



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO PIAUÍ
CAMPUS TERESINA CENTRAL
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

HEMILLY KEREM GOMES DE LIMA SANTOS

**PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE LIGA À BASE DE
BURITI PARA CONFEÇÃO DE PRÓTESES TRANSTIBIAIS ORTOPÉDICAS**

TERESINA

2021

HEMILLY KEREM GOMES DE LIMA SANTOS

PROCESSAMENTO E CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA DE LIGA À BASE DE
BURITI PARA CONFEÇÃO DE PRÓTESES TRANSTIBIAIS ORTOPÉDICAS

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como exigência parcial para
obtenção do diploma do Curso de
Bacharelado em Engenharia Mecânica, do
Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí, Campus Teresina
Central.

Orientadora: Prof. Ma. Ana Claudia Galvão
Xavier

TERESINA

2021

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD

Santos, Hemilly Kerem Gomes de Lima

S237p Processamento e caracterização mecânica de liga à base de buriti
para confecção de próteses transtibiais ortopédicas / Hemilly Kerem
Gomes de Lima Santos. - 2021.
38 f.: il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Mecânica) - Instituto Federal do Piauí, Campus Teresina Central, 2021.
Orientadora : Prof. Ma. Ana Claudia Galvão Xavier.

1. Prótese transtibial. 2. Ensaio mecânico. 3. Fibra vegetal. 4. Buriti.
I. Título.

CDD - 620.1

HEMILLY KEREM GOMES DE LIMA SANTOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como exigência parcial para obtenção do diploma do Curso de Bacharelado em Engenharia Mecânica, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Teresina Central.

BANCA EXAMINADORA

APROVADO EM: 03/12/2021

Prof. Ma. Ana Claudia Galvão Xavier (Orientadora)
Instituto Federal do Piauí

Prof. Dr. Ayrton de Sá Brandim (Membro)
Instituto Federal do Piauí

Prof. Dr Gilvan Moreira Paz (Membro)
Instituto Federal do Piauí

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pelo privilégio do dom da vida e por me mostrar o amor e cuidado Dele em todas as situações.

A minha família. Especialmente, a minha vó Maria de Jesus e aos meus pais Francisca e Erismar, que desde sempre não medem esforço para que eu consiga realizar todos os meus sonhos.

Aos meus amigos que conquistei nessa jornada, muito obrigado por compartilhar as dificuldades e alegrias. Vocês deixaram a caminhada bem melhor. Em especial ao Sávio, Fernanda, Hévelin e Thielson, é muito bom ter vocês na minha vida.

A minha orientadora, professora Ana Claudia Galvão Xavier, que sempre acreditou no presente trabalho, grata por toda paciência e inspiração.

Ao Instituto Federal do Piauí por me proporcionar experiências únicas e desafiadoras, que se tornaram estímulo para o meu desenvolvimento pessoal e profissional.

Tem uma frase de um caderninho, em francês, que diz que, se uma pessoa acredita em você, você se torna 15 vezes mais forte. Por isso, o meu trabalho é dedicado a todos que me deixaram um pouco mais forte nessa caminhada para chegar aqui. Muito obrigada!

“Devemos acreditar que somos talentosos para algumas coisas, e que essa coisa, a qualquer custo, deve ser alcançada.”

Marie Curie

RESUMO

A utilização das fibras lignocelulósicas ganharam destaque nos últimos anos, devido à preocupação no desenvolvimento de materiais sustentáveis. Esse impulso permitiu o estudo e, conseqüentemente, o desenvolvimento de materiais feito a partir de fibra vegetal, dentre e a fibra do buriti (*Mauritia flexuosa* L.), cujas propriedades mecânicas têm chamado atenção no mercado têxtil e na construção civil. Assim, o presente trabalho tem como objetivo estudar o uso da fibra do buriti como reforço na produção de próteses transtibiais ortopédicas. Para tanto após a confecção dos corpos de provas, executou-se ensaios mecânicos preconizados nas normas vigentes para a validação do seu uso, como os: ensaios de flexão, de tração e de impacto e, posteriormente, analisou-se sua viabilidade com relação aos materiais mais utilizados na produção de próteses ortopédicas. Espera-se que os resultados desta pesquisa, possibilite a inserção da fibra de buriti da indústrias de produtos ortopédicos, com enfoque na produção de próteses transtibiais para membros inferiores e superiores, dessa forma busca-se atender a demanda existente no Brasil por próteses de preço acessível para a população de baixa renda, através do estudo de um material alternativo.

Palavras-chave: Prótese transtibial. Ensaio mecânico. Fibra vegetal. Buriti.

ABSTRACT

The use of lignocellulosic fibers has gained a lot in recent years, due to the worldwide concern in the development of sustainable materials. This impulse boosted the study and consequently the development of materials made from vegetable fiber, among them buriti (*Mauritia flexuosa* L.), whose mechanical properties have drawn considerable attention in the textile market and in civil construction. Thus, the present work aims to enable the use of buriti fiber as reinforcement in the production of orthopedic transtibial prostheses. Thus, mechanical tests recommended for validation of its use, among them, were carried out. Flexion, Traction and Charpy and later analyzed its viability in relation to the materials already used and inserted in the market. It is expected that the results of this research allow the insertion of buriti fiber in the hospital environment, focusing on the production of lower and upper limbs prostheses, thus seeking to meet the demand that exists in Brazil for affordable prostheses for the low population, through the study of an alternative material.

Keywords: Transtibial prosthesis. Mechanical tests. Vegetable fiber. Buriti

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Distribuição de Buriti na América do Sul	13
Figura 2 – Classificação dos tipos de fibra	17
Figura 3 – Fibra do buriti <i>in natura</i>	21
Figura 4 – Fibra do buriti moída	22
Figura 5 – Fibra do buriti após lavagem com NaOH	23
Figura 6 – Processo de filtração da fibra com peróxido de hidrogênio	24
Figura 7 – Resina Isoftálica	25
Figura 8 – Fibra do buriti em processo de cura	26
Figura 9 – Máquina de ensaio de impacto com a amostra 1	28
Figura 10 – Gráfico de tensão x deformação dos compósitos obtidos	29
Figura 11 – Gráfico de flexão do compósito de 5%	31
Figura 12 – Gráfico de flexão do compósito de 10%	32
Figura 13 – Gráfico de flexão do compósito de 15%	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diferentes tipos de resina de poliéster	20
Tabela 2 – Resultados mecânicos do buriti	21
Tabela 3 – Propriedade mecânicas de tração dos compósitos	31
Tabela 4 – Propriedade mecânicas de flexão dos compósitos	34
Tabela 5 – Propriedade mecânicas de impacto compósitos	35

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASM	American Society for Microbiology
CP	Corpo de Prova
ISO	International Organization for Standardization
NBR	Norma Técnica Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA	14
1.2 OBJETIVOS	14
1.2.1 Geral	15
1.2.2 Específicos	15
1.3 JUSTIFICATIVA	15
1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
2. BIOCAMPÓSITOS	17
2.1.1 Matrizes termorrígidas	19
2.1.2 Resina poliéster	20
2.2 BURITI.....	21
3 METODOLOGIA	22
3.1 FIBRAS DA FOLHA DO BURITI	22
3.1.1 Preparação das fibras do buriti.....	23
3.1.2 Tratamento alcalino da fibra do buriti	23
3.1.3 Matriz termorrígida.....	25
3.1.4 Confeção dos corpos de prova.....	25
3.2 ENSAIOS DESTRUTIVOS	26
3.2.1 Ensaio de tração.....	26
3.2.2 Ensaio de dobramento.....	27
3.2.3 Ensaio de impacto.....	27
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	28
4.1 ENSAIO DE TRAÇÃO EM COMPÓSITOS DE BURITI.....	28
4.2 ENSAIO DE FLEXÃO EM COMPÓSITOS DE BURITI.....	30
4.3. ENSAIO DE IMPACTO.....	32
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	33
5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	34
REFERÊNCIAS.....	35

1 INTRODUÇÃO

Da ideia de formar um material, que une as principais qualidades de materiais conhecidos, surgiu o que comumente chama-se de compósito. Os compósitos são constituídos por uma fase de esforço, formada por fibras, partículas ou folhas, dispersa numa matriz. Atualmente, existem diversos tipos de materiais que podem configurar a matriz de compósitos; se esta for formada por polímeros, termoplásticos e termorrígidos, a matriz é denominada matriz polimérica. (SALES *et al.*, 2020).

O desenvolvimento de novos compósitos de matriz polimérica conquistou grandes avanços, na última década, devido à quantidade de tipos diferentes de fibras encontrados na natureza. E a crescente preocupação com o meio ambiente na produção de fibras sintéticas devido a emissão de gases CO e CO₂, responsáveis pelo efeito estufa situações essas que auxiliam no agravamento da degradação ambiental, motivou a pesquisadores buscarem alternativas na produção de compósitos e uma dessas é a utilização das fibras vegetais lignocelulósicas.

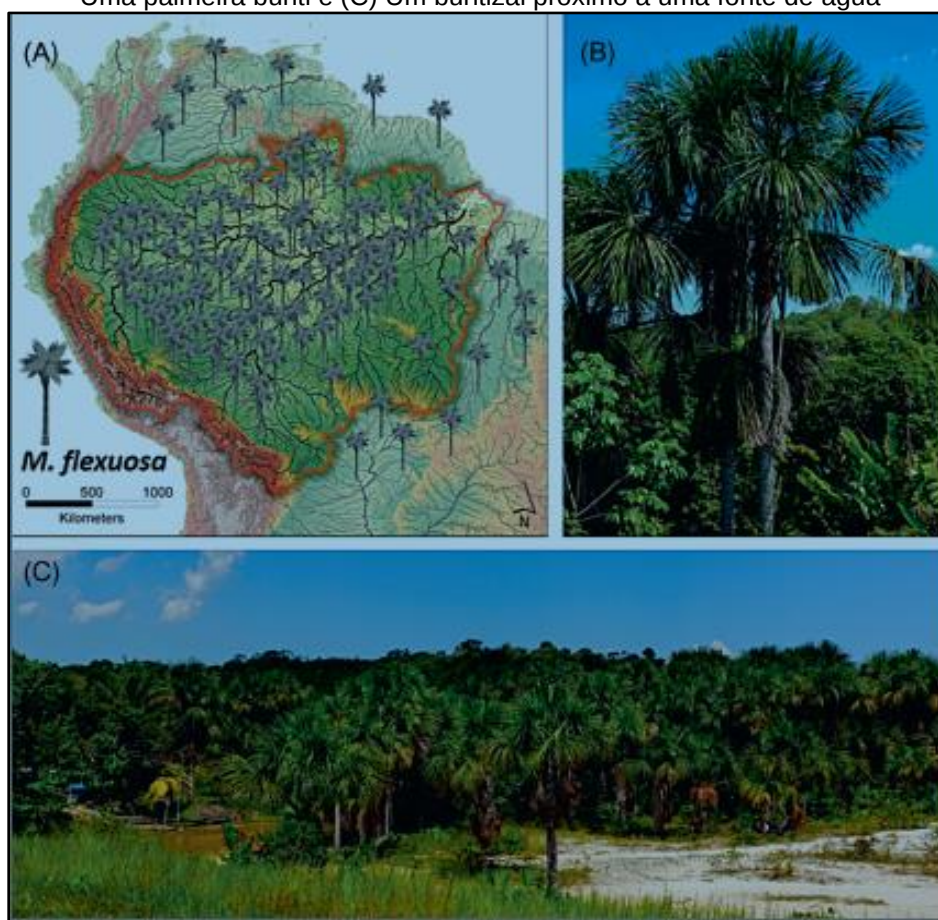
Essas fibras que normalmente possuem baixa densidade, proporcionando assim uma alta relação resistência/peso, são porosas, não são abrasivas, possuem viscoelasticidade, são biodegradáveis, além de serem obtidas de fontes renováveis (KHAN, YILMAZ E YILMAZ, 2017). O aumento da popularidade dos compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais se deve principalmente ao seu processo de fabricação mais econômico. As aplicações de tais compósitos têm aumentado rapidamente desde as últimas duas décadas como substituto potencial dos materiais à base de fibra sintética em diversos campos dos setores de engenharia, incluindo automotivo, aeroespacial, marítimo, construção avançada, dispositivo de armazenamento de energia e até mesmo em materiais biomédicos.

Dessa forma, o presente estudo destina-se ao estudo comparativo do uso da fibra vegetal feita a partir da folha da palmeira *Mauritia flexuosa* L. f., popularmente chamada de buriti, em comparação aos materiais comumente utilizados, que são os aços inoxidáveis, as ligas de titânio e o polímero feito a partir de polietileno através de ensaios mecânicos preconizados norma na NBR 10326:2016 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 2016).

Mauritia flexuosa L. f. (Arecaceae) é uma palmeira nativa da Amazônia peruana que se espalha pela planície das bacias do Amazonas, Orinoco, Paraná e Tocantins

(SANTOS, 2005) (Figura 1A). Buriti (Figura 1B) é o nome mais popular desta palmeira no Brasil, enquanto também é conhecida como aguaje no Peru, kikyura na Bolívia e moriche na Colômbia e Venezuela (SILVA *et al.*, 2014). Buriti é a palmeira mais abundante da América do Sul, ocupando áreas exclusivamente que possuem solos hidromórficos (ENDRESS *et al.*, 2013) e foi a primeira palmeira amazônica cientificamente descrita em 1781. Florestas homogêneas dominadas por buriti são facilmente encontradas em áreas pantanosas das formações amazônicas conhecidos como buritizais (Figura 1C), que cobrem milhões de hectares e desempenham vários papéis ecológicos importantes como na construção civil na produção de telhas ecológicas e painéis acústicos, na indústria têxtil na produção de bolsas, carterias e roupas, feitas de material alternativo (BODMER,1991; GURGEL-GONÇALVES *et al.*, 2012). Sabendo disso, além das características que as fibras lignocelulósicas tem, abundância da planta no território faz ela ser um excelente objeto de estudo.

Figura 1: (A) Distribuição de Buriti na América do Sul com destaque para a Bacia Amazônica, (B) Uma palmeira buriti e (C) Um buritizal próximo a uma fonte de água



Fonte: Silva (2014)

1.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (2016), há uma forte relação entre a pobreza e a deficiência física, visto que, no mundo, apenas cerca de 10% das pessoas que necessitam de produtos assistivos, como próteses e órteses, têm acesso a esses. Elias *et al.* (2007) complementam ao afirmar que 80% das pessoas com deficiência no mundo vivem com baixa renda. Para Boccolini (2000), esta relação entre deficiência e pobreza é preocupante, visto que uma amputação para indivíduos de baixas renda e escolaridade pode comprometer ou mesmo impedir o desempenho de seu trabalho, influenciando diretamente na garantia de seu sustento e de sua família.

Além do alto custo, resultante do emprego de tecnologias e materiais de alto desempenho, os impactos negativos se propagam também ao meio ambiente, visto que, além de tratar-se de matérias primas não recicláveis, liberam resíduos e gases nocivos durante sua produção e manuseio (CAMPBELL *et al.*, 2012; CHOWDARY, 2014). Somado a isso, tem-se a impossibilidade de reutilização dos produtos, visto que órteses e alguns componentes de próteses são confeccionados especificamente para cada usuário, não havendo outra opção senão o seu descarte após sua vida útil. Este quadro, agrava-se com o aumento da utilização de materiais nocivos ao meio ambiente, o que preocupa profissionais de diversos setores no que se refere a um dos maiores problemas da sociedade atual: o descarte de lixo. Por possuírem degradação extremamente lenta podem levar décadas ou até mesmo séculos para completa desintegração (CANGEMI, 2006; CAMPBELL *et al.*, 2012; CHE ME; *et al.* 2012).

Sabendo disso, a presente pesquisa se caracteriza como o primeiro passo na regulamentação do uso da fibra vegetal do buriti, que é a sua caracterização mecânica com base na norma ISO 10328: 2016 (Teste estrutural de próteses de membros inferiores: Requisitos e métodos de teste).

1.2 OBJETIVOS

No direcionamento do estudo foram definidos os seguintes objetivos:

1.2.1 Geral

Desenvolver estudo sobre a forma de extração e fabricação da fibra de buriti retirada da folha da palmeira e realizar ensaios para determinação das propriedades mecânicas da fibra, com vistas ao uso na produção de próteses transtibiais ortopédicas.

1.2.2 Específicos

- Realizar o tratamento químico superficial com (NaOH) na fibra do buriti;
- Determinar as propriedades mecânicas da fibra do buriti;
- Definir viabilidade com relação as propriedades mecânicas da fibra vegetal na produção de prótese transtibiais, através da análise comparativa com outros materiais utilizados para esse fim.

1.3 JUSTIFICATIVA

O encarecimento da produção de próteses se dá por causa do alto custo da matéria prima usada na fabricação. Por isso, se fosse usado materiais disponíveis em abundância em solo brasileiro, o custo de produção reduziria e certamente o processo de tratamento do material seria simplificado. Tornando-os mais acessíveis, principalmente, à comunidade de baixa renda.

Este trabalho pautar-se-á em estudos e análises para desenvolver um compósito de fibra de buriti, executar ensaios das propriedades mecânicas e comparar os resultados com as principais propriedades dos materiais mais usados na fabricação de próteses.

Dessa forma, pretende-se melhorar a qualidade de vida de pessoas de baixa renda que tiveram membros destituídos, e, por conta do alto custo de aquisição, limitam-se ao uso de próteses pesadas, sujeitas a incerteza da geometria da peça, que podem causar desconfortos intensos e que dificultam a locomoção, ou não as utilizam. Espera-se que a produção de fibras vegetais do buriti, deixará as peças com um menor custo, tornando a próteses ortopédicas mais leves, de boa qualidade, contribuindo, assim, para a acessibilidade de amputados.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em 5 Capítulos. O primeiro capítulo trata de uma breve introdução sobre os compósitos formados por matriz polimérica e reforçados com fibras lignocelulósicas.

O Capítulo 2 tratará da revisão de literatura, na qual, serão abordados tópicos como a utilização da fibra vegetal do buriti como reforço, do uso de outras fibras vegetais em próteses ortopédicas e o comparativo com os materiais mais utilizados atualmente.

No Capítulo 3 será abordada a metodologia, detalhando o procedimento para a qualificação do uso do buriti por meio de ensaios mecânicos.

O Capítulo 4 apresenta os resultados e discussões acerca do que foi proposto. Apresentando os resultados de todos os ensaios realizados. E, por fim, no Capítulo 5, são expostas as conclusões, a respeito dos resultados apresentados.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O conteúdo da fundamentação teórica aborda os aspectos que nortearam o processo de desenvolvimento deste trabalho, relacionados ao projeto, produção e avaliação dos compósitos desenvolvidos com foco em validar um material alternativo na produção de próteses ortopédicas que esteja alinhado com a sustentabilidade e, também, com a acessibilidade a todos, a sequência a seguir valida os passos tomados na metodologia do presente trabalho.

2.1 BIOCOMPÓSITOS

Uma das medidas essenciais de quando se pensa em um projeto sustentável é a escolha de materiais renováveis não agressivos, recicláveis e/ ou de baixo consumo energéticos. E, uma categoria que combina todas essas características sem prejudicar as propriedades dos materiais são os compósitos (SANTOS, 2018).

Por permitir diversas combinações de materiais dificilmente encontrados na natureza, e ainda combinar baixo peso, resistência mecânica e baixo custo, os compósitos vêm ganhando cada vez mais espaço nos setores automotivos, construtivos e aeroespaciais (FOWLER; HUGHES; ELIAS, 2006).

Os biocompósitos, por sua vez são constituídos principalmente pela combinação de uma matriz, que pode ser um polímero biodegradável como óleos vegetais ou amidos, com reforços biodegradáveis de origem natural e renovável como, por exemplo, fibras lignocelulósicas e semelhantes (KHAN; YILMAZ; YILMAZ, 2017).

Os materiais compósitos geralmente são denominados de acordo com a sua fase dispersa, que pode ser constituída por Partículas, ou seja, fragmentos de um material específico, ou fibras, que são filamentos contínuos obtidos a partir de fontes naturais (e.g. animais, plantas, minerais) ou sintéticas (CHOWDARY, 2014) (Figura 2).

Figura 2 – Classificação dos tipos de fibra



Fonte: Adaptado de Chowdary (2014)

A maioria dos plásticos não é adequada para aplicações de suporte de carga devido à baixa de resistência, rigidez e estabilidade dimensional (MOHANTY *et al.*, 2005). Enquanto, as fibras apresentam alta resistência e rigidez, mas sua aplicação como suporte de carga é dificultada por sua estrutura fibrosa. Este problema é resolvido com a combinação dessas fibras com matrizes plásticas que resultam em um compósito cujas fibras atuam como reforço, proporcionando força e rigidez para a estrutura enquanto a matriz serve como adesivo para estabilizar as fibras (SANTOS, 2018).

De maneira geral, os compósitos poliméricos reforçados por fibras são adequados a algumas aplicações específicas pela possibilidade de serem personalizados de acordo com a necessidade de aplicação e por possuírem formato complexo não obtido facilmente por outros materiais. Além disso, quando associado a uma matriz polimérica, apresenta alta resistência química, alto módulo elástico e resistência à tração específica (AGARWAL; BROUTMAN, 1990), resultando em materiais resistentes e leves.

Compósitos com fibras naturais têm potencial para aplicação em componentes sujeitos aos carregamentos leves ou moderados. Podem substituir polímeros ou mesmo compósitos como fibras de vidro em muitas situações. As principais aplicações estão: na construção civil, indústria de móveis, embalagens e no ramo automotivo.

Portas e partes laterais de automóveis são feitas com compósitos de fibras naturais e resina fenólica, poliéster ou polipropeno. As principais vantagens, neste caso, são as reduções de custo e peso dos veículos. (SCHUCH; GAYER,1996; DAHLE *et al.*,1998; SUDDDEL *et al.*, 2002).

A ASM (2001) retrata que o melhor desempenho mecânico dos compósitos são aqueles reforçados por fibras contínuas, principalmente pelo fato de terem propriedades anisotrópicas, ou seja, baixa resistência a tração na direção paralela as fibras. Oposto acontece quando as fibras são aplicadas perpendicularmente apresentando baixo desempenho mecânico.

As maiores limitações na utilização das fibras naturais estão no seu baixo desempenho mecânico e alta absorção de umidade. (JOSEPH *et al.*, 2002; SINGLETON *et al.*, 2003; DIPA *et al.*, 2002; ESPERT *et al.*, 2004). Se o material não for adequadamente seco, antes do processamento, haverá a formação de um produto com porosidade e com microestrutura semelhante a um expandido estrutural. Esta distribuição de porosidade é influenciada pelas condições de processamento e, conseqüentemente, trará comprometimento às propriedades mecânicas do material modificado (MARINELLI, 2008).

Uma alternativa promissora para minimizar ou mesmo resolver este problema é o processo de hibridização com associação de fibras naturais e sintéticas. Estas últimas, em geral, são materiais relativamente inertes, imune ao ataque biológico e com boa resistência a alguns agentes químicos e solventes (TWE; LIAO, 2003; TWE *et al.*, 2002; KALAPRASAD; KURUVILLA,1997).

Dessa forma, o presente trabalho, tem como enfoque principal, apresentar a possibilidade da fibra do buriti ser utilizada como material para a fabricação do esqueleto que constitui a sustentação de próteses ortopédicas, levando em consideração, a larga usabilidade das fibras vegetais nos mais diversos setores industriais e tendo como base a norma regulamentadora NBR ISO 16237-3. Com isso procura-se, viabilizá-la para o uso pós hospitalar, na produção em especial de próteses nos membros inferiores.

2.1.1 Matrizes termorrígidas

As resinas termorrígidas são obtidas a partir de oligômeros de baixo peso molecular e normalmente se apresentam na forma de um líquido de baixa a média viscosidade. A reação de reticulação se dá através da adição de um agente de cura (catalisador) ou pelo aumento da temperatura. O processo de pós-cura é recomendável para que se obtenha o máximo em propriedades mecânicas. O sistema rígido resultante é uma rede macromolecular altamente reticulada, infusível e insolúvel, exibindo alta resistência/rigidez mecânica com um mínimo de tenacidade e alta estabilidade térmica (PILATO, *et al.*, 1994; ROSATO, 2004).

2.1.2 Resina poliéster

As resinas de poliéster são uma família de polímeros (Quadro 1) formados da reação de ácidos orgânicos dicarboxílicos (anidrido maleico ou ftálico) e glicóis, que, quando reagidos, dão origem a moléculas de cadeias longas lineares. O tipo de ácido influencia as propriedades finais da resina e poliésteres ortoftálicas, isoftálicas e tereftálicas podem ser produzidas (GIACOMINI, *et al.*, 2000).

A reação de síntese da resina poliéster é uma reação de polimerização por condensação em etapas, ou seja, a reação de um álcool (base orgânica) com um ácido, resultando em uma reação de esterificação, formando um éster e água. O grupo funcional [-COO-] é o grupo éster. A reação é reversível e, na prática, o equilíbrio é deslocado na direção da esterificação, com eliminação de água do meio reacional. Se a reação se processar com um diálcool e um diácido, o produto resultante contará com diversos grupos éster, dando origem a um poliéster, cujas unidades são unidas entre si por ligações éster (LEVY NETO, *et al.*, 2006).

Quadro 1 – Diferentes tipos de resinas poliéster

Tipos	Comentários
Ortoftálica	Resina mais comum, de menor custo, para uso básico.
Tereftálica	Possui resistência física um pouco superior à ortoftálica porém baixa resistência à UV.
Isoftálica	Melhores características mecânicas, químicas e térmicas que as anteriores.

Isoftálica c/ NPG	O NPG melhora a resistência à hidólise.
Bisfenólica	Possui as melhores características químicas e térmicas.

Fonte: Adaptado de SILAEX (2018)

2.2 BURITI

O buriti (*Mauritia flexuosa*) é uma planta tipicamente da floresta Amazônica e cerrado e é considerada uma das palmeiras mais abundantes do país. Ocorrem em toda a Amazônia, Brasil Central, Bahia, Ceará, Maranhão, Minas Gerais, Piauí e São Paulo nas áreas baixas de florestas abertas e fechadas, sobre solos mal drenados, brejosos ou inundados (SARAIVA, 2009).

Palmeira de porte elegante, com estipe ereto de até 35 m de altura, apresenta folhas grandes, dispostas em leque. Flores em longos cachos de até 3 m de comprimento, de coloração amarelada, surgem de dezembro a abril. Seu fruto tem aparência de uma elipsoide, castanho-avermelhado, de superfície revestida por escamas brilhantes. Polpa marcadamente amarela. Semente oval dura e amêndoa comestível. Frutifica de dezembro a junho. (BARBOSA, 2011).

No âmbito científico poucos estudos mostram o potencial mecânico da fibra do buriti como substituição de materiais existentes. Santos *et al.* (2008) investigou a caracterização microestrutural e mecânica da fibra de buriti para utilização como reforço em compósitos poliméricos. Obteve valores de resistência a tração de 684 MPa e módulo de elasticidade de 36,26 GPa que são próximos dos valores encontrados em outras fibras como mostrado na Tabela 1.

Tabela 1 - Resultados mecânicos

PARÂMETRO	Buriti
Resistência a tração (MPa)	684
Módulo elástico (GPa)	36, 26
Resistência específica	97,7
Módulo específico	5,18

Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2008)

Assim as propriedades mecânicas, morfologia da superfície e a microestrutura das fibras de buriti apresentam valores semelhantes aos encontrados na literatura para outras fibras vegetais. Os valores específicos obtidos para as fibras de buriti são

interessantes e justificam um aprofundamento nas pesquisas, como será discutido na presente tese.

3 METODOLOGIA

O presente trabalho de Conclusão de Curso foi desenvolvido em nível teórico experimental com foco na produção de compósitos feitos a partir da matéria prima da fibra do buriti para sua possível utilização como reforço em tubos de próteses ortopédicas, a parte utilizada foi extraída da folha da palmeira *Mauritia flexuosa* L., e adquirida no mercado local em Teresina, no Estado do Piauí. Na Figura 3 é representada a forma *in natura* dessa. A fibra foi por sua vez, foi submetida a tratamentos químicos e depois a ensaios mecânicos.

Figura 3 - Fibra do buriti (*in natura*)



Fonte: Autoria própria (2019)

Dessa forma, a metodologia desse trabalho é composta por duas etapas a primeira com foco no tratamento químico realizado para obtenção do compósito e a segunda parte com os ensaios mecânicos propostos pela NBR 16237-3 para validação da confecção da prótese ortopédica.

3.1 FIBRAS DA FOLHA DO BURITI

3.1.1 Preparação das fibras do buriti

As fibras de buriti depois de adquiridas foram cortadas em comprimentos de 5 cm a 7 cm com auxílio de uma tesoura para facilitar o processo de trituração, nesse foi utilizado o moinho de facas da marca Nova Orgânica, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Fibra do buriti moída



Fonte: Autoria própria (2019)

3.1.2 Tratamento alcalino da fibra do buriti

Inicialmente as fibras moídas foram tratadas em solução de NaOH a 5%(m/v) em temperatura ambiente por um período de 180, 60 e 30 minutos, respectivamente para remover as impurezas e substâncias insolúveis aderidas à superfície externa das paredes celulares das fibras, como descrito por Rosa *et al.* (2010). Em seguida foram filtradas e lavadas com água destiladas até atingir o PH neutro. Como representado na Figura 5.

Figura 5 - Fibra do buriti após lavagem com NaOH



Fonte: Autoria própria (2019)

Segue-se no processo de tratamento. O branqueamento das fibras que foram previamente tratadas em meio alcalino, para isso foi colocado uma mistura de peróxido de hidrogênio 11% (v/v) em temperatura ambiente e agitada vigorosamente por 60 min. O sistema permaneceu em repouso por 24h. Depois foi filtrada a vácuo e lavada até atingir o pH neutro. A fibra foi secada em estufa com circulação de ar a 60° C. (Figura 6).

Figura 6 - Processo de filtração da fibra com peróxido de hidrogênio



Fonte: Autoria própria (2019)

3.1.3 Matriz termorrígida

Como apresentado nos objetivos gerais e específicos, o presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver a fabricação do compósito a partir do buriti usando este como reforço, dessa forma para a fabricação do compósito foi utilizada uma matriz termorrígida, mais precisamente a Resina Polimérica Poliéster Isoftálica com catalisador, pelas características supracitadas e, também, pela facilidade de processamento dos compósitos. A resina isoftálica foi adquirida pela autora e está ilustrada na Figura 7.

Figura 7 - Resina isoftálica



Fonte: Autoria própria (2019)

3.1.4 Confeção dos corpos de prova

Com as fibras devidamente tratadas, o passo seguinte foi o desenvolvimento dos corpos de prova para análise das fibras como reforço usado na construção de compósitos. Assim, os moldes foram confeccionados de silicone para evitar que os materiais se juntassem. Os corpos de provas foram confeccionados como uma solução de resina polimérica, catalisador e fibras de buriti moídas e tratadas. Foram criados corpos de provas com 30g, 40g e 50g de fibras, utilizando uma proporção de resina e endurecedor como propõe o fabricante de 50% resina e 50% catalisador, os

parâmetros de velocidade de avanço e dimensão da amostra foram determinados seguindo a norma ASTM D3039/ D3039m.

Figura 8 - Fibra de buriti no processo de cura



Fonte: Autoria própria (2019)

3.2 ENSAIOS DESTRUTIVOS

Com objetivo de validar o uso do buriti como reforço na produção de tubos de próteses ortopédicas transtibiais, foi realizado a primeira parte dos ensaios mecânicos exigidas pelos órgãos reguladores. Os ensaios exigidos pela norma ISO 10328 foram o de tração, dobramento e impacto.

3.2.1 Ensaio de tração

Os ensaios de tração foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos do Instituto Federal do Piauí, sendo utilizado o equipamento SHIMADZU AG-X Series com dimensões de acordo com a norma ASTM D638 com 13 mm de largura, 165 mm de comprimento e 3mm de espessura.

O princípio do teste de tração é a aplicação de uma força no sentido axial em um corpo padronizado, promovendo a deformação desse material. É através da medição da força necessária para deformá-lo nesse sentido específico, que é possível visualizar propriedades como o limite de resistência a tração e a tensão de escoamento.

3.2.2 Ensaio de dobramento

Conhecido também como, o ensaio de dobramento de três pontos, onde aplica-se na força F na linha central do corpo de prova e perpendicular à sua superfície para obtenção da deflexão máxima. A força é aplicada até a ruptura do material atinja o estado de ruptura. Desta forma, forma trata-se dos materiais mais completos, uma vez que o corpo de prova é exposto a dois esforços: tração na parte inferior e compressão na parte superior. Para a obtenção dos dados de Carga Máxima suportada e Deslocamento, aplicou-se uma força cisalhante na região central do plano superior do provete como mostra a figura (colocar), estando este devidamente apoiado por dois pontos móveis, representando uma viga bi apoiada.

Após a realização dos ensaios, foram gerados os resultados relacionados ao ponto de ruptura. Em seguida, foi calculado o Módulo de Resistência a Flexão e o Módulo de elasticidade, respectivamente, com as Eq. (1) e (2).

$$\sigma = ((3 \times P_{\text{máx}} \times S) \div (2 \times b \times d \times 2)) \text{ [Mpa]} \quad (1)$$

$$E = (S^3 ((P^2 - P^1)) \div (4 \times b \times d^3 (X_2 - X_1))) \text{ [Mpa]} \quad (2)$$

Onde σ é a resistência a flexão (MPa), $P_{\text{máx}}$ a carga máxima (N), a distância entre os apoios (mm), b a largura do corpo de prova (mm). O módulo de elasticidade (MPa), $(P_2 - P_1)$ é o incremento de força na seção reta da curva força-deformação (N) e $(X_2 - X_1)$, o incremento do deslocamento a meio comprimento do corpo de prova.

3.2.3 Ensaio de impacto

O total de seis amostras foram submetidas ao ensaio de resistência ao impacto na máquina Charpy disponível no laboratório de matérias do IFPI- Central com um pêndulo modelo XC-50. A energia do martelo de 11 J para as composições variam de 0 a 30%, os resultados dos ensaios foram analisados estatisticamente.

Figura 9 - Máquina de ensaio de impacto com a amostra 1



Fonte: Autoria própria (2019)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

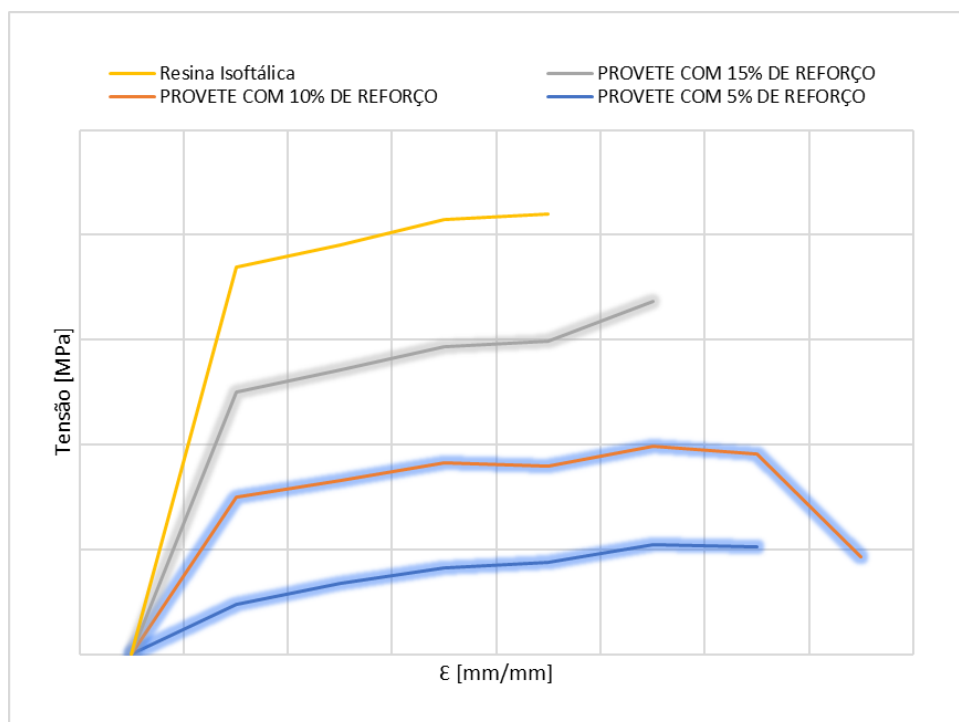
Os resultados da etapa de projeto se resumem na produção de compósitos desenvolvidos a partir da fibra vegetal e sua avaliação mecânica comparativa com os materiais mais utilizados na produção de produção de próteses. Assim, os resultados do trabalho foi dividido em produção de compósitos e avaliação mecânica do tubo de prótese.

4.1 ENSAIO DE TRAÇÃO EM COMPÓSITOS DE BURITI

Ao todo no ensaio de tração foram usados 9 corpos de prova formados, sendo divididos em grupo de 3 grupos de 3 com proporções de 5%, 10% e 15% de reforço de buriti. A partir do ensaio foi construído o gráfico de tensão-deformação dos compósitos formados, como é possível visualizar no gráfico abaixo.

É possível visualizar a formação de uma linha considerável linear entre os compósitos de cada composição com um desvio padrão médio de 0,05 a 0,09 entre cada. A tabela abaixo exemplifica os resultados encontrados das três composições

Figura 10 - Gráfico de tensão-deformação dos compósitos obtidos



Fonte: Autoria própria (2021)

Como o objetivo principal do presente trabalho é identificar o buriti como possível material de reforço para uso em próteses ortopédicas foi desenvolvido uma tabela comparativa, onde é possível visualizar os dados adquiridos no ensaio de tração e os que existem na bibliografia.

Tabela 2 - Propriedades mecânicas de tração dos compósitos

	RESISTÊNCIA TRAÇÃO (Mpa)	ALONGAMENTO (%)	MÓDULO DE ELASTICIDADE (E 0,25-0,50) GPa
Compósitos reforçados com 5% de buriti	25	11,20%	114
Compósitos reforçados com 10% de buriti	22	9%	126
Compósitos reforçados com 15% de buriti	39	12%	132
Resina Isofáltica	19	22%	112
Aço Inoxidável AISI 316L	200	40%	200
Liga Ti-6Al-4V	895	10%	124
Polímero UHMWPE	44	13%	750

Fonte: Autoria própria (2021)

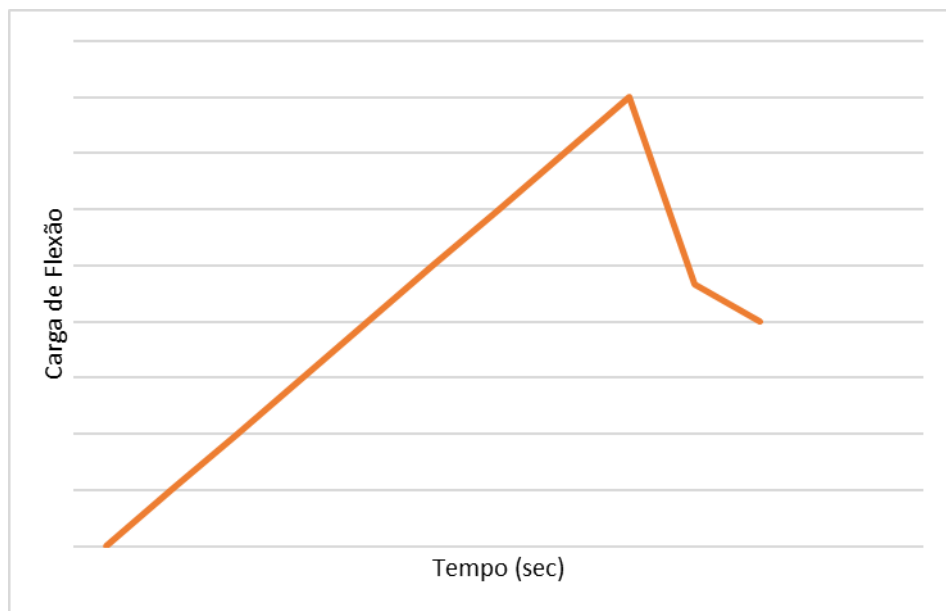
A resistência à tração do reforço a base de buriti ainda é muito baixa comparada aos materiais mais utilizados para a produção de próteses. Todavia, o resultado superior encontrado em relação a resina isoftálica exibe o potencial retratado por Barbosa (2011) quando usa-se diâmetros maiores a resistência mecânica pode diminuir, fato observado nos compósitos reforçados com 10% de fibras. Quando se olha para a média do alongamento até a ruptura das fibras mecânicas. O reforço composto por 15% de fibra vegetal, assemelha-se ao polímero UHMWPE, conhecido devido ao baixo coeficiente de atrito nas articulações o que aliado aos benefícios de biocompatibilidade do buriti por ser uma fibra vegetal, é um excelente resultado.

O módulo de elasticidade da fibra que calcula a resistência do material quanto a deformação plástica exibe que os compósitos alcançaram próximos as ligas de titânio e do aço inoxidável AISI 316L.

4.2 ENSAIO DE FLEXÃO EM COMPÓSITOS DE BURITI

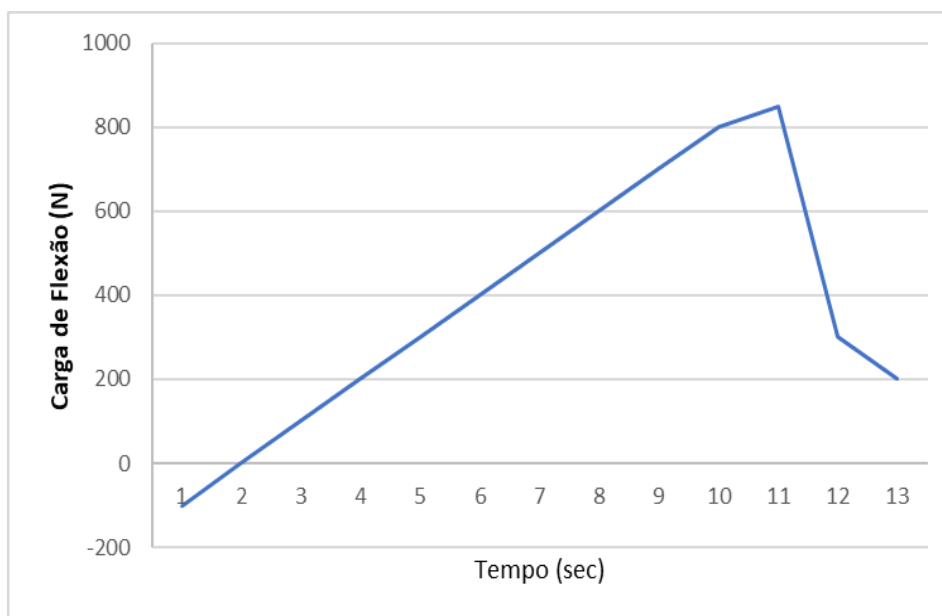
Como proposto por Barbosa (2011) os ensaios de flexão foram feitos de acordo com a norma ASTM D 790-03, através deste obteve resultados de flexão máxima dada em Newton e o deslocamento máximo em milímetros.

Figura 11 - Gráfico de flexão compósito de 5%/ de fibra de buriti



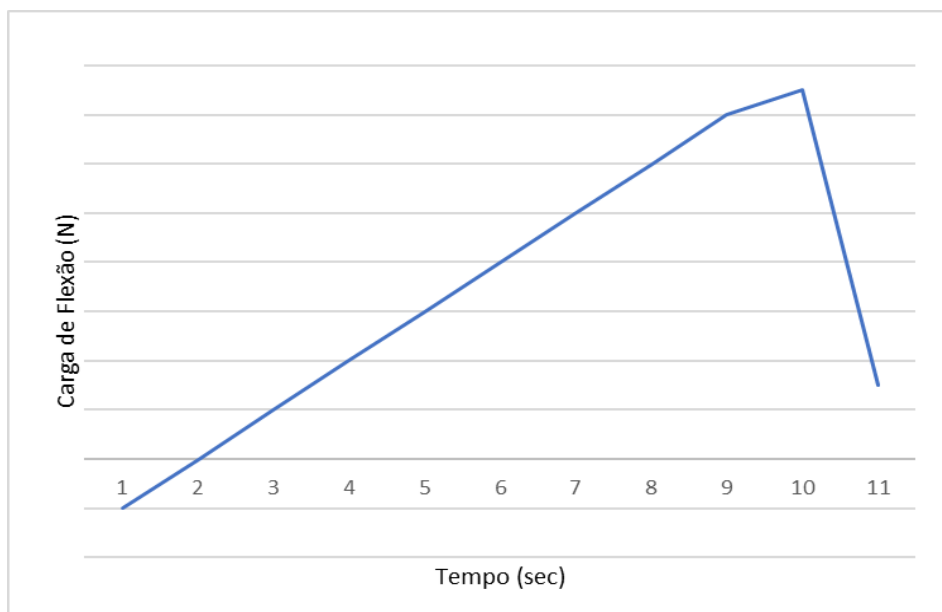
Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 12 - Gráfico de flexão compósito de 10% de fibra de buriti



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 13 - Gráfico de flexão compósito de 15% de fibra de buriti



Fonte: Autoria própria (2021)

Observa-se que como esperado, a curva de flexão dos compósitos segue linear em quase todo deslocamento, correspondendo ao regime elástico até a ruptura, o que caracteriza o comportamento frágil. E este comportamento indica que ao se atingir o ponto de máxima resistência a ruptura é súbita e imediata, ocorrendo uma queda de

praticamente toda a carga aplicada. Diferentemente do aço inoxidável 316L que sua característica dúctil o faz o material resistir a propagação de trincas.

Na Tabela 3 estão a média dos resultados encontrados nos nove corpos de provas com relação ao ensaio de flexão, ao mesmo tempo esta é comparativa com os materiais mais utilizados na produção de próteses.

Tabela 3 - Propriedades mecânicas de flexão dos compósitos

Amostra	Módulo de Flexão (MPa)	Resistência a flexão (GPa)
Compósito com 5%	6,142 ± 1,8	2,33 ± 1,2
Compósito com 10%	6,917 ± 2,7	2,94 ± 2,8
Compósito com 15%	6,836 ± 2,3	2,98 ± 1,0
Resina Isoftálica	± 4	± 1
Aço Inoxidável AISI 316L	938 ± 58	6,97
Liga Ti-6Al-4V	1302 ± 27	1,090
Polímero UHMWPE	40 ± 15	2,4

Fonte: Autoria própria (2021)

Os resultados apesar de inferiores aos materiais mais utilizados em próteses os compósitos reforçados com a fibra de buriti estão de acordos com os ensaios realizados por (MACIEL, 2017) onde foi utilizado o usado fibras de curauá ao invés de buriti. É interessante perceber que se tem um aumento da resistência em relação a resina pura. A resistência a flexão aumentou cerca de 58% para a matriz isoftálica pura. E esse aumento retrata uma alta adesão das fibras a resina isoftálica mostrando ser eficiente em reforços poliméricos.

4.3. ENSAIO DE IMPACTO

A resistência ao impacto é um importante fator para a validação de materiais poliméricos. Desta forma, os compósitos reforçados com fibras de buriti foram avaliados e comparados aos materiais mais utilizados com fins hospitalares. Os ensaios de impacto Charpy em matriz isoftálica foram feitos segundo a norma ASTM D256, reforçados com frações volumétricas de fibras com 5%, 10% e 15%.

Tabela 4

- Propriedades mecânicas de impacto dos compósitos

Amostra	Energia de impacto Charpy (J/m)
Resina Isoftálica	17,25 ± 3,27
Compósito com 5% de fibra	16,95 ± 0,68
Compósito com 10% de fibra	54,26 ± 14,64
Compósito com 15% de fibra	78,59 ± 15,93
Aço Inoxidável AISI 316L	325
Liga Ti-6Al-4V	86
Polímero UHMWPE	40

Fonte: Autoria própria (2021)

O comportamento registrado na Tabela 4 foi, também, observado por Barbosa *et al.* (2011), nos quais o reforço de fibras naturais aumenta a tenacidade ao impacto de compósitos com matriz polimérica.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Através da apresentação dos resultados é possível comparar o potencial dos biocompósitos desenvolvidos a partir da fibra do buriti e da resina isoftálica para uso em materiais para produção de próteses ortopédicas.

Foi possível atestar, assim como no estudo bibliográfico, que diâmetros diferentes afetam as propriedades mecânicas do material quando se tem diâmetro maiores estes acumulam imperfeições e afetam as propriedades das fibras.

Foi visualizado também que diâmetros mais finos apresentam maior rigidez, o módulo de elasticidades destas é maior. O que é um excelente resultado ao comparar com polímero UHMWPE que também tem essas características de ser um material rígido predominante.

Os ensaios de flexão, também, mostram que as fibras alinhadas apresentam uma melhora na resistência a flexão e quando é aumentando o índice de composição o valor ainda é mais satisfatório, aumentando o resultado com relação a resina isoftálica pura.

Os ensaios de impactos Charpy e Izod representam o que a literatura também mostra um eficaz reforço na incorporação da fibra do buriti usada como reforço

aumentando sua tenacidade, características relevantes para um material pois estas também é uma característica crucial em material usados em próteses sua capacidade de absorver a energia total por unidade volume até a ruptura.

Assim observou-se ao longo da pesquisa que os compósitos e seus processamentos analisados macroscopicamente, indicaram que o método utilizado foi eficaz porque forneceu ao material uma boa homogeneidade na distribuição das fibras na matriz polimérica.

5.1 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Mesmo os trabalhos mecânicos não trazendo resultados que se igualem com os materiais utilizados, o trabalho mostrou a potencialidade do buriti e por isso é interessante a realização de novos ensaios mecânicos com maiores composições de fibras.

Além disso, na norma ISO NBR 10326:2016 para validação do uso de material é necessário ainda a realização de ensaios cíclicos relacionados a fadiga do material.

É interessante atestar em nível computacional as características encontradas, verificando através de uma malha de prótese os pontos que poderiam ter mais desgaste e onde ocorreriam as falhas precocemente.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT. **NBR 16237-3**: próteses - ensaio estrutural para próteses de membro inferior. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- BARBOSA, A P. **Características estruturais e propriedades de compósitos poliméricos reforçados com fibras de buriti**. 2011. 160 f. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais). Universidade Estadual do Norte Fluminense, Rio de Janeiro.
- BODMER, R. E. Strategies of seed dispersal and seed predation in Amazonia ungulates. **Biotropica**, v. 23, p. 255-261, 1991.
- BOCCOLINI, F. **Reabilitação**: amputados, amputações, próteses. 2 ed. São Paulo: LIMED, 254 p., 2000.
- CAMPBELL, A.; SEXTON, S.; SCHASCHKE, C. J.; KINSMAN, H.; MCLAUGHLIN, B.; BOYLE, M. I. Prosthetic limb sockets from plant-based composite materials. **Prosthetics and orthotics international**, v. 36, n. 2, p. 181-189, 2012.
- CALLISTER, W. D. Engenharia e Ciência dos Materiais. Nova York: Ed. John Willey & Sons. Inc, 1997.
- CANGEMI, J. M. Biodegradação de PU derivado do óleo de mamona, Tese de Doutorado, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil, 2006.
- CHOWDARY, R. N. M. **Use of natural fiber composites in prosthetics**. Tese de Doutorado. BIRLA INSTITUTE OF TECHNOLOGY AND SCIENCE PILANI. 2014.
- ENDRESS, B. A.; HORN, C. M.; GILMORE, M. P. *Mauritia flexuosa* palm swamps: composition, structure and implications for conservation and management. **Forest Ecology and Management**, v. 302, p. 346-353, ago. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.03.051>.
- ELIAS, M. P.; MONTEIRO, L. M. C; CHAVES, C. R. Acessibilidade a benefícios legais disponíveis no Rio de Janeiro para portadores de deficiência física. Rio de Janeiro: Laboratório de Disfunção Músculo do Instituto Fernandes Figueira/Fundação Oswaldo Cruz, 2007.
- FOWLER, P. A., HUGHES, J. M., & ELIAS, R. M. Biocomposites: technology, environmental credentials and market forces. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, v. 86, n. 12, p. 1781-1789, 2006
- GIACOMINI, N. P.; LEÃO, A. L.; NEIS, A. M. Unsaturated polyesterbased composites reinforced with curauá fiber – preliminar studies. *ISNaPol*, p. 386-392, 2000.

GURGEL-GONCALVES, R.; CURA, C.; SCHIJMAN, A. G.; CUBA CUBA, C. A. Infestation of *Mauritia flexuosa* palms by triatomines (hemiptera: reduviidae), vectors of *Trypanosoma cruzi* and *Trypanosoma rangeli* in the brazilian savanna. **Acta Trop.**, v. 121, p. 105-111, 2012.

ISO 10328:2016. Prosthetics. Structural testing of lower-limb prostheses. Requirements and test methods. Especifica os procedimentos para testes de resistência estática e cíclicos sobre próteses de membros inferiores. International Organization for Standardization, Bruxelas, p. 136, 2016.

KHAN, G. M. A.; YILMAZ, N. D.; YILMAZ, K. Okra fibers: potential material for green biocomposites. In: Green biocomposites. Springer International Publishing, p. 261-284. 2017.

KNUTH, F.A, GONÇALVES, M.R.F., GATTO, D.A., et al., “Feixes de fibras lignocelulósicas refinadas mecanicamente em compósitos cimentícios para avaliação da resistência à tração”, **TECNO-LÓGICA**, v. 21, n. 2, pp. 46-50, Jul./Dez. 2017.

LEVY NETO, F. L.; PARDINI, L. C. Compósitos Estruturais – Ciência e Tecnologia. Editora Edgard Blucher Ltda, 2006

LAU, K.; HUNG, P.; ZHU, M-H.; HUI, D. Composites Part B: Properties of natural fibre composites for structural engineering applications. Elsevier. Amsterdã. 2018. p. 222-223.

LEBRÃO, Guilherme Wolf. Fibra de carbono. Revista Plástico Sul, Out. 2008. Disponível em: < <https://maua.br/>>. Acesso em: 18 ago. 2021

MARINELLI, A. L. et al. Desenvolvimento de Compósitos Polímeros com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma contribuição para a Sustentabilidade Amazônica. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 18, n. 2, p. 92-99, 2008

MATTOSO, L.H.C. **Lignocellulosic-plastics composites**. São Carlos, USP/UNESP, 1997. p.181-195

MONTEIRO, S.N; LOPES, F.P.D.; BARBOSA, A.P.; et al., “Natural lignocellulosic fibers as engineer-ing materials – an overview”, The Minerals, Metals & Materials Society and ASM International, v. 42A, pp. 2963-2974, Oct. 2011.

Rosa, M. F.; Chiou, B. S.; Medeiros, E. S.; Wood, D. F.; Williams, T. G.; Mattoso, L. H. C.; Orts, W. J. & Imam, S. H. – *Bior. Technol.*, 100, p.5196 (2010).

ROSATO, D. V. Reinforcerd Plastics Handbook. Publisher: Elsevier, 2004

SAHA, P., CHOWDHURY, S., ROY, D., et al., “A brief review on the chemical modifications of ligno-cellulosic fibers for durable engineering composites”, *Polymer Bulletin*, v. 73, issue 2, pp. 587–620, Feb. 2016

SANJAY, M. R.; MADHU, P.; JAWAID, M.; SENTHAMARAIKANNAN, P.; SENTHIL, S.;

WEARN, Y.N., MONTAGNA, L.S., PASSADOR, F.R., "Compósitos de fibra de coco/LDPE: efeito do tratamento superficial das fibras de coco em compósitos verdes", Revista Matéria, v. 25, n. 1, Dez. 2020.

SANTOS, L. M. P. Nutritional and ecological aspects of buriti or aguaje (*Mauritia flexuosa* Linnaeus filius): a carotene-rich palm fruit from Latin America. **Ecology of Food and Nutrition**, v. 44, n. 5, p. 345-358, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/03670240500253369>.

Santos, N. S.; Dias, C. G. B. T.; Sanches, E. M. S.; Zavaglia, C. A.; Albuquerque, E. L. (2008) a "Caracterização microestrutural e mecânica da fibra de Miriti para utilização como reforço em compósitos poliméricos" 3565 – 3573 p 18º CBECiMat – 24 a 28 de novembro de 2008, Porto de Galinhas, PE, Brasil.

SANTOS, João Victor Gomes. Design of transtibial prosthesis of low cost constituted by biocompósitos: development and evaluation. 2018. 99 f. Dissertation (Master in Design) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. Bauru, 2018.

SARAIVA, N, A. **Manejo sustentável e potencial econômico da extração do buriti nos lençóis maranhenses**. Dissertação de Mestrado. Centro de Desenvolvimento sustentável. Brasília, DF, UNB, Universidade de Brasília, 2009.

SILVA, R. S.; RIBEIRO, L. M.; MERCADANTE-SIMÕES, M. O.; NUNES, Y. R. F.; LOPES, P. S. N. Seed structure and germination in buriti (*Mauritia flexuosa*), the swamp palm. **Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 209, n.11, p. 674-685, nov. 2014. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0367253014001212>.

SINGLETON, A. C. N., BAILLIE, C. A. On the Mechanical properties, deformation and fracture of a natural fiber/recycled polymer composite. **Composites- Part B**, v. 34, p. 519-526, 2003.

SHUT, T. GAYER, U. **Automotive application of natural fiber composites**. Benefits for the environment and Competitiveness with Man-Made Materials. In: FROLLINI, E; LEÃO.

THWE, M.M., LIAO, K. Durability of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites. **Composite Science and Technology**, v. 63, p. 375-387, 2003.

THWE, M.M., LIAO, K. Effects of environmental aging on the mechanical properties of bamboo-glass fiber reinforced polymer matrix hybrid composites, *Composites Part A*, vol. 33, pp. 43-52, 2002.

PORNWANNACHAI, W.; EBDON, J. R.; KANDOLA, B. K. Polymer Degradation and Stability: Fire-resistant natural fibre-reinforced composites from flame retarded textiles. Elsevier. Amsterdã. 20 may. 2018. p.115-123.

PRADEEP, S. Journal of Cleaner Productions: Characterizations and properties of natural fiber polymer composites. Elsevier. Amsterdã. 9 oct. 2017. p.567-581.

PICKERING, K. L.; EFENDY, A. M. G.; LE, T. M. Composites Part B: A review of recent developments in natural fibre composites and their mechanical performance. Elsevier. Amsterdã. 9 sep. 2015. p. 98-112.

XIONG, X.; HUA, L.; MIAO, M.; SHEN, S. Z.; LI, X.; WAN, X.; GUO, W. Composites Part A: Multi-scale constitutive modeling of natural fiber fabric reinforced composites. Elsevier. Amsterdã. 2018. p.383-396. <https://www.sefergroup.com.br/fibras-naturaissinteticas-ou-artificiais/>. Acesso em: 29 jul. 2021