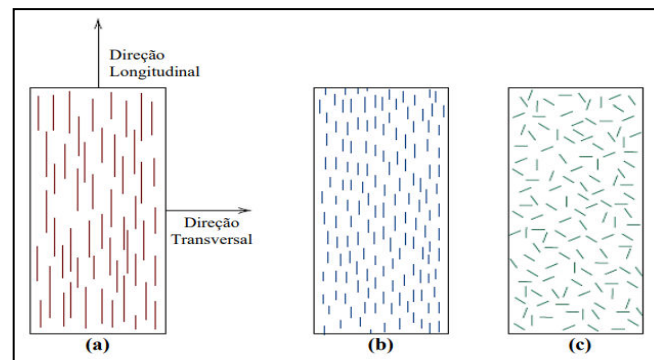


Fonte: D'Aguiar (2017).

Referente aos reforços particulados pode-se citar alguns exemplos como, o concreto, onde a brita e areia que são compósitos particulados e a matriz seria o cimento. Esse tipo de reforço é formado por partículas concentradas na matriz aleatoriamente, como apresentado na figura a. Já os laminados, figura c, encontram-se em uma fase contínua, igual as fibras de carbono e, são formados por longas fibras em forma de pequenos fios finos (D'AGUIAR, 2017).

De acordo com Callister e Rethwisch (2013), os reforços fibrosos, tal como os particulados, são formados por fibras imersas na matriz, entretanto, a sua resistência e rigidez vão ser definidas de acordo com o volume e o sentido em que as fibras se encontram, além disso, há a chance de ser considerada uma fase descontínua. Dessa forma, é possível destacar que é a orientação das fibras que vai diferenciar os reforços laminados e fibrosos, ambos constituídos pelas mesmas, formando fases contínuas, com fibras longas e ordem, e as fases descontínuas, compostas por fibras curtas e arranjadas aleatoriamente ou unidirecionalmente na matriz, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8 - Representação esquemática dos compósitos reforçados com fase contínua e alinhada (a), descontínua e alinhada (b), e descontínua e aleatoriamente reforçadas com fibras orientadas (c)



Fonte: Callister e Rethwisch (2013).

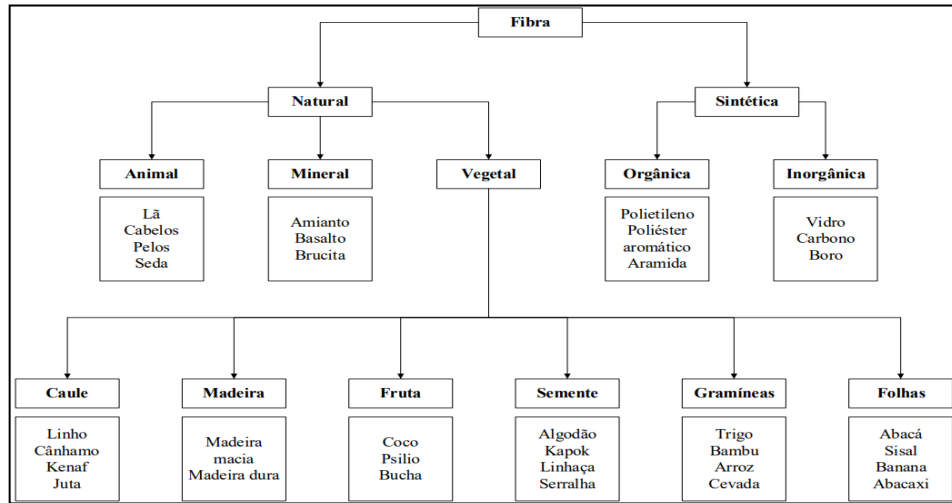
3.2.2.1 - Fibras

Conforme Gabriel (2020), as fibras podem ser divididas em dois grupos, os quais são compostos por fibras naturais, sendo oriundas da natureza e, o segundo, as sintéticas, confeccionadas pelo homem. Dessa forma, qualquer modelo escolhido para ser trabalhado nos materiais compósitos, influirá nas propriedades finais do mesmo.

Carvalho (2020) relata que a lignina, pectina, celulose, hemicelulose e ceras, são basicamente os elementos fundamentais das fibras naturais e segundo Adekomaya; Jamiru; Sadiku (2016) e Kotik (2019) há benefícios também nos casos em que as fibras naturais são provenientes de resíduos agrícolas, pois acaba gerando não só algum lucro para as comunidades que exercem o trabalho do cultivo, como também uma acessibilidade financeira maior, para quem adquire.

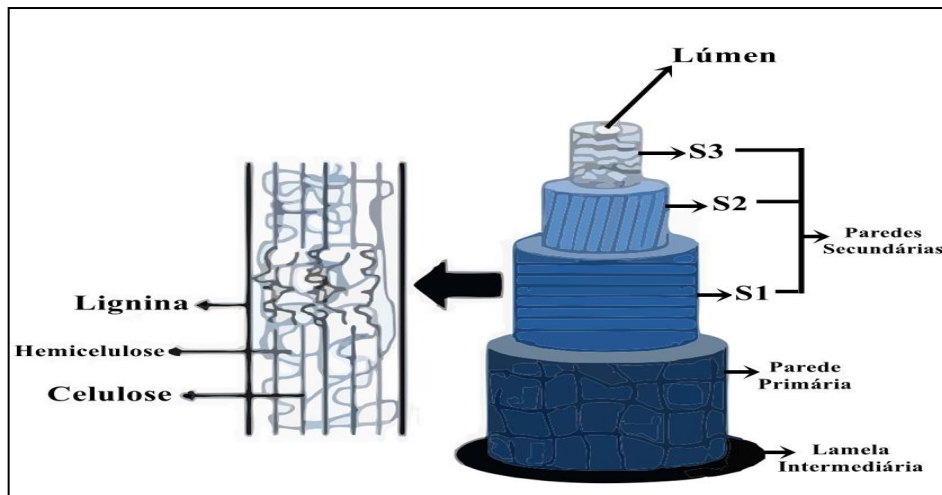
As fibras naturais são extraídas da natureza, em razão disso, os materiais produzidos a partir destas contêm um tom de cor escura, amareladas ou marrons, por serem originárias da superfície; além disso, possuem propriedades que apresentam flexibilidade e um grau de conforto considerável (HILLER, 2022).

Uma vasta gama de materiais é utilizada para a produção das fibras, que são classificadas de acordo com sua origem, sendo que as mais empregadas atualmente são as fibras naturais, de vidro e as de carbono. A Figura 9 contém detalhadamente a classificação, de acordo com o tipo de fibra trabalhada (MOCHANE *et al.*, 2019; HULL, CLYNE; 1996)

Figura 9 - Classificação das fibras

Fonte: Carvalho (2020).

Segundo Carvalho (2020), a presença de fibrilas de celulose inseridas em uma matriz de lignina é uma característica comum na fibra natural. As fibrilas são colocadas em ordem por toda a extensão da fibra, como é mostrado na Figura 10, concedendo uma máxima resistência não só à tração e flexão, mas também gerando uma maior rigidez.

Figura 10 - Estrutura genérica das fibras naturais

Fonte: Adaptado de Gontijo (2018).

De acordo com Bismarck, Mishra e Lampke (2005) a divisão das fibras naturais acontece baseada em suas origens, Bledzki, Gassan (1999) *apud* Silva *et al.* (2014) afirmam que a formação das fibras naturais acontece através de algumas camadas, as quais são

inseridas ao redor do centro, que é oco e chamado de lúmen, elas podem conter diferentes espessuras.

De acordo com Rafael, *et al.*, (2009) as micro fibrilas são células com elevado teor de celulose, presentes na lamela média e com componentes pécticos. A estrutura de uma célula vegetal contém paredes externas primárias e secundárias, sendo a primeira, revestida por uma parede celular e a segunda, comportando uma parede secundária, a qual concede uma resistência maior à célula.

Segundo Brito *et al.*, (2011), pelo fato de consumirem e produzirem, proporcionalmente, o dióxido de carbono, as fibras naturais são conhecidas como um recurso renovável de alto nível. Durante o processo de preparação é gerado resíduos orgânicos, os quais podem ser usados, posteriormente, para produção de eletricidade; além disso, são completamente biodegradáveis, não afetando a natureza.

Esses materiais também apresentam algumas deficiências, como a degradação de várias propriedades, devido ao efeito da umidade, temperatura ou problemas na interface fibra/matriz. Não é surpresa que parte das publicações sobre esses materiais tenha como objetivo tentar melhorar essas características (LI; TABIL; PANIGRAHI, 2007).

Segundo Kotik (2019), futuramente a tendência é que surjam novas áreas de utilidade para as fibras naturais, ainda mais desenvolvidos e explorando rumos ainda não estudados, sendo que o desenvolver da ciência agirá naturalmente e requisitará evoluções constantes na área.

De acordo com Rwawiiree; Okello e Habbi, (2014), as fibras naturais tem uma vasta utilização em materiais compósitos, sendo utilizadas como reforço aliadas a resinas poliméricas, assim, oferecendo propriedades mecânicas desejáveis.

As fibras lignocelulósicas ou fibras vegetais naturais, desde a origem da humanidade, exercem um papel de destaque na economia mundial. O rami, cânhamo, coco, juta, entre outras, eram bastante utilizados, permitindo a evolução da humanidade. Na Figura 11, é mostrada a classificação de algumas das principais fibras com capacidade para servir como reforço em compósitos.

Figura 11 - Fibras com potencial para reforço em compósitos de acordo com sua origem

Fonte: Parada Quinayá, (2016).

No Quadro 1 são mostradas as fibras celulósicas mais populares e suas composições químicas.

Quadro 1 - Composição química, teor de umidade e ângulo microfibrilar de fibras vegetais

FIBRA	HEMICELULOSE (% m/m)	CELULOSE (% m/m)	LIGNINA (% m/m)	CERAS (% m/m)	PECTINA (% m/m)	TEOR DE UMIDADE	ÂNGULO MICROFIBRILAR (°)
Linho	18,6 – 20,6	71	2,2	1,7	2,3	8 – 12	5 – 10
Jute	13,6 – 20,4	61 – 71,5	12 – 13	0,5	0,2	12,5-13,7	8
Rami	13,1 – 16,7	68,6-76,2	0,6 – 0,7	0,3	1,9	7,5 – 17	7,5
Cânhamo	17,9 – 22,4	70 – 74	3,7 – 5,7	0,8	0,9	6,2 – 12	2 – 6,2
Sisal	10 – 14	66 – 78	10 – 14	2	10	10 – 22	10 – 22
Folha do Abacaxizeiro	-	70 – 82	5 - 12,7	-	-	11,8	14
Algodão	5,7	85 – 90	-	0,6	0 – 1	7,85-8,5	-
Coco	0,15 – 0,25	32 – 43	40 – 45	-	3 – 4	8	30 – 49
Banana	10	63 – 64	5	-	-	10 – 12	-

Fonte: Modificado de Bismarck; Mishira; Lampke (2005).

Há algumas regiões das plantas as quais elas podem ser retiradas, como indica o Quadro 2.

Quadro 2 - Fibras e suas origens nas regiões das plantas

REGIÕES DAS PLANTAS	FIBRAS RETIRADAS
Folha	henequém, abacaxi, curauá e sisal
Caule	cânhamo, linho, juta, banana, rami, kenaf e malva
Semente ou Fruto	mamona, açaí, coco e algodão

Fonte: Adaptada de Rwawiiree; Okello; Habbi (2014).

De acordo com Kenge *et al.* (2019), em razão de sua alta resistência mecânica e baixa densidade, as fibras como a juta, sisal e coco têm se tornado mais vistosas no ramo da produção de compósitos.

Segundo Ramamoorthy, Skrifvars e Persson (2015) a fibra de rami possui um alto módulo de *Young*, resistência à tração e boa absorção de umidade, essa é uma das fibras mais antigas utilizadas na indústria têxtil, servindo de matéria-prima em razão das qualidades supracitadas.

Os principais responsáveis pela deterioração e atuação das ligações das fibras naturais nos compósitos são a celulose, lignina e hemicelulose. Isso mostra o grande impacto que o arranjo químico tem nas propriedades mecânicas das fibras vegetais (ONUAGULUCHI, BANTHIA, 2016).

Em conformidade com Almeida (2012) e Leite (2017), as fibras sintéticas são provenientes de polímeros não encontrados na natureza, sendo produzidas em laboratórios através, na maioria dos casos, do gás natural ou petróleo. Nos polímeros contém a presença de PET, nylon, acrílicos, poliuretanos e polietileno. Essas fibras são bastante utilizadas como reforço nas matrizes poliméricas, onde é pretendido o alcance de uma propriedade mecânica convenientemente superior. O custo do material, desempenho desejado, suas propriedades, a interação fibra/matriz são alguns aspectos importantes levados em consideração na hora da escolha da fibra como reforço.

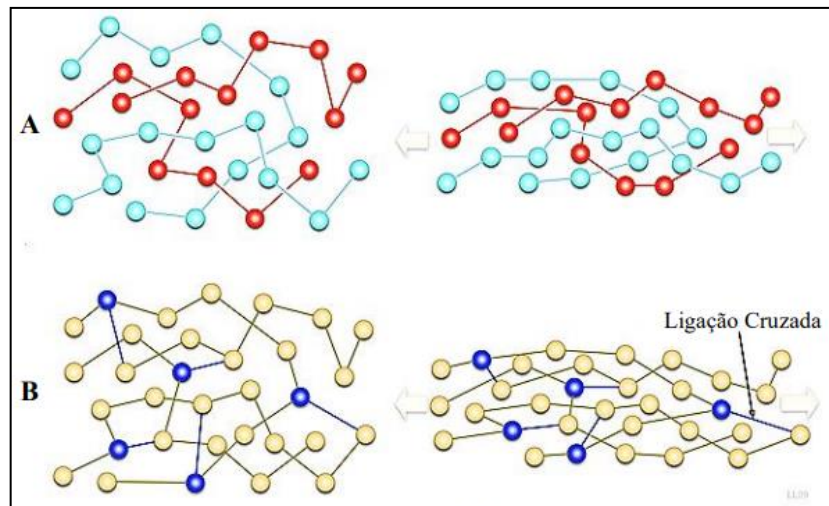
3.3 Compósitos de matriz polimérica

Callister e Rethwisch (2013) afirmam que as matrizes poliméricas possuem dois tipos de especificações, sendo as termoplásticas, as quais são, em geral, lineares com alguma ramificação e, no momento em que estão submetidas a altas temperaturas, podem alcançar a

mudança de seu estado para o líquido, endurecendo, posteriormente, no momento em que são resfriados, proporcionando a sua reciclagem; diferentemente do segundo que são os termofixos, os quais ao serem submetidos à elevadas temperaturas, se fragmentam em razão de suas ligações que se apresentam de forma em rede e cruzadas.

De acordo com Martins (2022), a classificação em relação aos dois, termoplásticos e termofixos, podem ser distinguidas em relação à reciclabilidade e composição química entre os dois, sendo que pode interferir em seu comportamento físico. As ligações dos polímeros são como "fios", como é demonstrado na Figura 12, sendo possível observar que os termoplásticos dispõem de ligações secundárias, e os termofixos, primárias ou cruzadas, como é conhecida.

Figura 12 - Estrutura química de polímeros termoplásticos (A) e termofixos (B)



Fonte: Martins (2022).

Nos compósitos de matrizes poliméricas, as resinas poliéster são as mais utilizadas, pois apresentam ótimas propriedades mecânicas, resistência a ataques químicos e corrosão, baixo custo, entretanto, quando pura, a resina pode demonstrar uma baixa resistência (NÓBREGA, 2007).

É apanágio de uma matriz de qualidade: (PEREIRA, 2017)

- Elevado módulo de elasticidade
- Baixa condutibilidade elétrica
- Boa resistência a tração
- Boa tenacidade, resistência ao impacto, ao corte e à degradação térmica
- Boa capacidade em solidificar ou curar rapidamente

- Coeficiente de dilatação térmico próximo do da fibra
- Relativo baixo custo

3.3.1 Resinas

As resinas termofixas são as mais utilizadas em compósitos, pois exibem excelente resistência a solventes e resistem a elevadas temperaturas. No grupo destas resinas, se enquadram as fenólicas, epóxis e poliésteres (LUBIN, 1969).

3.3.1.1 - Resina poliéster

Segundo Silva, Chawla e Toledo Filho (2008), o poliéster insaturado é uma resina termofixa frequentemente usada como material de matriz em compósitos poliméricos. É normal que ela seja chamada somente de poliéster, a mesma tem uma estrutura amorfa e é encontrada por condensação de um ácido dibásico sem saturação e um glicol. As ligações duplas (C=C) são comuns nesses tipos de polímeros, assim gerando uma mistura linear, a qual contém ligações duplas entre átomos de carbono adequados.

A expressão insaturada relata que há locais reativos na molécula. O estireno, sendo um diluente, é utilizado para amenizar a viscosidade do poliéster. Normalmente são adicionados elementos de endurecimento, cura e absorventes de ultravioleta. Para dar início ao processo de cura, geralmente é inserido um catalisador com peróxido orgânico. A cura pode ser acelerada com o aumento da temperatura, consequentemente, ampliando a taxa de deterioração do catalisador. Esse tipo de resina de poliéster reduz a uma taxa de 4 e 8 % na cura (CARVALHO, 2020).

O poliéster insaturado possui resistência a água e uma variedade de produtos químicos, suporta temperaturas de até 80 ° C e é uma alternativa barata em comparação com outras resinas. O Quadro 3 fornece algumas propriedades importantes da temperatura ambiente do poliéster (CARVALHO, 2020).

Como a mesma expressão é usada para os dois polímeros, é normal que exista uma confusão sobre o termo poliéster. O termoplástico possui características diferentes do poliéster insaturado, o mesmo se refere a um tereftalato de polietileno ou PET. É possível encontrar exemplos de seu uso em tubulações, chuveiros, garrafas etc. Já o poliéster não saturado, geralmente utilizado como material de matriz em compósitos poliméricos, concerne a uma resina termofixa ou termoendurecível (CHAWLA, 2019).

Quadro 3 - Algumas das principais características do poliéster em geral

Densidade ρ (g/cm^{-3})	Módulos de Young E (GPa)	Resistência σ (MPa)	Encolhimento na cura (%)	Razão de Poisson	Temperatura de serviço (° C)
1.1-1.4	2-4	30-100	5-12	0.2-0.33	80

Fonte: Chawla (2013).

3.3.2 Fibras de juta

A fibra de juta, oriunda do Mediterrâneo, é uma fibra multifuncional, natural, ecológica, durável e de baixo custo, sendo uma das fibras vegetais mais importantes, juntamente com o algodão. A planta dessa fibra lúnea se desenvolve em ambientes quentes e úmidos, possuindo entre 2 a 3,5m de estatura e 2 a 3cm de diâmetro em relação ao seu talo. Suas fibras são provenientes do caule da planta, o qual a juta é integralmente cultivada por elas. As lavouras, fábricas, produção e tecelagem dessa fibra natural, auxiliam e colaboram para o progresso da economia em alguns países como, China, Bangladesh, Brasil e Índia, onde ocorre o cultivo frequente (BISMARCK, MISHIRA, LAMPKE, 2005; KASYAPI, CHAUDHARY, BHOWMICK, 2013; DATTA, WLOCH, 2016).

De acordo com Ficher (2017) depois da plantação, o processo de colheita deve ser realizado após o decorrer de quatro meses, pois é o tempo necessário para a planta atingir os padrões imprescindíveis. Dessa forma, é realizado, no procedimento, o corte rente ao solo através de foices e, logo depois, a separação das folhas. Em seguida, a planta é colocada em processo de maceração, o qual consiste em posicionar os caules mergulhados em água por alguns dias, pois dessa maneira será possível desprender facilmente, do caule, a parte útil da fibra que está contida entre a casca e o talo interno para que no final sejam lavadas. Por fim, antes de estender em varais, é feita outra lavagem golpeando as fibras imersas na água. Na Figura 13 são demonstradas as etapas de colheita (13.1) e secagem das fibras (13.2).

Paiva (2015) relata que a produção da juta acontece a partir da extração das fibras vegetais do caule da planta, o mesmo é denominado de *corchorus capsulares*, a famosa juta. O ambiente de plantação está sujeito a variações dos ciclos das enchentes, sendo uma planta de regiões tropicais, se localizando em territórios baixos, onde a temperatura se mantém entre 20 e 25 ° C.

Figura 13 - Processo de colheita (1) e secagem (2) das fibras de juta



Fonte: <https://www.arteblog.net/2010/04/10/como-trabalhar-com-juta-e-malva> (2022).

Como afirma Hiller (2022), as fibras de juta, de forma geral, são constituídas pela junção de fibrocélulas, as quais são compostas por lamela, lúmens e paredes celulares formadas por fibrilas, as quais são juntas por uma matriz de polímeros, constituída de celulose e lignina. Em sua composição há 28 % de lignina 33 % de celulose e 22,7 % de hemicelulose.

A fibra de juta, quando comparada à algumas fibras naturais utilizadas como reforço, se sobressai em alguns pontos como: flexibilidade, fluência, baixo custo, alta resistência e geração de elementos com menos densidade quando ligada à polímeros, assim, sustentando uma enorme eficiência de aplicações (OLIVEIRA FILHO, *et al.*, 2019).

3.4 Compósitos de matriz polimérica e fibras naturais

É grande a utilização de fibras naturais como fase dispersa em compósitos com matriz de polímeros termoplásticos e termorrígidos. Essas fibras podem atuar como carga de enchimento ou reforço de baixo custo, melhorando algumas características da matriz, tais como: estabilidade dimensional, módulo elástico, aumento da resistência ao impacto, entre outros; porém as fibras naturais vegetais são utilizadas em compósitos onde não há a necessidade de alta resistência e rigidez. Outra característica dessas fibras é que as mesmas apresentam densidade inferior às fibras de vidro comumente usadas, possibilitando a obtenção de compósitos com baixa densidade (PAULA, 2011).

O grande problema é a adesão da fibra na matriz polimérica. Este processo requer uma boa ligação entre a matriz polimérica e as fibras. Má aderência na interface significa que a plena capacidade do composto não pode ser explorada e deixa-o vulnerável a ataques

ambientais que pode enfraquecê-lo, reduzindo sua vida útil. Pouca aderência entre polímeros hidrofóbicos e hidrofílicos resultam em baixo desempenho mecânico devido à má ou boa interação com a água. Estas propriedades podem ser melhoradas através de tratamentos físicos e químicos (SATYANARYANA *et al.*, 2005).

3.5 Propriedades dos materiais compósitos

As propriedades dos materiais compósitos dependem da composição de cada fase e de condições externas, tais como temperatura, taxa de deformação, presença de descontinuidades geométricas, tipo de carga, meio ambiente e por parâmetros micro estruturais, que incluem estrutura cristalina, grau de cristalinidade, estrutura macro molecular ou regiões de deformação externa e interna (PRACELLA *et al.*, 2006).

Durante a fabricação dos materiais compósitos fibrosos a geometria da fase descontínua é um dos principais parâmetros a ser considerado, visto que as propriedades mecânicas destes materiais dependem da forma e das dimensões do reforço. Além do aparecimento de vazios e trincas no seu interior e na superfície de seus componentes. Esses vazios são formados devido à natureza da matriz polimérica utilizada ou por eventuais problemas durante o processamento do compósito (HRISTOV *et al.*, 2004). A matriz polimérica tem a função de dispersar a fase de reforço e deformar o necessário para distribuir e transferir as tensões para o componente de reforço.

De acordo com Callister e Rethwisch (2016), ao realizar um projeto com determinado tipo de material, é de suma importância conhecer suas características e comportamentos mecânicos, pois geralmente os mesmos são submetidos a forças ou cargas, como a asa de um avião, o aço em um eixo de um automóvel, ligas de alumínio etc; para, assim, evitar qualquer fratura.

Segundo Lira (2017), as propriedades mecânicas são parâmetros ou atributos do material que influenciam no seu comportamento quando submetidos a esforços mecânicos. A originalidade dessa atuação vai depender não só da temperatura e do tempo, mas também do peso molecular, das condições de ensaio, preparação da amostra e estrutura do material. Com isso, as principais propriedades mecânicas são:

- Resistência a tração
- Elasticidade
- Ductilidade
- Fluência
- Fadiga
- Dureza
- Tenacidade

Todas elas estão ligadas à capacidade do material de resistência ou transmissão das forças mecânicas. Entre essas propriedades mecânicas, a resistência a tração e o módulo de elasticidade são as mais examinadas (LIRA, 2017).

Callister e Rethwisch (2016) afirmam que as propriedades mecânicas devem ser compreendidas pelos engenheiros, a fim de determinar a sua representação nos meios em que estão aplicadas, com a finalidade de evitar que ocorram falhas e níveis inconcebíveis de deformação. Através de experimentos em laboratórios são realizadas as verificações das propriedades mecânicas, simulando com precisão as condições de serviço. Entre os princípios analisados estão, as condições ambientais, temperatura, o tempo de aplicação e a natureza da carga aplicada, a qual pode ser de tração, compressão ou de cisalhamento, e sua magnitude pode variar ou ser invariável no decorrer do tempo. É importante afirmar que a padronização, dos ensaios exercidos, e a criação de normas foram essenciais, uma vez que as propriedades mecânicas têm a atenção de diversos grupos, com interesses distintos, assim, sendo significativo haver compatibilidade no modo de averiguação dos resultados.

A melhor combinação das propriedades mecânicas dos compósitos é obtida quando as fibras estão orientadas na direção longitudinal, com distribuição uniforme e com a máxima fração volumétrica alcançada (SILVA *et al.*, 2002).

Estudos do comportamento mecânico de compósitos reforçados com fibras naturais mostram que esses materiais podem apresentar tanto aplicações estruturais ou não estruturais (SANTOS, 2006). Na avaliação das propriedades mecânicas devem-se levar em conta as características sinérgicas dos materiais que dependem do reforço e da matriz. As propriedades mecânicas de maior interesse são: resistência à tração e flexão (PAULA, 2011).

3.4.1 - Resistência à tração

O objetivo central de um ensaio de tração é definir as propriedades mecânicas perante um estado de tensão, sendo o coeficiente de Poisson, módulo de elasticidade e os limites de resistência a tração e deformação sob tração; as principais propriedades para a realização da prática (Guimarães, 2018).

As propriedades dos compósitos poliméricos dependem basicamente dos seguintes fatores: propriedades dos componentes individuais e composição; grau de interação entre as fases; razão de aspecto e porosidade da carga; grau de mistura entre os componentes. O grau de adesão entre as fases pode ser avaliado em um compósito moldado pela resistência à tensão (tração, por exemplo). Caso esta propriedade seja superior à do polímero puro, significa que a

matriz polimérica transferiu parte das tensões para a fase dispersa. Esta transferência de tensões ocorre através da interface, e é resultado de deformação elástica longitudinal entre a carga e a matriz e do contato por fricção entre os componentes. De acordo com este entendimento, a interface assume papel decisivo nas propriedades mecânicas do material final, de modo que uma boa adesão resulta em boas propriedades mecânicas (COSTA *et al.*, 2017).

Carvalho, Almeida e Fonseca (2003), ao realizar ensaios de tração em um compósito de poliéster insaturado reforçado por tecidos híbridos de algodão/sisal, constatou que, para os compósitos testados na direção do sisal, foram atingidas características superiores, indicando que propriedades mecânicas dependem do tipo e teor de fibras alinhadas na direção do teste. Assim, as resistências foram superiores, aos valores da matriz, nos testes realizados na direção das fibras de sisal; em contrapartida, apesar de estarem sujeitos a aumentarem levemente com o teor de fibras, os testes na direção do algodão demonstraram valores inferiores ao da matriz. A resistência inferior em relação a matriz nesse último, está ligada ao baixo teor de fibras do algodão na direção do teste, as propriedades específicas das fibras e, devido as fibras de sisal que concentram tensões e reduzem o alinhamento das mesmas. O Quadro 4 demonstra que o módulo dos compósitos foi superior ao da matriz e que o alongamento na ruptura diminuiu com o teor de fibras.

Quadro 4 - Resultados dos ensaios no compósito de poliéster insaturado reforçado por tecidos híbridos de algodão/sisal

Tipo de Tecido	Nº de Camadas	Teor Total de Fibras	Direção do Teste	Resistência à Tração (MPa)	Módulo de Young (GPa)	Alongamento na Ruptura (%)
-	Matriz	0	-	$33,7 \pm 4,8$	$1,11 \pm 0,13$	$4,5 \pm 1,9$
Sisal/Algodão	1	33,1	Sisal	$54,8 \pm 6,6$	$2,70 \pm 0,67$	$3,5 \pm 0,3$
	1	33,1	Algodão	$4,5 \pm 0,7$	$1,23 \pm 0,16$	$1,5 \pm 0,3$
	2	53,6	Sisal	$67,6 \pm 19,7$	$2,56 \pm 0,36$	$3,2 \pm 0,5$
	2	53,6	Algodão	$6,6 \pm 2,4$	$1,36 \pm 0,15$	$2,0 \pm 0,5$
	3	55,4	Sisal	$64,9 \pm 16,1$	$1,68 \pm 0,08$	$4,6 \pm 0,2$
	3	55,4	Algodão	$7,8 \pm 3,5$	$1,06 \pm 0,06$	$3,3 \pm 0,6$

Fonte: Carvalho, Almeida e Fonseca (2003).

Moraes *et al.* (2017), em sua análise, utilizando compósitos com poliéster reforçados com fibras de malva, concluiu que há um aumento na resistência à tração quando a fração volumétrica da fibra cresce, ou seja, quando os compósitos reforçados com fibras naturais têm uma adição na sua quantidade de camadas, haverá um impacto direto em seu comportamento mecânico. A seguir, é apresentado o Quadro 5 demonstrando alguns dados importantes do

ensaio, sendo a primeira, os gráficos de tensão e deformação e, a segunda, os resultados da resistência à tração no compósito; ambas detalhadas de acordo com as quatro camadas trabalhadas.

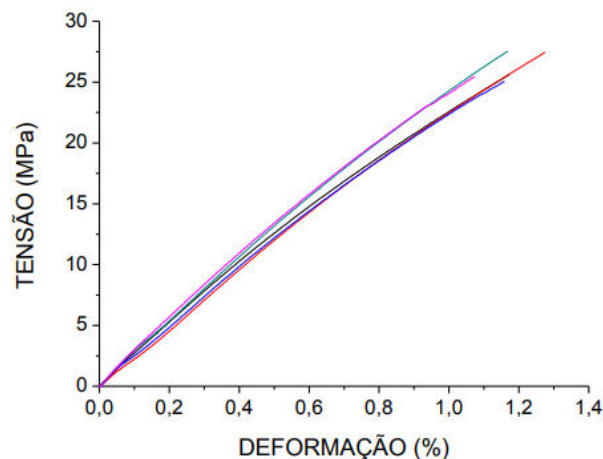
Quadro 5 - Resistência à Tração de compósitos reforçados com fibras de malva

Camadas de tecido de Malva	Resistência à Tração (MPa)
0	$13,06 \pm 2,16$
1	$14,44 \pm 1,87$
2	$15,40 \pm 1,18$
3	$19,77 \pm 1,80$
4	$26,73 \pm 1,38$

Fonte: Moraes *et al.*, (2017).

Carlos (2018), em sua pesquisa, utilizou uma matriz polimérica resina de poliéster insaturada (matriz termofixa) e o reforço na forma de tecido bidirecional de fibra de juta. Assim, realizou um ensaio de tração uniaxial em um compósito polimérico reforçado com 4 camadas de fibra de juta. Como resultado, foi apresentado um valor médio de 26,23 Mpa de resistência à tração, como indica o Gráfico 1, demonstrando também que o material é frágil até sua fratura.

Gráfico 1 - Compósito polimérico reforçado com a inserção de 30 % de fibra de juta



Fonte: Carlos (2018).

Como as curvas estão próximas, interpreta-se um baixo desvio padrão. Além disso, pode-se dizer que o comportamento é linear entre a tensão e a deformação ao longo da faixa da tensão de ruptura. Na Quadro 6 é demonstrado os valores médios da resistência, deformação a ruptura, módulo de elasticidade longitudinal e os desvios padrão.

Quadro 6 - Propriedades mecânicas do compósito

-	Deformação de ruptura total (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de elasticidade (GPa)
Valor Médio	1,17	26,23	2,57
Desvios Padrão	0,07	1,18	0,14

Fonte: Carlos (2018).

Margem *et al.* (2017) analisou as propriedades de tração de compósitos de matriz poliéster reforçados com até 30 % de fibras vegetais de 3 diferentes espécies, sendo, contínuas e alinhadas de sisal, malva e bambu. Assim concluiu que as frações das fibras naturais testadas, elevaram a resistência à tração de forma linear. No Quadro 7 é apresentado os valores obtidos nos ensaios da resistência à tração dos compósitos reforçados com 0 % e 30 % de fibras, de sisal, bambu e malva.

Quadro 7 - Resistência a tração dos compósitos reforçados com fibras de sisal, bambu e malva

Fibra (%)	Sisal (MPa)	Bambu (MPa)	Malva (MPa)
0	32,76 ± 2,09	34,44 ± 2,50	32,99 ± 1,58
30	142,86 ± 11,73	133,39 ± 10,98	130,98 ± 1,71

Fonte: Margem *et al.* (2017).

Neves *et al.* (2016) estudou as propriedades de tração de compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de cânhamo, inseridas com 10, 20 e 30 % em fração volumétrica, sendo, as fibras, alinhadas em moldes e deixando curar por 24 horas em temperatura ambiente. Com o ensaio de tração, foi possível perceber um aumento na tensão máxima de ruptura com o aumento da porcentagem de fibra inserida. Os resultados obtidos estão expressos na Quadro 8.

Quadro 8 - Ensaio de resistência à tração para os compósitos de poliéster reforçados com fibras de eucalipto

Quantidade de Fibra de Eucalipto (Vol. %)	Resistência à tração (MPa)	Módulo elástico (GPa)
0	28,99 ± 6,58	0,83 ± 0,23
10	37,43 ± 3,29	1,88 ± 0,16
20	45,56 ± 6,73	1,70 ± 0,05
30	53,08 ± 3,28	1,75 ± 0,13

Fonte: Neves *et al.* (2016).

3. METODOLOGIA

O desenvolvimento do estudo foi elaborado através de pesquisas e análises bibliográficas de trabalhos diversos, com o intuito de coletar e comparar dados dos compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais, com o compósito juta/poliéster (tramado), utilizando o método descritivo da metodologia que consiste em apresentar de forma clara o que o pesquisador deseja evidenciar. A pesquisa descritiva é aquela que descreve uma realidade pelo método de análise observacional, coletando dados concretos e relevantes de alguns trabalhos. Com a verificação e comparação de alguns tipos de compósitos, constituídos de fibras naturais, os quais foram submetidos a ensaios de tração normalizados pela ASTM D3039 (2017), foi possível obter dados necessários para demonstrar os melhores desempenhos.

A pesquisa se fundamentou na possibilidade de demonstrar o comportamento e eficiência de alguns tipos de compósitos, trazendo comparações e análises da propriedade mecânica de resistência à tração no compósito polimérico reforçado com fibras naturais.

4.1 Procedimento da análise

Foi tomando como base principal bibliografias direcionadas especificamente para o ensaio de resistência à tração, envolvendo compósitos formados pela matriz sintética, poliéster, reforçada por fibras de origens naturais, introduzidas com até $\pm 30\%$ em peso de fibras. E assim, foi tido como referência o compósito poliéster/juta de Dantas (2004), o qual realizou seus ensaios com 0% de inserção de fibra e $28,52\%$ em peso ($\pm 30\%$) de tecido tramado, trama simples, de modo que 50% das fibras estão alinhadas na direção do esforço e 50% ortogonalmente ao esforço.

Dessa forma, buscaram-se compósitos e ensaios semelhantes, variando-se as fibras naturais, de outras bibliografias, com o objetivo não apenas de avaliar seu comportamento quando contém 0% e $\pm 30\%$, em peso de fibras incorporadas, como também de facilitar a escolha do material adequado no âmbito de desenvolvimento de pesquisas e ensaios. E a partir dos dados coletados foram elaborados gráficos e tabelas para demonstração dos resultados.

Os autores que foram escolhidos para serem comparados ao estudo de Dantas (2004) foram: Cavalcanti (2000), o qual realizou seus ensaios de resistência à tração do compósito de poliéster/juta, com 0% de inserção de fibra e $29,30\%$ em peso ($\pm 30\%$) de tecido tramado,

trama simples, de modo que 50 % das fibras estão alinhadas na direção do esforço e 50 % ortogonalmente ao esforço igual aos ensaios de Dantas (2004); Já Moraes *et al.* (2017); seus ensaios de resistência à tração foram realizados nos compósitos: poliéster/malva com 0 % de inserção de fibra e 30 % em peso de fibras contínuas e alinhadas; Neves *et al.* (2016) realizou seus ensaios de resistência à tração dos compósitos: poliéster/eucalipto - poliéster/cânhamo - poliéster/sisal, com 0 % de inserção de fibra e 30 % em peso de fibras contínuas e alinhadas de cada compósito citado; Margem *et al.* (2017) exerceu seus ensaios de resistência à tração dos compósitos: poliéster/sisal - poliéster/bambu - poliéster/malva, com 0 % de inserção de fibra e 30 % em peso de fibras longas, contínuas e alinhadas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ha vários estudos que mostram que as propriedades mecânicas dos compósitos reforçados com fibras vegetais aumentam significativamente a elevados teores de fibras (CHAWLA & BOSTOS, 1979; D'ALMEIDA, 1987; MOHANTY & MISRA, 1995; CARVALHO, 1996; DASH, *et al.*, 1999). Nesta pesquisa serão englobadas referências sobre a resistência à tração e o teor da fibra, dos compósitos de matriz polimérica reforçados por fibras naturais, tendo como referência para comparativo o compósito de Dantas (2004).

Dantas (2004) em sua pesquisa realizou um ensaio de resistência à tração envolvendo o compósito polimérico juta/poliéster, com resina de poliéster insaturado ortoftálico, e obteve valores de 38,6 MPa, para 0 camadas de reforço e 35,4 MPa, em 28,52 % (± 30) de fibras em peso. Um acréscimo de 8,3 %, quando não for inserida a fibra, ou seja, a resistência à tração da matriz (poliéster) será maior em relação ao compósito com ± 30 % de fibra em peso.

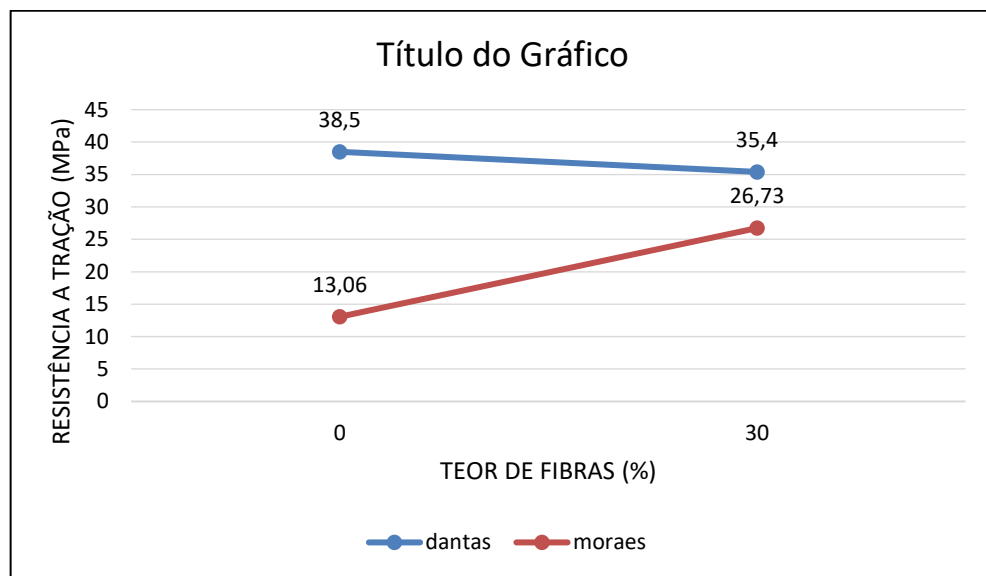
Cavalcanti (2000) estudou o mesmo compósito (poliéster/tecido de juta) e observou que, ao incorporar este tecido com teores de fibras de 29,30 % (± 30 % em peso) na matriz (poliéster) os resultados da resistência à tração foram também inferiores aos da matriz (poliéster), sendo 38,6 para 0 camadas de reforço e 29,1 MPa, em 29,30 % (± 30) de fibras em peso, ratificando o estudo de Dantas (2004). No caso, com um acréscimo de 24,6 %, quando não for inserida a fibra, ou seja, a resistência à tração da matriz (poliéster) será maior em relação ao compósito com ± 30 % de fibra em peso.

Joseph & Carvalho (1999) relataram que quando se utiliza tecido tramado como reforço, a orientação das fibras dispostas em tecidos tramados é o principal fator da resistência à tração dos compósitos ser inferior à da matriz, onde que 50 % das fibras estão na direção do esforço e 50 % está ortogonalmente ao esforço. As fibras agem como inclusões ou defeitos quando alinhadas de forma ortogonal ao esforço aplicado. Quando se obtém baixos teores de fibras, este efeito sobrepuja o efeito reforçante das fibras quando solicitadas na direção longitudinal e o resultado é um decréscimo na tensão de tração do compósito.

Já Moraes *et al.* (2017) realizou um ensaio de resistência à tração envolvendo o compósito malva/poliéster, com a resina poliéster vertida na matriz e, diferentemente da pesquisa de Dantas (2004), obteve uma elevação nos valores de resistência, com a inserção das fibras, alcançando valores de 13,06 MPa, para 0 camadas de reforço, e 26,73 MPa, em 30 % de fibras em peso.

A princípio, pode-se deduzir que ao promover a adição de fibras de malva na matriz poliéster, a resistência da mesma vai se sobrepuser em relação ao compósito de juta/poliéster. Entretanto, isso acaba mostrando que o compósito de malva/poliéster tem uma resistividade inferior ao estudado, pois ao operar com o mesmo teor de fibras, obteve-se uma resistência inferior ao trabalhado por Dantas (2004). Apesar de ocorrer uma redução no valor da resistência, ao incorporar as fibras de juta, o compósito poliéster/juta referencial, ainda será superior, visto que seu valor, com $\pm 30\%$ em peso, continua acima do compósito estudado por Moraes *et al.* (2017). E no Gráfico 2, pode ser observada, a comparação da resistência à tração entre os compósitos poliméricos reforçados com inserção de 0% e $\pm 30\%$ de fibras naturais pesquisados pelos autores Dantas (2004) e Moraes *et al.* (2017).

Gráfico 2 - Comparação entres os ensaios de tração de Dantas (2004) e Moraes *et al.* (2017)



Fonte: Autoral (2022).

Neves *et al.* (2016) teve participação no desenvolvimento de dois trabalhos, um envolvendo o compósito eucalipto/poliéster e outro com cânhamo/poliéster, ambos com incorporação das fibras de 0 % a 30 % em peso de fibra. Com a realização dos ensaios de resistência à tração, foram obtidos resultados idênticos para os dois tipos de compósitos, uma circunstância notável, já que se trata de duas fibras naturais distintas, porém submetidas ao mesmo tipo de procedimento de análise. Para resistência a tração, ambos possuem 28,99 MPa, com 0 % de incorporação de fibras e, com 30 % em peso de fibra, possuem 53,08 Mpa de resistência à tração. A resina de poliéster foi utilizada ainda fluida, mais 0,5% de caralisante à base de metiletilcetona, e derramada sobre as fibras no molde e deixada curar por 24 horas e à temperatura ambiente.

Desse modo, observam-se no Quadro 9 os dados coletados das resistências à tração dos compósitos poliméricos reforçados, com seus respectivos desvios padrão e com inserção de puro poliéster (0 %) e 30 % de fibras naturais pesquisado pelos autores para a efetivação do estudo.

Quadro 9 - Dados coletados de cada compósito polimérico reforçado com inserção de 0 % e 30 % com fibras naturais pesquisado pelos autores

Autores	Compósitos	Fibra (± 30 % em peso) $\pm \sigma$	Resistência à tração (MPa)
Dantas (2004)	Juta/ poliéster	0	$38,6 \pm 0,8$
		28,52	$35,4 \pm 2,3$
Cavalcanti (2000)	Juta/ poliéster	0	$38,6 \pm 0,8$
		29,30	$29,1 \pm 2,0$
Moraes <i>et al.</i> (2017)	Malva/ poliéster	0	$13,06 \pm 2,16$
		30,00	$26,73 \pm 1,38$
Neves <i>et al.</i> (2016)	Eucalipto/ poliéster	0	$28,99 \pm 6,58$
		30,00	$53,08 \pm 3,28$
	Cânhamo/ poliéster	0	$28,99 \pm 6,58$
		30,00	$53,08 \pm 3,28$
Margem <i>et al.</i> (2017)	Sisal/ poliéster	0	$32,76 \pm 2,09$
		30,00	$142,86 \pm 11,73$
	Bambu/ poliéster	0	$34,44 \pm 2,50$
		30,00	$133,39 \pm 10,98$
	Malva/ poliéster	0	$32,99 \pm 1,58$
		30,00	$130,98 \pm 1,71$

Fonte: Autoral (2022).

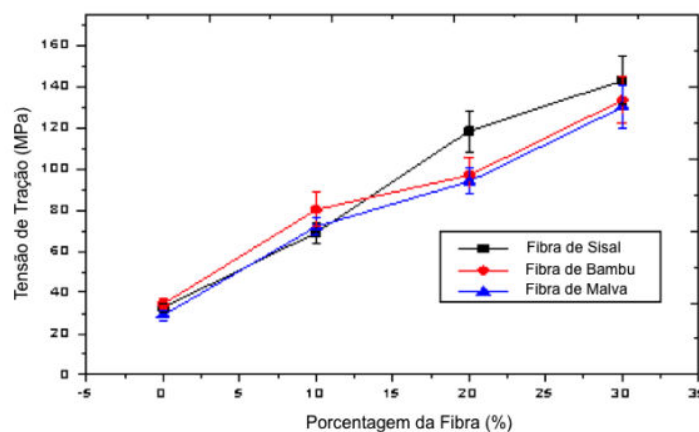
Margem *et al.* (2017) estudou três tipos de fibras naturais, sendo o sisal, malva e bambu, incorporadas na matriz poliéster. Os resultados dos ensaios de tração podem ser visualizados no Quadro 9. Para o compósito sisal/poliéster o resultado do ensaio de resistência a tração foi de 32,76 MPa, para 0 camadas de reforço, e 142,86 MPa, em 30 % de fibras em peso; para o compósito bambu/poliéster foi de 34,44 MPa, para 0 camadas de reforço, e 133,9 MPa, em 30 % de fibras em peso; e para o compósito malva/poliéster o resultado do ensaio de

resistência a tração foi de 32,99 MPa, para 0 camadas de reforço, e 130,98 MPa, em 30 % de fibras em peso. Pode-se observar que Margem *et al.* (2017) obteve resultados diferentemente da pesquisa de Dantas (2004), alcançando valores de elevada resistência à tração, com a inserção das fibras. É possível afirmar que houve uma diferença significativa na resistência a tração entre os 3(três) compósitos comparados ao compósito poliéster/juta de Dantas (2004). Conforme Margem (2015) é importante observar que as barras de erro apresentam desvio padrão, uma característica comum para fibras lignocelulósicas. Isto é devido à natureza heterogênea das fibras naturais, resultando em propriedades de dispersão substancial dos compósitos reforçados por elas.

Com a visualização e análise do Gráfico 3 e do Quadro 9, é possível afirmar que a fibra de sisal apresenta, com 0 % de inserção da fibra, a menor resistência entre as três; porém, com 30 % em peso das fibras, a mesma manifesta a maior resistividade entre as comparadas, possuindo uma elevação no desempenho atingindo o melhor resultado com a porcentagem de 30 % em peso de fibras.

Com base nos resultados do Quadro 7, as resistências à tração se comportam em função dos percentuais incorporados de fibras de sisal, bambu e malva como mostrado no Gráfico 3.

Gráfico 3 - Comportamento das tensões de tração em relação aos percentuais incorporados



Fonte: Margem *et al.* (2017).

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No decorrer dessa pesquisa foi possível entender o impacto que os compósitos têm dentro do mundo da Engenharia de Materiais, principalmente no que se refere aos que se compõem com fibras naturais. Além disso, é importante evidenciar as bibliografias examinadas durante o trabalho para alastrar a compreensão acerca do estudo da propriedade mecânica de resistência à tração dos compósitos formados pela matriz (poliéster) inseridas pelas fibras naturais.

Conclui-se que:

- O compósito polimérico de poliéster/juta de Cavalcanti (2000) ratificou o estudado por Dantas (2004). No caso, quando não for inserida a fibra, ou seja, a resistência à tração da matriz (poliéster) será maior em relação ao compósito com $\pm 30 \%$ de fibra em peso. Isto excede o efeito reforçante das fibras quando solicitadas na direção longitudinal e o resultado é um decréscimo na tensão de tração do compósito polimérico;
- O compósito polimérico de malva/poliéster de Moraes *et al.* (2017) obteve a resistência à tração inferior ao estudado por Dantas (2004). Apesar de que há um aumento na resistência à tração quando há a inserção de fibras. Apesar de ocorrer uma redução no valor da resistência, ao incorporar as fibras de juta, o compósito de Dantas (2004) ainda será superior, visto que seu valor com $\pm 30 \%$ em peso, continua acima do compósito polimérico malva/poliéster;
- Os resultados obtidos nos trabalhos de Neves *et al.* (2016), envolvendo os compósitos poliméricos de eucalipto/poliéster e cânhamo/poliéster (fibras naturais distintas) foram obtidos resultados idênticos para os dois tipos de compósitos. Observou-se que mesmo assim, os resultados da resistência à tração desses compósitos foram superiores aos do compósito polimérico referencial, quando incorporadas 30 % em peso de fibras.
- É possível afirmar que houve uma diferença significativa na resistência à tração entre os 3(três) compósitos poliméricos estudados por Margem *et al.* (2017) comparados ao compósito polimérico - poliéster/juta de Dantas (2004). Isso se deve ao fato de que quando se utiliza tecido tramado como reforço, a orientação das fibras dispostas em tecidos tramados age como inclusões ou defeitos quando alinhadas de forma ortogonal ao esforço aplicado.

É essencial enfatizar que entre os compósitos analisados, o que obteve melhor desempenho com 0 % de incorporação de fibras, foi o de juta/poliéster, trabalhado por Dantas (2004) e Cavalcanti (2000). Entretanto, quando se inseriu 30 % em peso de fibras, o desempenho mais satisfatório, entre os comparados, foi o do sisal/poliéster, seguidos dos compósitos poliméricos de poliéster/bambu e poliéster/malva desenvolvidos por Margem *et al.* (2017). Isso remete ao fato que, as fibras foram colocadas de forma alinhadas e orientadas no processo de elaboração dos compósitos poliméricos, já que o compósito polimérico poliéster/juta de Dantas (2004) foi produzido com tecido de juta tramado.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABMACO - Noções Básicas sobre Materiais Compósitos, v. 1, p. 2-3, 2010.

ADEKOMAYA, O., JAMIRU, T., SADIKU, R., *et al*, “A review on the sustainability of natural fiber in matrix reinforcement – A practical perspective”, *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, v. 35, n. 1, pp. 3–7, 14 Jan. 2016.

ALMEIDA, N. M. B. G. Estudo Estrutural de Compósitos de Matriz Polimérica Reforçados com Fibras de Juta. 2012. 216 f. Tese (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Portugal, 2012.

ALMENDRO, Emiliano Barretto. **FABRICAÇÃO E ENSAIO DE COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM FIBRA DE ALGODÃO HIDRATADA**. 2018. 43 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Cornélio Procopio, 2018.

ANTUNES, João Dias. **FSW de materiais poliméricos**. 2021. 119 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2021.

ASIM, M.; ABDAN, K.; JAWAID, M.; NASIR, M.; DASHTIZADEH, Z.; ISHAK, M. R.; ENAMUL, M. H. (2015) A Review on Pineapple Leaves Fibre and Its Composites. Hindawi Publishing Corporation International Journal of Polymer Science. ID 950567. Polímero termoplástico e termorrígido <https://mundoeducacao.uol.com.br/quimica/polimero-termoplastico-termorrigido.htm>.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D3039/D3039M: Standard Test Method for Tensile Properties of Polymer Matrix Composite Materials, 13 p. 2017.

BARRA, G. Portal Materiais- Compósitos Poliméricos EMC 5706. Disponível em: . Acesso em julho de 2010.

BISCAINHO, Clarissa Alves. **MATERIAIS COMPÓSITOS: UM DOS MAIORES AVANÇOS**. 2017. Disponível em: <<https://betaeq.com.br/index.php/2017/05/19/materiais-compositos/>>. Acesso em: 21 set. 2022.

BISMARCK, A.; MISHRA, S.; LAMPKE, T. Plant fibers as reinforcement for green composites. In: MOHANTY, A. K.; MISRA, M.; DRZAL, L. T. (Eds.). Natural Fibers, Biopolymers, and Biocomposites. [s.l.] CRC Press, 2005.

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

BRITO, G. F. et al. Biopolímeros, Polímeros Biodegradáveis e Polímeros Verdes. Revista Eletrônica de Materiais e Processos, v. 6, n. 2, p. 127-139, 2011.

CAHN, R. W. et al. Structure and Properties of Composites. Materials science and technology: a comprehensive treatment. VCH, 1997. (2006): Compósitos de tecido de juta reforçando matriz de polietileno. In: 61º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Rio de Janeiro - RJ, Brasil, 1CD. P. 1- 8.

CALLISTER, William. D. e RETHWISCH, David. G. Ciência e engenharia de materiais: uma introdução / William D. Callister Jr., David G. Rethwish. 8º Ed. Tradução Sergio Murilo Stamile Soares; revisão técnica José Roberto Moraes d'Almeida. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2013.

CALLISTER, William. D. e RETHWISCH, David. G. Ciência e Engenharia de Materiais : uma introdução / William D. Callister, Jr., David G. Rethwish ; tradução Sergio Murilo Stamile Soares. - 9. ed. - [Reimpr.]. - Rio de Janeiro : LTC, 2016.

CARLOS, Glória Maria Leite. ESTUDO DA DESCONTINUIDADE GEOMÉTRICA EM COMPÓSITO POLIMÉRICO REFORÇADO COM FIBRA DE JUTA. 2018. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Caraíbas, 2018.

CARVALHO, Guilherme Campos. **Estudo das propriedades mecânicas de compósitos com matriz de epóxi reforçados com fios de sisal e linho.** 2020. 97 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Industrial, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Bragança, 2020.

CARVALHO, L.H. de; ALMEIDA, M.F.; FONSECA, V.M.. Propriedades mecânicas de compósitos de poliéster insaturado reforçado por tecidos híbridos de algodão/sisal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 7., 2003, Campina Grande. Anais [...] . Campina Grande: ., 2003. p. 1-2.

CHAWLA, K. K. Composite Materials, no. EM74-118 Apr 29-May 3 1974. Cham: Springer International Publishing, 2019.

CHAWLA, K.K. Composite Materials. Science and Engineering. 3rd edition. Springer. Birmingham, 2013.

CHAWLA, K. K. & BOSTOS, A. C, in Proceedings of Third International Conference on Mechanical Behavior of Materials, Pergamon Press. Cambridge,. Vol. 3, p. 191 (1979).

CARVALHO, L .H., Chemical modification of fibers for plastics reinforcement in composites, First International Lignocellulosics Plastics Composites, Sao Paulo, (1996) .

CHUNG, D.D.L. Composite Materials. Science and Applications. 2nd ed. Springer: New York, 2010.

CORREA, C.A.; FONSECA, C.N.P.; NEVES, S. RAZZINO, C.A.; HAGE Jr, E. Compósitos termoplásticos com madeira. *Polímeros* 13:154-165, 2003.

COSTA, Lidiane C. *et al.* Influência nas propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno virgem/reciclado com diferentes tipos de cargas reforçantes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE POLÍMEROS, 9., 2017, São Carlos. **Ipen**. São Carlos: Cbpol, 2017. p. 1-7.

DANTAS, Rejane Ramos. **Uso de compósitos (poliéster/tecido de juta) para construção de silos cilíndricos verticais**. 2004. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2004.

D'AGUIAR, S. C. M. Estabilidade de Colunas de Material Compósito Reforçado Por Fibras. 2017. 121 f. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2017.

D'ALMEIDA, J. R. M., Propriedades mecânicas de fibras de juta, *Ciencia e Cultura*, 39, 1025-1032, (1987).

DASH, B. N.; RANA, A. K.; MISHRA, H. K.; NAVAK, S. K.; MISHRA, S. C.; TRIPATHY, S. S., Novel, low-cost jute-polyester composites, part 1: processing mechanical properties, and sem analysis, *Polymer Composites*. 20, 62-71, (1999).

DATTA, J.; WŁOCH, M. Preparation, morphology and properties of natural rubber composites filled with untreated short jute fibres. *Polymer Bulletin*, v. 74, n. 3, p. 763–782, 1 mar. 2016.

DEMIR, H.; ATIKLER, U.; BALKÖSE, D.; TIHMINLIOGLU, F. The effect of fiber surface treatments on the tensile and water absorption properties of polypropylene–luffa fiber composites. *Composites: Part A* 37 (2006) 447–456.

FICHER, Nadine Machado. **Estudo do comportamento à tração direta e indireta de compósitos de fibras de juta**. 2017. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2017.

FONTES, Raphael Siqueira. **COMPÓSITO POLIMÉRICO HÍBRIDO: comportamento mecânico, descontinuidade geométrica e resistência residual**. 2013. 81 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

FRAGA, A.N.; FRULLONI, E.; OS A, O.; KENNY, J.M.; Vázquez, A. Relationship between composites. *Composites Science and Technology* 66 (2006) 379-386.

FRAXE, Therezinha de Jesus Pinto; FERREIRA, Aldenor da Silva. Nova técnica para extração de fibras das plantas de juta e malva em processo a seco no Estado do Amazonas. **Ibict**, Brasília, v. 12, n. 1, p. 161-171, jul. 2018.

GABRIEL, Larissa. **Obtenção e caracterização de compósitos de polipropileno e fibras de abacaxi utilizando agentes de acoplamento de fontes renováveis**. 2020. 50 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química, Universidade de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2020.

GERMANO, Beatriz de Paiva. **Uso de resíduos de fibra de vidro da indústria eólica na produção de compósitos matriz poliéster**. 2022. 49 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2022.

GOMES, J. W. Obtenção E Caracterização De Um Compósito De Matriz Polimérica E Resíduos Gerados Pela Manufatura Do MDF (Medium Density Fiberboard). 2015. 155 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal Do Rio Grande Do Norte, Natal, 2015.

GONTIJO, Layne Oliveira de Lucas. Caracterização físico química do efeito de mercerização sobre fibras de piaçava *Attalea funifera*. 2018. 78 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Materiais e de Processos Químicos e Metalúrgicos, Engenharia Química e de Materiais, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.

GROOVER, M. “Fundamentals of Modern Manufacturing Materials, Processes and Systems,” John Wiley Sons, p. 493, 2010.

GUIMARÃES, Fernando Alves. **Avaliação das propriedades mecânicas de um compósito híbrido de matriz termoplástica PPS reforçado com fibras de carbono contínuas e descontínuas**. 2018. 111 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica na Área de Materiais, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2018.

HILLER, Ana Paula. **Desenvolvimento de compósito inteligente de juta com agente termocrômico**. 2022. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Têxtil, Universidade Federal de Santa Catarina, Blumenau, 2022.

HRISTOV, V.N.; LACH, R.; GRELLMANN, W.. Impact fracture behavior of modified with water absorption and dielectric behaviour of natural fibre composite polypropylene/wood fiber composites. *Polymer Testing* 23 (2004) 581–589.

HULL, D.; CLYNE, T. W. An introduction to composite materials. Cambridge university press, 1996.

ITO, Philipe Yaemon. **Análise e proposta de melhoria de indicadores oee (efetividade geral de equipamento) em injetoras de polímeros em uma indústria automotiva**. 2022. 47 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário Ritter dos Reis, Canoas, 2022.

JOSEPH, K., CARVALHO, L. H., Tensile Properties of Jute - Cotton Hybrid Fiber Reinforced Polyester Composites, Brazilian Polymer Conference, 1999.

KABIR, M. M. H. WANG, K. T. LAU, AND F. CARDONA, “Chemical treatments on plantbased natural fibre reinforced polymer composites: An overview,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 43, no. 7, pp. 2883–2892, 2012, doi: 10.1016/j.compositesb.2012.04.053.

KARTHI, N., KUMARESAN, K., SATHISH, S., GOKULKUMAR, S. PRABHU, L. AND VIGNESHKUMAR, N. “An overview: Natural fiber reinforced hybrid composites, chemical treatments and application areas,” *Mater. Today Proc.*, pp. 1–7, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.01.011.

KASYAPI, N.; CHAUDHARY, V.; BHOWMICK, A. K. Bionanowhiskers from jute:preparation and characterization. *Carbohydrate polymers*, v. 92, n. 2, p. 1116–23, 15 fev. 2013.

KENGE, A. et al. Development and Mechanical Characterization of Natural-Artificial Fiber Hybrid Composite. *International Conference on Nascent Technologies in Engineering (ICNTE 2019)*, 2019.

KOTIK, Hector Guillermo. Fibras naturais e compósitos reforçados com fibras naturais: a motivação para sua pesquisa e desenvolvimento. *Matéria (Rio de Janeiro)*, [S.L.], v. 24, n. 3, p.1-3, 2019. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620190003.0801>.

LEITE, Fernando Luís Pinheiro Pires. Durabilidade de compósitos de matriz termoplástica/termoendurecível reforçada com fibras sintéticas e naturais. 2017. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Polímeros, Universidade do Minho, Braga, 2017. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/handle/1822/48258>. Acesso em: 04 out. 2022.

LEVY NETO, Flaminio; PARDINI, Luiz Claudio. **COMPOSITOS ESTRUTURAIS: Ciência e Tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. 418 p.

LI, Xue; TABIL, Lopes G.; PANIGRAHI, Satyanarayan. Chemical Treatments of Natural Fiber for Use in Natural Fiber-Reinforced Composites: a review. **Journal Of Polymers And The Environment**, [S.L.], v. 15, n. 1, p. 25-33, 4 jan. 2007. Springer Science and Business Media LLC. <http://dx.doi.org/10.1007/s10924-006-0042-3>.

LIRA, João Pedro Almeida. **Caracterização Mecânica de Tubos PRFV Segundo as Normas ABNT**. 2017. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2017.

LUBIN, G. Handbook of Fiberglass and Advanced Plastics Composites. New York, Cincinnati, Toronto, London, Melbourne: Van Nostrand Reinhold Company, 1969.

MARGEM, J.I., MONTEIRO, S.N., MARGEM, M., GOMES, MARGEM, V. F.. Pullout Tests of Epoxy Matrix Reinforced with Malva Fibers, In: EPD Congress: Characterization of Minerals, Metals and Materials; 2015; Orlando, EUA. Orlando: TMS Conference; 2015. p. 457-463.

MARGEM, Jean Igor; MARGEM, Marina Rangel; MORAES, Ygor Macabu de; MARGEM, Frederico Muylaert; MONTEIRO, Sergio Neves. **Avaliação do comportamento das trações trativas em compósitos de matriz poliéster reforçados com fibras de sisal, bambu e malva**, p. 2987-2994. In: *72nd ABM Annual Congress*, São Paulo, 2017. ISSN: 2594-5327, DOI 10.5151/1516-392X-30808.

MARINUCCI, G. Materiais Compósitos Poliméricos: Fundamentos e Tecnologia. São Paulo: Artliber Editora, 2011.

MARTINS, Artemisa de Oliveira Araújo Kássia Policarpo. **OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS HÍBRIDOS DE FIBRAS DE VIDRO E FIBRAS DO BAGAÇO DE CANA-DE-AÇÚCAR COM FOCO NA APLICAÇÃO EM TELHAS POLIMÉRICAS**. 2022. 76 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil., Faculdade Evangélica de Goianésia, Goianésia, 2022.

MATENCIO, Tulio. Importância dos materiais cerâmicos na nossa sociedade. Matéria (Rio de Janeiro), [S.L.], v. 25, n. 1, p. 1-2, abr. 2020. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1517-707620200001.1001>.

MIRANDA C.S., FIUZA R. P., CARVALHO R.F.; N.M. JOSÉ. Efeito dos tratamentos superficiais nas propriedades do bagaço da fibra de piaçava *attalea funifera martius*. Química Nova, vol. 38, n.2, p. 161-165, 2015.

MOCHANE M. J. *et al.*, “Recent progress on natural fiber hybrid composites for advanced applications: A review,” *Express Polym. Lett.*, vol. 13, no. 2, pp. 159–198, 2019, doi: 10.3144/expresspolymlett.2019.15.

MOHANTY, A. K. & MISRA, M., Studies on jute composites- A literature review, *Polym. Plast. Technol. Eng.*, 34(5), 729-792 (1995).

MONTEIRO, S.N.; TERRONES, L.A.H.; CAMERINI, A.L; PETRUCCI, L.J.T. D’Almeida, J.R.M. (2006): Compósitos de tecido de juta reforçando matriz de polietileno. In: 61º Congresso Anual da Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais, Rio de Janeiro - RJ, Brasil, 1CD. P. 1- 8.

MORAES, Ygor Macabu de *et al.* AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO EM COMPOSITOS DE MATRIZ DE POLIESTER REFORÇADOS COM FIBRAS DE MALVA. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 72., 2017, São Paulo. Anais do Congresso Anual da ABM. São Paulo: Amb Week, 2017. p. 1-6.

MORAES, Ygor Macabu de *et al.* AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À TRAÇÃO EM COMPOSITOS DE MATRIZ DE POLIESTER REFORÇADOS COM FIBRAS DE MALVA. In: CONGRESSO ANUAL DA ABM, 72. 2017, São Paulo. Anais do Congresso Anual da ABM. São Paulo: Amb Week, 2017. p. 1-6.

NETO F. L., PARDINI L. C., Compósitos estruturais Ciência e tecnologia, Edgard Blücher: São Paulo, 2006.

NEVES, Anna Carolina Cerqueira; OLIVEIRA, Caroline Gomes de; FERREIRA, Marcos Vinícius Fonseca; MARGEM, Frederico Muylaert; MONTEIRO, Sérgio Neves. **ENSAIO DE TRAÇÃO EM COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS POR FIBRAS DE EUCALIPTO**, p. 673-678. In: *71th ABM Annual Congress*, Rio de Janeiro, 2016. ISSN: 2594-5327, DOI 10.5151/1516-392X-27749.

NEVES, Anna Carolina Cerqueira; ROHEN, Lázaro Araújo; VIEIRA, Janaina da Silva; VIEIRA, Carlos Maurício Fontes; MARGEM, Frederico Muylaert; MONTEIRO, Sergio Neves; MANTOVANI, Dhyemila de Paula. **PROPRIEDADES EM TRAÇÃO DE COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIÉSTER REFORÇADOS COM FIBRAS DE CÂNHAMO**, p. 649-653. In: *71th ABM Annual Congress*, Rio de Janeiro, 2016. ISSN: 2594-5327, DOI 10.5151/1516-392X-27745.

NÓBREGA, M. M. S. Compósitos De Matriz Poliéster Com Fibras De Caroá Neoglaziovia Variegata: Caracterização Mecânica E Sorção De Água. 2007. 123 f. Tese (Doutorado em Engenharia De Processos) – Universidade Federal De Campina Grande – UFCG, Campina Grande, PB, 2007.

OLIVEIRA FILHO, E. G. Avaliação do comportamento mecânico de compósitos poliméricos reforçados com fibras de juta. 74º Congresso Anual da ABM – Internacional, 01 a 03 de Outubro de 2019, São Paulo, SP, Brasil.

ONUAGULUCHI, Obinna; BANTHIA, Nemkumar. Plant-based natural fibre reinforced cement composites: a review. Canada: Elsevier, 2016.

PAIVA A. M. Agricultura camponesa e desenvolvimento rural/local : Um estudo da organização da produção de juta e malva na várzea do município de Manacapuru. Statewide Agricultural Land Use Baseline, v. 1, 2015.

PANZERA, T. H.; RUBIO, J.C.C. Estudo do Comportamento Mecânico de um Compósito Particulado de Matriz Polimérica. Disponível em: Acesso em fevereiro de 2010.

PARADA QUINAYÁ. Fabricação e caracterização de materiais compósitos resina epóxi fibras de bucha luffa cylindrica. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2016.

PARDAL, Ana Cristina. Conceito de Materiais Compósitos. Disponível em: <<http://knoow.net/cienciasexactas/quimica/materiais-compositos/>>. Acesso em: 9 set. 2022

PAULA, Paula Gomes de. **Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica**. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes –Rj, 2011. Disponível em: <https://docplayer.com.br/5592143-Formulacao-e-caracterizacao-de-compositos-com-fibras-vegetais-e-matriz-termoplastica.html>. Acesso em: 25 out. 2022.

M. PRACELLA, D. CHIONNA, I. ANGUILLES, Z. KULINSKI AND E. PIORKOWSKA, “Functionalization, Compatibilization and Properties of Polypropylene Composites with Hemp Fibres,” Composites Science and Technology, Vol. 66, No. 13, 2006, pp. 2218-2230. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compscitech.2005.12.006>

PEREIRA, Júlio Miguel da Cruz Rodrigues. **Desenvolvimento e fabrico de compósitos de matriz polimérica com fibras naturais**. 2017. 152 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Concepção e Desenvolvimento de Produto, Instituto Politécnico de Leiria, Leiria, 2017.

PINHEIRO, Antonio Carlos da Fonseca Bragança; CRIVELARO, Marcos. **Materiais de Construção**. São Paulo: Érica, 2018. 196 p.

PIRES, Ana Luiza R.; BIERHALZ, Andréa C. K.; MORAES, Ângela M.. BIOMATERIAIS: tipos, aplicações e mercado. **Química Nova**. Campinas, p. 1-15. maio 2015.

RAFAEL SILVA, SHIRANI K. HARAGUCHI, EDVANI C. MUNIZ E ADLEY F. RUBIRA. Aplicações de fibras lignocelulósicas na química de polímeros e em compósitos. *Química Nova*, Vol. 32, No. 3, 661-671, 2009.

RAMAMOORTHY, S.K., SKRIFVAR, M., PERSSON, A. A review of natural fibers used in biocomposites: plant, animal and regenerated cellulose fibers. *Polym, rev.* 55, p. 107–162, 2015.

REDDY, J.N., MIRAVETE, A. *Practical Analysis of Composite Laminates*. Flórida: CRC Press, 1995.

RWAWIREE, S.; HABBI, G.; OKELLO, J. Comparative evaluation of dynamic mechanical properties of epoxy composites reinforced with woven fabrics from Sansevieria (*Sansevieria trifasciata*) fibres and banana (*Musa sapientum*) fibres. *Tekstiles*, p. 315-320, 2014.

SANTOS, A. M. Estudo de Compósitos Híbridos Polipropileno/Fibras de Vidro e Coco para Aplicações em Engenharia. 2006. 90f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, 2006.

SATYANARYANA K.G., F. WYPYCH, J.L. GUIMARÃES, C.S. AMICO, T.H.D. Sydenstricker and L.P. Ramos, (2005) Studies on natural fibers of Brazil and green composites, *Met Mater Proc* 17 (3–4) (2005), pp. 183–194.

SILVA, Fernando Afonso da; RABELO, Denilson. O Uso Sustentável de Polímeros. *Revista Processos Químicos*, Goiânia, v. 1, n. 1, p. 1-8, jun. 2017.

SILVA, Flavio de Andrade; CHAWLA, Nikhilesh; TOLEDO FILHO, Romildo Dias de. Tensile behavior of high performance natural (sisal) fibers. **Composites Science And Technology**, [S.L.], v. 68, n. 15-16, p. 3438-3443, dez. 2008. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compscitech.2008.10.001>.

SILVA, R. V.; BOSE, FILHO, W. WE.; SPINELLI, D.(2002) “Sisal Weave-Polyurethane Composite: Mechanical and Dynamical Properties” In: FOURTH INTERNATIONAL Referências Bibliográficas 139 SYMPOSIUM ON NATURAL POLYMERERS AND COMPOSITES, 2002. Anais. São Paulo.

SOLIDUS JUNIOR,. **O que é engenharia de materiais?** 2021. Disponível em: <https://blog.solidusjr.com.br/o-que-e-engenharia-de-materiais/>. Acesso em: 29 out. 2022.

VENTURA, A. M. F. M.: “Os compósitos e as suas aplicações na reabilitação de estruturas metálicas”, Ciência e Tecnologia dos Materiais, vol. 21, n° ¾, 2009.

VIEIRA, Isabella Cristina Boroto et al. COMPORTAMENTO MECÂNICO DE COMPÓSITOS DE FIBRAS ALEATÓRIAS DE SISAL COM RESINA POLIÉSTER. Gramado: Ibeas, 2020. 6 p.

WANG, W.; SAIN, M.; COOPER, P.A.. Study of moisture absorption in natural fiber plastic composites. **Elsevier**: Composites Science and Technology, v. 66, n. 3-4, p. 379-386, mar. 2006.