



**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS**



**ANA CAROLINE GONÇALVES GUARIZI**

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FORMULAÇÕES  
COM RESINA EPÓXI E BIOMASSA VEGETAL PARA A APLICAÇÃO  
COMO PORCELANATO LÍQUIDO**

**VOLTA REDONDA**

**2021**

**ANA CAROLINE GONÇALVES GUARIZI**

**DESENVOLVIMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE FORMULAÇÕES  
COM RESINA EPÓXI E BIOMASSA VEGETAL PARA A APLICAÇÃO  
COMO PORCELANATO LÍQUIDO**

Dissertação apresentada ao Mestrado Profissional em Materiais do Centro Universitário de Volta Redonda – UniFOA, como requisito obrigatório para obtenção do título de Mestre em Materiais, na área de concentração de processamento e caracterização de materiais compósitos e linha de pesquisa em materiais: Processamento e caracterização de materiais reciclados, compósitos, nanomateriais e biomateriais.

Orientador: Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato

**VOLTA REDONDA**

**2021**

### **FICHA CATALOGRÁFICA**

Bibliotecária: Alice Tacão Wagner - CRB 7/RJ 4316

G915d Guarizi, Ana Caroline Gonçalves  
Desenvolvimento e caracterização de formulações com resina epóxi e biomassa. / Ana Caroline Gonçalves Guarizi. - Volta Redonda: UniFOA, 2021. 52 p. II

Orientador (a): Prof. Bruno Chaboli Gambarato

Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2021

1. Materiais - dissertação. 2. Compósitos. 3. Serragem. 4. Propriedades mecânicas. 5. Reciclagem. I. Gambarato, Bruno Chaboli. II. Centro Universitário de Volta Redonda. III. Título.

CDD – 620.1



FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA  
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA  
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS



**ANA CAROLINE GONÇALVES GUARIZI**

Desenvolvimento e Caracterização de formulações com resina epóxi e  
biomassa vegetal para a aplicação como porcelanato líquido

Orientador: Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato

**ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO  
TÍTULO DE  
“MESTRE EM MATERIAIS”**

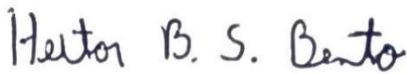
**APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO PROGRAMA DE MESTRADO  
PROFISSIONAL EM MATERIAIS**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Roberto de Oliveira Magnago**  
Coordenador

**BANCA EXAMINADORA:**

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato**  
Presidente / UniFOA

  
\_\_\_\_\_  
**Profª. Drª. Ana Karine Furtado de Carvalho**  
Examinador externo / UNIFAL-MG

  
\_\_\_\_\_  
**Prof. Dr. Heitor Buzetti Simões Bento**  
Examinador externo / UNESP

Novembro, 2021.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente a Deus que iluminou meu caminho durante essa jornada. Dedico também a minha família. Por sua capacidade de acreditar e investir em mim. A minha mãe, pois seu cuidado e dedicação deram esperanças para seguir. Ao meu pai pois sua presença significou segurança e a certeza de que não estou sozinha nessa caminhada. E ao meu irmão pelo carinho, paciência e apoio constante.

Ao meu orientador Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato pelo apoio, orientação e paciência durante essa longa jornada. A toda equipe técnica e colaboradores que ajudaram e contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos, mas que em todos os momentos é o maior mestre que alguém pode conhecer.

Agradeço à minha mãe, Maria Lúcia Gonçalves Guarizi heroína, que sempre me deu o maior incentivo e apoio nos momentos difíceis.

Ao meu pai, Douglas José Guedes Guarizi que apesar de todas dificuldades me fortaleceu, incentivou e contribuiu para essa jornada.

Ao meu irmão, João Pedro Gonçalves Guarizi, minha família e amigos, que nos momentos de minha ausência sempre fizeram entender que a vida é feita de renúncias, para no futuro poder colher os frutos da vitória.

*E assim, depois de muito esperar, num dia como outro qualquer, decidi triunfar...*

*Decidi não esperar as oportunidades e sim, eu mesmo buscá-las.*

*Decidi ver cada problema como uma oportunidade de encontrar uma solução.*

*Decidi ver cada deserto como uma possibilidade de encontrar um oásis.*

*Decidi ver cada noite como um mistério a resolver.*

*Decidi ver cada dia como uma nova oportunidade de ser feliz.*

**Walt Disney**

**GUARIZI, A. C. G. Desenvolvimento E Caracterização De Formulações Com Resina Epóxi E Biomassa Vegetal Para A Aplicação Como Porcelanato Líquido.** 2021. DISSERTAÇÃO (MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS) – FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA, CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA, VOLTA REDONDA, 2021

## **RESUMO**

Pensando em um mundo futuro cada vez melhor, há um crescente aumento na preocupação com o meio ambiente, fruto da necessidade de economia de energia e baixo custo. Dentro do contexto da sustentabilidade e na busca por novos materiais e processos que tragam inovação tecnológica, redução nos custos de insumos, no impacto ambiental, a reutilização de materiais, bem como o aproveitamento de resíduos são processos de necessidade urgente. Os compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais considerados, resíduos têm se mostrado excelentes alternativas para atender estes quesitos, pois são biodegradáveis, apresentam baixo custo e boas propriedades mecânicas. Nesta pesquisa o objetivo geral foi desenvolver e caracterizar um compósito polimérico de resina epóxi reforçado com serragem de madeira. Para esse estudo foram feitas, composições de resina epóxi pura, serragens fina e média à 10% e 20%. As propriedades dos materiais obtidos foram avaliadas por meio de ensaio de tração, flexão e dureza. Os resultados mostraram que é possível produzir compósitos com os materiais estudados e que a adição de serragem promoveu um aumento no Módulo de Young na adição de 10% alcançou  $1564 \pm 263$  comparado a resina pura com  $1520 \pm 65$ . Na flexão, o módulo de elasticidade de  $452 \pm 207$  da resina pura para  $907 \pm 275$  à 10% de serragem fina. Já na dureza o maior resultado foi à 10% da serragem média com o valor de 63,3Hd, e o da resina pura foi 51,7Hd. Portanto, neste trabalho, foi possível obter materiais com melhores propriedades utilizando reciclagem de resíduos naturais.

**Palavras-chave:** compósitos, serragem, propriedades mecânicas, reciclagem.

**GUARIZI, A. C. G. Desenvolvimento E Caracterização De Formulações Com Resina Epóxi E Biomassa Vegetal Para A Aplicação Como Porcelanato Líquido.** 2021. DISSERTAÇÃO (MESTRADO PROFISSIONAL EM MATERIAIS) – FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA, CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA, VOLTA REDONDA, 2021

### **ABSTRACT**

Thinking of an ever better future world, there is a growing increase in concern for the environment, due to the need for energy saving and low cost. Within the context of sustainability and the search for new materials and processes that bring technological innovation, reduction of input costs, environmental impact, reuse of materials, as well as waste recovery are processes of urgent need. The considered natural fibers reinforced polymer composites, residues have been shown to be excellent alternatives to meet these requirements, as they are biodegradable, have low cost and good mechanical properties. In this research the general objective was to develop and characterize a polymeric composite of wood saw reinforced epoxy resin. For this study were made pure epoxy resin compositions, fine and medium sawdust at 10% and 20%. The properties of the obtained materials were evaluated by tensile, flexural and hardness tests. The results showed that it is possible to produce composites with the studied materials and that the addition of sawdust promoted an increase in Young's modulus in the addition of 10% reached  $1564 \pm 263$  compared to pure resin with  $1520 \pm 65$ . In flexion, the modulus of elasticity from  $452 \pm 207$  of pure resin to  $907 \pm 275$  to 10% fine sawdust. In hardness the highest result was 10% of the average sawdust with the value of 63.3Hd, and the pure resin was 51.7Hd. Therefore, in this work, it was possible to obtain materials with better properties using natural waste recycling.

**Keywords:** composites, sawdust, mechanical properties, recycling.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1-</b> EVOLUÇÃO DOS MATERIAIS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO DE COMPONENTES .....	19
<b>FIGURA 2-</b> CADEIA MOLECULAR DA RESINA EPÓXIDA.....	23
<b>FIGURA 3-</b> CLASSIFICAÇÃO DAS FIBRAS NATURAIS .....	25
<b>FIGURA 4-</b> CLASSIFICAÇÃO DAS FIBRAS DE ORIGEM VEGETAL.....	26
<b>FIGURA 5-</b> RESINA EPÓXI 2004 COM ENDURECEDOR SQ 3140 (PRIMER EPOXI) .....	30
<b>FIGURA 6-</b> FICHA TÉCNICA DA RESINA EPÓXI 2004 COM ENDURECEDOR SQ 3140; .....	30
<b>FIGURA 7-</b> BORRACHA DE SILICONE: AZUL ALTA FLEXIBILIDADE PARA MOLDES (COM CATALISADOR). .....	31
<b>FIGURA 8-</b> MOLDES CONFECCIONADOS COM A BORRACHA DE SILICONE AZUL PS E O CATALISADOR DA MARCA REDELEASE. ....	32
<b>FIGURA 9-</b> MÁQUINA DE SEPARAÇÃO GLANULOMÉTRICA. ....	32
<b>FIGURA 10-</b> CONFECÇÃO DE CORPOS DE PROVA COM RESINA EPÓXI PURA.....	33
<b>FIGURA 11-</b> CONFECÇÃO DE CORPOS DE PROVA COM RESINA EPÓXI FINO À 10%. ....	33
<b>FIGURA 12-</b> ENSAIOS DE TRAÇÃO NO EQUIPAMENTO EMIC DL-10000. ....	34
<b>FIGURA 13-</b> ENSAIOS DE FLEXÃO NO EQUIPAMENTO EMIC DL-10000.....	35
<b>FIGURA 14-</b> ENSAIOS DE DUREZA SHORE D.....	35
<b>FIGURA 15-</b> COMPORTAMENTO MECÂNICO DA RESINA EPÓXI PURA E COM ADIÇÕES DE COMPÓSITOS, FIBRAS NATURAIS DE SERRAGEM FINA À 10% E 20% EM TRAÇÃO. ....	36
<b>FIGURA 16-</b> COMPORTAMENTO MECÂNICO EM TRAÇÃO DA RESINA EPÓXI PURA E COM ADIÇÕES DE COMPÓSITOS, FIBRAS NATURAIS DE SERRAGEM MÉDIA À 10% E 20%;.....	36
<b>FIGURA 17-</b> COMPORTAMENTO MECÂNICO DA RESINA EPÓXI PURA E COM ADIÇÕES DE COMPÓSITOS FIBRAS NATURAIS DE SERRAGEM FINA À 10% E 20% NO ENSAIO DE FLEXÃO. ....	39
<b>FIGURA 18-</b> COMPORTAMENTO MECÂNICO DA RESINA EPÓXI PURA E COM ADIÇÕES DE COMPÓSITOS FIBRAS NATURAIS DE SERRAGEM MÉDIA À 10% E 20% NO ENSAIO DE FLEXÃO. ....	39

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1-</b> PRODUTOS COMERCIAIS DE FIBRA DE VIDRO. ....	24
<b>TABELA 2-</b> OBTENÇÃO DE COMPÓSITOS. FONTE: A AUTORA .....	33
<b>TABELA 3-</b> RESULTADOS OBTIDOS PELOS ENSAIOS DE TRAÇÃO. ....	37
<b>TABELA 4-</b> RESULTADOS OBTIDOS PELOS ENSAIOS DE FLEXÃO.....	40
<b>TABELA 5-</b> RESULTADO DE DUREZA SHORE D DOS COMPÓSITOS. ....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
MeMat	Mestrado Profissional em Materiais
C-S-C	Ligação Monossulfídica
C-S <sub>2</sub> -C	Ligação Dissulfídica
C-S <sub>x</sub> -C	Ligação Polissulfídica
CFRP	<i>Carbon Fiber Reinforced Polymers</i>
KIC	Fator Crítico de Intensidade de Tensão
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade Reciclável
kN	Kilonewton
ASTM	American Society for Testing and Materials
MPa	Mega Pascal
Hd	Unidade de dureza

## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	14
1.1 OBJETIVOS.....	16
1.1.1 Objetivo geral.....	16
1.1.2 Objetivos específicos .....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	17
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	18
2.1 Compósitos.....	18
2.2 Matrizes Poliméricas Termoplásticas.....	19
2.3 Polímeros Termorígidos .....	20
2.3.1 Resinas Epóxi .....	22
2.4 Reforços .....	23
2.4.1 Biomassas Vegetais.....	25
2.4.2 Fibras Naturais na Construção Civil .....	27
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	29
3.1 Materiais .....	29
3.1.1 Resina Epóxi.....	29
3.1.2 Serragem .....	30
3.2 Métodos.....	31
3.2.1 Fabricação dos moldes .....	31
3.2.2 Processamento do material.....	32
3.2.2.1 Formulação e processamento dos materiais .....	32
3.3 Caracterizações .....	34
3.3.1 Ensaio de Tração .....	34
3.3.2 Ensaio de Flexão .....	34
3.3.3 Ensaio de Dureza.....	35
4. Resultados e Discussão.....	36
4.1 Tração.....	36
4.2 Flexão.....	38
4.3 Dureza .....	41
5. CONCLUSÕES.....	43
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	46

## 1 INTRODUÇÃO

Segundo Ribeiro (2016), os produtos modernos exigem materiais que combinem propriedades que, usualmente, não podem ser atendidas de forma individual pelas ligas metálicas, polímeros ou cerâmicas convencionais. Por este motivo, projetam-se os compósitos de modo a combinar engenhosamente diferentes tipos de materiais e, dessa forma, conjugar características desejáveis. Na Engenharia Civil, tem se tornado cada vez maior a diversidade de compósitos produzidos com resinas com esse propósito.

De acordo com Pires (2011), a preocupação dos consumidores com a preservação ambiental, bem como as constantes mobilizações de órgãos que atuam em defesa do meio ambiente vêm despertando a atenção de autoridades, que começam a legislar em prol de um desenvolvimento mais sustentável. Somado a este fato, o alto grau de competitividade das indústrias existentes em um mercado globalizado gera uma necessidade cada vez maior para o desenvolvimento de produtos de baixo custo e uma melhor performance.

Na construção civil, as resinas têm se destacado cada vez mais com descobertas e novas aplicações. As resinas do tipo epóxi têm sido aplicadas em pavimentação, num material denominado porcelanato líquido, que, além de sua bela estética, durabilidade, facilidade de aplicação e rápida secagem, não possui juntas, podendo ser aplicadas em habitações, mas também em hospitais e indústria, evitando a proliferação de microrganismos (COUTO FILHO; COSTA, 2017; LACERDA, 2014; CANDIAN, 2007).

Apesar das grandes vantagens apresentadas pela aplicação de resinas epóxi, é preciso considerar o fato de que se trata de um material derivado do petróleo e, por este motivo, está associado a diversos impactos ambientais negativos. Além disso, o custo elevado deste material inviabiliza a difusão da aplicação em diversos ambientes. Assim, torna-se necessária a adição de materiais reciclados com o objetivo de minimizar custos, bem como reutilizar resíduos de diversas áreas industriais, como a agroindústria, a metalurgia, dentre outras (SILVA, 2014).

Diante deste contexto, este trabalho se propôs a desenvolver e caracterizar formulações de resinas epóxi com reforço a base de materiais um material residual de origem vegetal – a serragem de madeira – para aplicação como porcelanato líquido. Pretendeu-se, neste projeto, obter um material com um menor teor de derivados do petróleo, bem como promover a reutilização de subprodutos e, conseqüentemente, aumentar a vida útil e o valor agregado a esses materiais

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo geral**

Este trabalho tem como objetivo desenvolver e caracterizar um compósito baseado em resina epóxi e serragem de madeira para avaliar seu potencial na utilização como porcelanato líquido na construção civil.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Obter formulações de compósitos produzidos com resina epóxi e e reforçados com serragem de madeira em diferentes granulometrias;
- Realizar ensaios de tração e flexão para caracterizar as propriedades mecânicas do material obtido;
- Determinar a dureza dos compósitos obtidos e avaliar sua utilização como porcelanato líquido;

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A evolução da utilização dos compósitos tem cada vez mais estimulado a formação de recursos humanos mais capacitados, afim de promover um maior êxito nos desafios da produção de componentes com funções múltiplas, atendendo a requisitos de utilização e aplicação, como: maior desempenho mecânico, resistência à erosão, à corrosão e menor peso. Os compósitos avançados são obtidos pela combinação de diversos materiais, e têm o objetivo de desempenhar funções estruturais e não estruturais cada vez mais exigentes. Sendo assim, diversos trabalhos de pesquisa têm sido propostos estudando o desenvolvimento e a aplicação de formas combinadas de resinas e resíduos para aplicações na construção civil (CAVALCANTI et al, 2020; BRILHANTE, 2020; NASCIMENTO et al, 2018; CAVALCANTE, 2018)

Contudo, a maioria dos trabalhos publicados na área que envolvem a utilização de resíduo da agroindústria - fibra vegetal, principalmente – trata da utilização de compósitos com mantas e fibras longas, orientadas, desenvolvidos em camadas e, geralmente, processados sob compressão. Uma vez que, no universo dos compósitos termoplásticos, a utilização de material particulado e não orientado gera resultados bastante satisfatórios (ZHANG et al, 2020; RODRÍGUEZ et al, 2020), este trabalho se justifica, além do fator ambiental promovido pela utilização de um resíduo, também pela contribuição ao estudo de materiais particulados (serragem de madeira) em formulações com polímeros termorrígidos.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 Compósitos

Acredita-se que os materiais compósitos foram descobertos logo após a Idade da Pedra, com o advento da colonização a poluição aumentou, e os materiais disponíveis pela natureza como madeira e pedra, começaram a não ser tão abundantes. Com essa necessidade de fazer novas moradias acredita-se que o primeiro material foi o tijolo de barro, reforçado com palha (BOUTH, 2005).

Os compósitos são definidos como materiais heterogêneos, que apresentam fases distintas, resultado de uma combinação de dois ou mais materiais insolúveis, que se diferem nas propriedades químicas e físicas e, geralmente, a combinação dessas propriedades leva a novas formas de aplicação destes materiais.

No mundo dos compósitos, a matriz, pode ser de natureza cerâmica, metálica ou polimérica, é o componente mais abundante e é reforçada com materiais denominados reforço, com orientação definida ou não. Por sua vez os compósitos avançados são obtidos, geralmente, utilizando fibras contínuas pré-impregnadas e homogeneizadas com uma matriz polimérica termorrígida ou termoplástica. Devido às características dos materiais obtidos, como boas propriedades mecânicas aliadas a uma menor massa específica, o processamento desses materiais é considerado como tecnologia de ponta (LEVY NETO; PARDINI, 2016).

Na Figura 1 apresenta-se graficamente um comparativo do uso de materiais ao longo do tempo. Percebe-se a importância dos compósitos, uma vez que seu uso tem aumentado em tempos mais recentes. Isso fez com que ocorresse uma diminuição da dependência dos metais e ligas a partir dos anos 90 do século XX (PEREIRA, 2017). Tal fato se deve aos compósitos serem em relação aos outros materiais, uma vez que a mistura de componentes pode levar a propriedades mecânicas, físicas, químicas capazes de viabilizar sua utilização em diversas aplicações. Em geral, os compósitos poliméricos de uso difundido apresentam alta resistência mecânica, baixa densidade, rigidez elevada, além de serem economicamente viáveis (MEGIATTO et al, 2009).

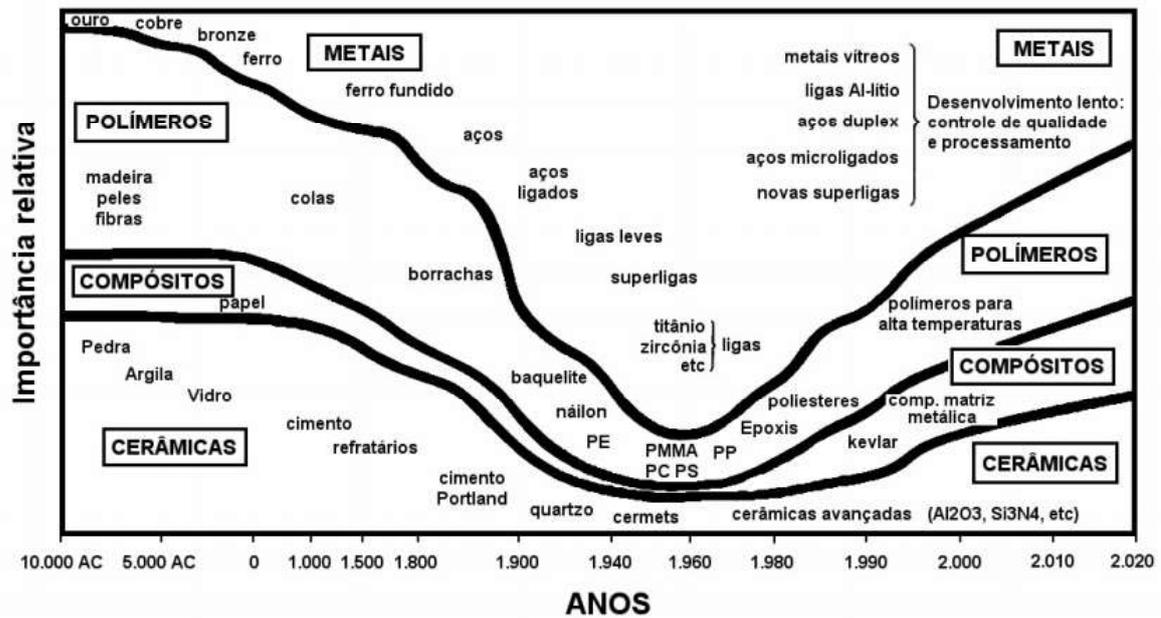


Figura 1-Evolução do uso de materiais na produção de componentes. Fonte: SHACKELFORD (2008)

Para a produção de compósitos poliméricos são utilizadas matrizes que podem ser de polímeros termoplásticos ou termorrígidos. Cada um deles têm suas aplicações de acordo com suas propriedades.

## 2.2 Matrizes Poliméricas Termoplásticas

Polímeros termoplásticos são materiais cuja característica principal é poder ser processado várias vezes. Sucessivos processamentos alteram suas propriedades físicas e químicas, devido à degradação que ocorre da cadeia polimérica resultando em perda das propriedades mecânicas (MORAES et al, 2010).

Dentre os Polímeros Termoplásticos popularmente mais conhecidos estão: Polipropileno, Polietileno, Policarbonatos, Polimetil-Metacrilato (Acrílico) (VIANNA et al, 2004).

- Polipropileno

É um material de suma importância industrial, devido à sua alta resistência à umidade e a produtos químicos, e também possui valores de densidade mais baixos comparados a outros plásticos. É obtido a partir do propileno e utilizado na fabricação

de produtos como: embalagens flexíveis, cadeiras plásticas, brinquedos, copos plásticos, embalagens para alimentos, remédios, produtos químicos, cosméticos; tampas para bebidas, material hospitalar, auto peças dentre outros (LUZ et al, 2006).

- Polietileno

É um material, duro, com coeficiente de atrito relativamente baixo e que possui baixa reitência às intempéries, possui boa resistência química e é um bom isolante elétrico. Suas aplicações mais comuns são: garrafas flexíveis, tambores, materiais para películas, peças de baterias, brinquedos dentre outros (CALLISTER, 2016).

- Policarbonatos

Policarbonatos são materiais dimensionalmente estáveis, transparente, apresentam baixa absorção de água, boa estética, são resistentes aos impactos de ductilidade. Alguns produtos comuns encontrados no policarbonato são: capacetes de segurança, lentes, globos de luz e bases para filmes fotográficos (CALLISTER, 2016).

- Polimetil-metacrilato-acrílico

É um material rígido transparente, conhecido como vidro acrílico, resistente às intempéries e que possui propriedades mecânicas regulares e encontrado em lentes, recipientes, equipamentos de desenho, banners e é muito utilizado em coberturas na construção civil por apresentar boa estética e durabilidade (CALLISTER, 2016).

### **2.3 Polímeros Termorrígidos**

Os polímeros termorrígidos ou termofixos, quando submetidos a aplicação de calor ou outra forma de cura, não amolecem com um aquecimento subsequente por esse motivo tornam-se permanentemente duros. Durante o processo de síntese inicial, são formadas ligações covalentes cruzadas entre as cadeias moleculares adjacentes. Tais ligações prendem as cadeias entre si para resistir aos movimentos vibracionais e rotacionais da macroestrutura sob temperaturas elevadas (CALLISTER, 2016).

Ligações cruzadas geralmente são encontradas de forma ampla ao longo das cadeias, 10 a 50% das unidades que têm ligações cruzadas. Somente aquecendo-se

a temperaturas excessivas é que ocorre o rompimento das ligações e subsequente a degradação do polímero (CALLISTER, 2016).

Em geral, os polímeros termorrígidos são geralmente mais duros, mais rígidos e mais frágeis quando comparados aos termoplásticos, e possuem melhor estabilidade dimensional (PEREIRA, 2017). Dentre uma vasta gama de polímeros termorrígidos, os exemplos mais comuns são: borracha vulcanizada, baquelite e resina epóxi.

- Borracha Vulcanizada

A borracha vulcanizada é produzida por meio da formação de ligações cruzadas entre as cadeias poliméricas durante o desenvolvimento de uma formulação elastomérica. O processo ocorre com controle de temperatura e, de acordo com os parâmetros operacionais, leva a mudanças químicas e físicas que promovem a alteração de suas propriedades. Influenciam este processo o tipo de elastômero, o método de vulcanização, a presença de aditivos (aceleradores, ativadores, agentes de vulcanização), o tempo de processamento, além da temperatura do sistema. Os sistemas que utilizam enxofre e peróxido para promover a vulcanização são os mais comuns na indústria. No sistema de vulcanização por enxofre, ocorrem complexas reações complexas que levam à formação de ligações cruzadas do tipo monossulfídica (C-S-C), dissulfídica (C-S<sub>2</sub>-C) e também polissulfídica (C-S<sub>x</sub>-C). As propriedades mecânicas finais do material dependem de fatores dominantes como a densidade e o tipo de ligações cruzadas (SOUZA et al, 2015).

- Baquelite

Baquelite é uma resina sintética, formada pela polimerização do fenol com formaldeído, formando-se o polifenol, é quimicamente estável e possui resistência ao calor (CAVALCANTE et al, 2009).

Atualmente, afim de melhorar o produto final, a baquelite recebe uma camada de pintura e tratamentos de superfície, ela também é útil para peças que necessitam de isolamento elétrico e térmico. Antigamente era utilizada em materias domésticos como material de cozinha e brinquedos (CALLISTER, 2016).

### 2.3.1 Resinas Epóxi

Devido a sua imensa versatilidade, as resinas epóxi vêm conquistando cada vez mais espaço no mercado, por serem materiais de fácil processamento, geralmente compostas por dois componentes (PANZERA et al., 2010).

A resina epóxi caracteriza-se por ser um polímero termorrígido bastante aplicado como matriz curada na formulação de compósitos por apresentar excelentes propriedades, tais como estabilidade térmica, boa adesão e resistência a solventes. Suas propriedades são determinadas pela escolha do agente e do ciclo de cura. Em geral, a forma mais comum de modificar propriedades de resinas epóxi é adicionar agentes tenacificantes ou flexibilizantes, que podem ser elastômeros líquidos funcionalizado ou polímeros termoplásticos naturais ou sintéticos (AMARAL et al, 2001).

A resina epoxídica tem excelentes propriedades, tais como, resistência aos solventes, estabilidade térmica, resistência em altas temperaturas, boa adesão, boa isolamento térmica, entre outras (AMARAL et al, 2001).

Resinas epoxídicas são uma forma de substituição de resinas acrílicas, pois elas tem um volumoso uso dentro da odontologia, pela existência de um elevado conteúdo de monômeros de metilmetacrilato (MENEZES et al, 2011).

Além da sua utilização industrial, a resina pode ser aplicada em construções, visando a reconstrução de estruturas de concreto e para revestimento, além de ser um excelente material anticorrosivo, com infinitos modelos de estrutura (GORNINSKI, 2002). Na indústria naval, é utilizado na manutenção e construção de barcos de corrida, à vela; pois possuem alta resistência e peso reduzido (RIBEIRO, 2016). Já na indústria automotiva é utilizado em painéis, veículos de corrida e componentes, pois possuem uma resistência à corrosão e baixo peso (RIBEIRO, 2016).

A resina epóxi mais comum é consequência da polimerização entre bisfenol A e a epícloridrina, conforme a figura (2), utilizando como catalisador o hidróxido de sódio. A proporção dos componentes da mistura faz com que se obtenham resultados finais com diferentes níveis de viscosidade, reatividade, resistência mecânica e comportamento térmico (PEREIRA, 2017).

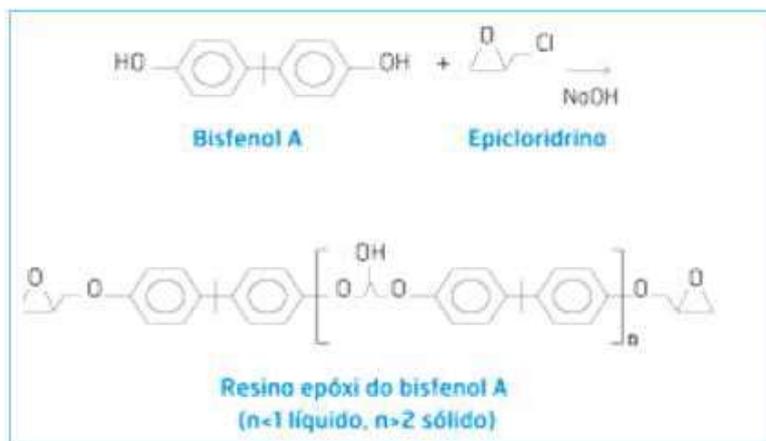


Figura 2- Síntese de resina epóxi a partir de epicloridrina e bisfenol A. Fonte: adaptado de <https://www.baserevest.com.br/novo/artigos/os-primordios-da-resina-epoxi/>

## 2.4 Reforços

Os compósitos, com matriz de polímeros termoplásticos e termorrígidos reforçados com fibras, que podem ser vegetais ou sintéticas, apresentam inúmeras vantagens, como proporcionar versatilidade de uso aliada à durabilidade. Além de possuir baixo custo as fibras podem atuar como carga de enchimento ou reforço, melhorando algumas características da matriz, tais como: aumento da resistência ao impacto, estabilidade dimensional e módulo elástico. Outro ponto positivo é a contribuição para a solucionar problemas ambientais causados pela disposição de grandes volumes de resíduos e de materiais não biodegradáveis (SANADI, 2002).

São as características do elemento de reforço que determinam sua eficiência no transporte de carga. As fibras são um meio efetivo de reforço porque apresentam um menor número de defeitos que em sua forma mássica. Na medida que vão se tornando mais finos, os materiais tendem a apresentar defeitos menores que possam induzir as falhas e, dessa forma, a resistência tende a aproximar-se a resistência teórica do material, representada pela resistência coesiva das camadas adjacentes de átomos (D' ALMEIDA, 2005).

Os reforços tem atuação em forma de partículas ou fibras, podendo ser apresentados em diferentes maneiras, orientações e tamanhos. Os reforços em forma

de fibra podem ser curtas ou contínuas, e dentro dessa divisão as fibras podem ser aleatórias no compósito ou dispostas orientadas (LEVY; PARDINI, 2016).

O tipos mais utilizados de reforços são: fibra de vidro, fibra de carbono e biomassas vegetais (MARINELLI, 2008).

- Fibra de vidro

As fibras de vidro são materiais amorfos e sua cristalinização ocorre após o prolongado tratamento com altas temperaturas. Essas fibras são produzidas a partir da sílica ( $\text{SiO}_2$ ), com a adição de óxido de cálcio, boro, alumínio e sódio. As fibras de vidro possuem inúmeras vantagens como reforços, algumas delas são o baixo custo em relação a outras fibras, são produzidas no Brasil, possuem alta resistência ao impacto e à corrosão (GRIZZO et al, 2011).

Alguns produtos comerciais feitos a partir de fibras de vidro estão na Tabela 1.

*Tabela 1- Produtos comerciais de fibra de vidro. Fonte: adaptado de LEVY e PARDINI (2016).*

<b>Fibra de vidro</b>	<b>Características</b>
<b>Fios Têxteis</b>	Formado por duas ou mais fibras simples de vidro, torcidos em sentidos inversos para formarem um único fio, bobinados em um suporte cônico.
<b>Mantas de Fios Contínuos</b>	Fabricadas com fios contínuos de vidro, dispostos de forma aleatória em múltiplas camadas e unidos por um ligante. São compatíveis com resinas poliéster, estervinica, epóxi.
<b>Mantas de Fios Picados</b>	Fabricadas com fios picados de vidro, unidos por um ligante solúvel em estireno, que lhe confere uma excelente compatibilidade com resinas poliéster e epóxi.
<b>Roving</b>	Produzido a partir de fios de vidro indicados para aplicação por projeção simultânea.
<b>Roving Direto</b>	Produzido a partir de fios de vidro destinados a fabricação de produtos nos processos de moldagem por enrolamento.
<b>Tecido Unidirecional (TRB)</b>	Produzido a partir de mechas contínuas de fios de vidro com agentes de acoplamento compatíveis com resinas poliéster e epóxi. É utilizado na moldagem de peças em plástico reforçado e recomendado para laminação manual.

- Fibra de Carbono

As fibras de carbono são basicamente caracterizadas por uma combinação de alta durabilidade, resistência, baixo peso e rigidez, e facilidade de assumir formas complexas (FIORELLI, 2002). Essas fibras são produzidas a partir de um componente conhecido como Poliacrilonitrila (PAN), que dependendo do tipo de tratamento inclui carbonização, oxidação e enxertia. Sendo possível fabricar fibras em diversas configurações de módulo de elasticidade e resistência (FIORELLI, 2002).

O polímero que mais se utiliza para reforço com fibras de carbono atualmente é o Carbon Fiber Reinforced Polymers (CFRP), pois possui uma grande resistência à corrosão (FIORELLI, 2002).

#### 2.4.1 Biomassas Vegetais

As fibras vegetais têm sido estudadas para uso como reforço em compósitos de matrizes poliméricas, porque aliam propriedades que levam em consideração aspectos que vão ao encontro da visão do apelo ecológico, e características como fonte renovável, biodegradabilidade, o fato de serem atóxicas, baixo custo, baixa densidade, e não abrasivas, possuem boas propriedades térmicas e alto módulo específico, o que as tornam fortes candidatas com alto potencial para estas aplicações (BANNA et al, 2014).

As fibras naturais são aquelas provenientes da natureza e utilizadas nesse estado ou em estado tratado. As fibras naturais podem ser divididas em fibras de origem vegetal, fibras de origem mineral e fibras de origem animal, (Figura 3), (PEREIRA, 2017).

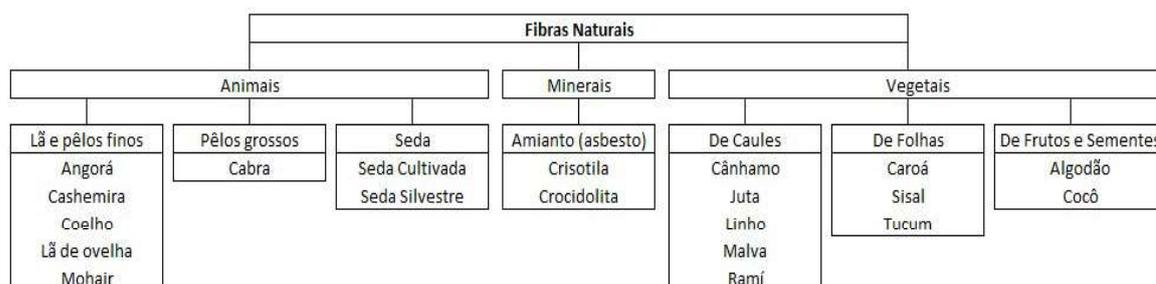


Figura 3- Classificação das fibras naturais. Fonte: adaptado de RODRIGUES (2007).

A origem anatômica da fibra é um fator determinante para as propriedades finais do compósito, motivo pelo qual as fibras com origens diferentes tenham geralmente propriedades distintas e, portanto, campos de aplicação específicos. Além deste parâmetro também a espécie, a idade, a história da planta, as condições de cultivo, as condições climáticas e as técnicas de extração são fatores chave para as propriedades finais das mesmas (Figura 4), (ROMÃO, 2003).



Figura 4- Classificação das fibras de origem vegetal. Fonte: adaptado de RODRIGUES (2007).

O Brasil é um grande produtor agrícola e, por este motivo, também são grandes geradores de subprodutos tais como as biomassas vegetais. Dentre elas podem ser citadas a serragem, o bagaço e a palha de cana, a casca de arroz, a palha do trigo, fibras de coco, bananeira, palmeira, sisal, resíduos da indústria madeireira e cascas de frutas e vegetais (HIDALGO-SALAZAR et al, 2017; FACCA et al, 2007).

O eco compósito só acontece quando os materiais componentes de um compósito (fibras ou pó e matriz) respeitam todas as metas ambientais exigidas, sendo de origem vegetal, derivados de fontes renováveis, devendo ser atóxicos e abundantes e podendo ser ou não biodegradáveis como pode ser também originário do aproveitamento de resíduos agroindustriais, florestais ou ainda de outros tipos de resíduos tais como plásticos reciclados e escória mineral, aumentando ainda mais a sua eco eficiência (TEIXEIRA, 2005).

Atualmente, a questão da preservação e conservação do meio ambiente vem ganhando cada vez mais prioridade a fim de se garantir um desenvolvimento sustentável. Dentre os diversos danos causados ao meio ambiente, há uma grande parcela relacionada à geração de resíduos (PEREIRA, 2017).

As fibras de vegetais são materiais renováveis e sua disponibilidade atualmente é considerada ilimitada. Devido a vasta diversidade de plantas lenhosas e fibrosas disponíveis, existe um grande potencial para a descoberta de fibras naturais com propriedades desejáveis (estabilidade química e biológica, resistência ao fogo, leveza, resistência mecânica, resistência à abrasão e ao corte, entre outras propriedades de interesse) (GENOVESE et al, 2006).

As fibras naturais possuem uma menor abrasão que as fibras artificiais normalmente utilizadas como reforço, como, por exemplo, fibra de vidro, e assim geram um desgaste menor dos equipamentos envolvidos no seu processamento. Compósitos reforçados com fibras naturais, também utilizam matrizes biodegradáveis, e são considerados materiais menos agressivos ao meio ambiente e podem ser reutilizados, apresentam um baixo custo, em relação aos reforços atualmente empregados; e possuem baixa densidade e alta deformabilidade quando comparadas com materiais semelhantes neste campo de aplicação (MARINELLI, 2008).

Além disso as fibras naturais podem gerar uma nova fonte de rendimento para a população rural, promovendo a fixação das populações e evitando a desertificação das zonas rurais (LEVY; PARDINI, 2016).

Outra vantagem é que o processamento do material compósito com fibra em matriz polimérica, cumpre o papel de impossibilitar o movimento das fibras, conglobar e isolar as fibras constituintes do meio ambiente, conferir uma geometria estável que facilite a distribuição das solicitações a que o material esteja sujeito. Dentre as características que se destacam são: boa resistência à tração, módulo de elasticidade elevado, boa tenacidade e resistência ao impacto, ao corte e à degradação térmica, coeficiente de dilatação térmica próximo do da fibra, baixa condutibilidade térmica e elétrica, boa resistência à degradação química e adesão às fibras, boa capacidade em solidificar ou curar rapidamente, relativo baixo custo (PEREIRA, 2017; LEAL, 2007).

#### **2.4.2 Fibras Naturais na Construção Civil**

Após a Revolução Industrial, destacou-se a necessidade de desenvolvimento de produtos provenientes de fontes não renováveis. No caso da engenharia civil,

começaram a ser utilizados nas construções materiais como aço, concreto e ferro, o que proporcionou processos de edificações mais rápidos. Em compensação, é nítido que a utilização excessiva de determinados materiais pode trazer inúmeras consequências ao meio ambiente. Assim também a arquitetura passou por diferentes revoluções. Na atualidade busca-se cada vez mais o conceito do natural, procurando garantir que o edifício não seja um complemento (SCHUCH et al, 2018).

Nos últimos anos, com o aumento exagerado do consumo industrial de diversos produtos tem gerado como consequência impactos ambientais negativos significativos ao ecossistema, como por exemplo, o aumento da poluição e elevada geração de resíduos. Por isso, é essencial que existam outras alternativas para substituir os produtos que prejudicam o meio ambiente por alternativas ambientalmente corretas, como são as fibras naturais, visto que muitas vezes são descartadas e poderiam ser reutilizadas. Assim, cabem às indústrias do setor investirem nessas possibilidades como possibilidade de crescimento e consequente diferencial no mercado (FARUK et al, 2014; MOHAMMED et al, 2015).

A serragem, os cavacos menores e as cascas são resíduos geralmente queimados ou descartados no ambiente, provocando poluição do solo, ar e água. Tais problemas tendem a se agravar pelo aumento projetado da produção de madeira serrada, já que atualmente diversas empresas florestais estão envolvidas no manejo de povoamento de eucalipto, com vista ao seu uso múltiplo. Além dos aspectos da poluição, há o lado econômico, pois apenas a metade da madeira produzida, em ciclos de 15 a 20 anos ou mais, é efetivamente utilizada. A preocupação com a serragem e as cascas deve-se ao fato de que estes são resíduos com maiores dificuldades de utilização (MENDOZA et al, 2010).

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo estão descritos os materiais que foram utilizados, os métodos para a obtenção do produto e as técnicas realizadas. Conforme o fluxograma abaixo:

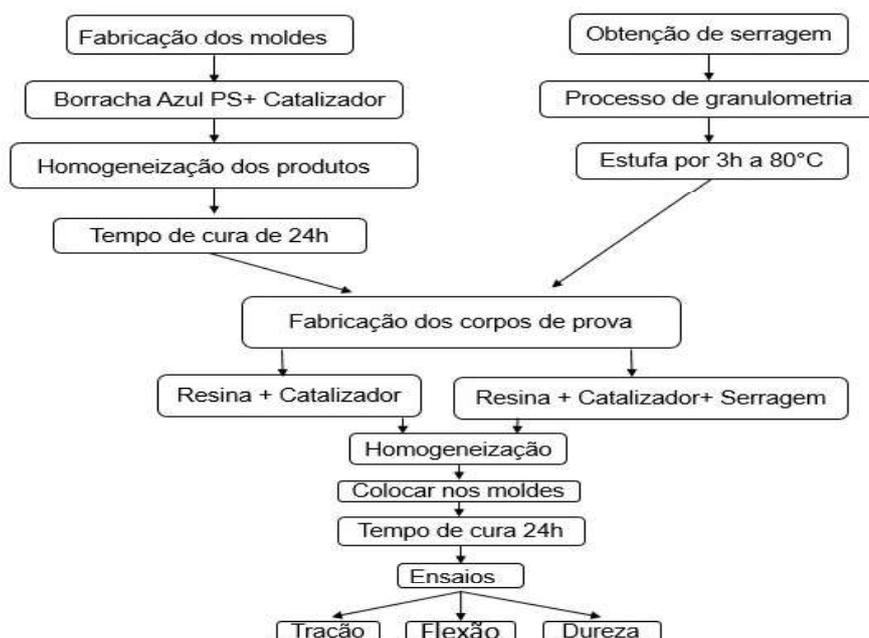


Figura 5 - Fluxograma da elaboração dos corpos de prova estudados neste trabalho. Fonte: a Autora (2021)

#### 3.1 Materiais

##### 3.1.1 Resina Epóxi

A resina utilizada neste trabalho é a Resina Epóxi 2004 com Endurecedor SQ 3140, da fabricante Redelease Ltda.

Conforme informações do fabricante, a resina caracteriza-se por um produto líquido resultado da reação da Epocloridrina com Bisfenol A, e modificada com Alil Glicidil Éter. Seu endurecedor é uma poliamida que promove uma excelente adesão com boa resistência química, térmica e mecânica, possuindo uma baixa exotermia, permitindo ser de fácil solubilização na resina e proporções não críticas obtendo uma cura homogênea. Este produto foi desenvolvido para atender as colagens e revestimentos em metais, cimento, plástico reforçado, concreto e fibrocimento, possuindo uma excelente resistência química e mecânica.

Nas figuras 6 e 7 são mostrados os componentes da resina e sua ficha técnica.



Figura 6- Resina Epóxi 2004 com Endurecedor SQ 3140 (Primer Epoxi) Fonte: <https://www.redelease.com.br/resina-epoxi-2004-com-endurecedor-sq-3140-02-kg.html>

#### CARACTERÍSTICAS DOS COMPONENTES

	Resina SQ 2004	Endurecedor SQ 3140
Aparência	líquido translúcido viscoso	líquido âmbar
Viscosidade, 20oC, cPs	500 a 800	11.000 +/- 1000
Peso Específico, 20oC, g/cm <sup>3</sup>	1,11 +/- 0,01	0,96 +/- 0,01

#### PROPRIEDADES DO SISTEMA NÃO CURADO

Proporção de mistura (Resina: Endurecedor) .....	100:50 (até 100) partes em peso.
Temperatura de manipulação (°C) .....	18 - 30.
Tempo de utilização da mistura (gel time) a 20°C .....	45 a 60 min.
Tempo de endurecimento da mistura (100 ml, 20°C) .....	90 a 180 min.
Cura total a 20°C .....	36 a 48 horas.

#### PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DO SISTEMA CURADO

Resistência à Tração (kg/mm <sup>2</sup> ) VSM 77101 .....	4 a 5.
Resistência à Pressão (kg/mm <sup>2</sup> ) VSM 77102 .....	20 a 22.
Resistência à Flexão (kg/mm <sup>2</sup> ) VSM 77103 .....	9 a 11.
Resistência à Flexão de Choque (cm kg/cm <sup>2</sup> ) VSM 77105 .....	4 a 5.

Figura 7- Ficha Técnica da Resina Epóxi 2004 com Endurecedor SQ 3140; Fonte: <https://www.redelease.com.br/resina-epoxi-2004-com-endurecedor-sq-3140-02-kg.html>

### 3.1.2 Serragem

Neste trabalho o reforço utilizado foi a serragem, cedida por uma serraria localizada na Rua Antônio Siqueira, no município de Bananal. O material recebido passou por um processo de separação granulométrica (peneiramento). Descartadas as cascas, a serragens grossa (10 mesh) e fina (30 mesh) foram para a estufa. Após esses processos o material encontrava-se apto para o processamento.

## 3.2 Métodos

### 3.2.1 Fabricação dos moldes

Para a fabricação dos moldes, utilizou-se a borracha de silicone azul PS e o catalisador da marca Redelease como mostra a figura 8. A composição da borracha se dá por um bi-componente, vulcanizável sob temperatura ambiente, que após adicionado o catalisador, resulta em um produto elástico e resistente. Conforme ficha técnica do material, sua dureza após a cura é Shore A 9-10.

Este material foi escolhido por ter uma excelente mobilidade, baixa retração linear, boa fluidez e não necessita de desmoldante. Para a obtenção de cada molde foram utilizados 300g da borracha azul e 9g de catalisador, devidamente pesados em balança analítica. Após a pesagem, os componentes foram misturados até total homogeneização e colocados na forma contendo corpos de prova padronizados de tração e flexão. Após um tempo de cura de 24 horas, após a desmoldagem, os moldes estavam prontos para sua utilização, conforme mostra a figura 9.



Figura 8- Borracha De Silicone: Azul Alta Flexibilidade para Moldes (Com Catalisador). Fonte: <https://www.redelease.com.br/borracha-de-silicone-azul-alta-flexibilidade-para-moldes-com-catalisador-1-030-kg.html>



Figura 9- Moldes confeccionados com a borracha de silicone azul PS e o catalisador da marca Redelease. Fonte: a Autora (2021).

### 3.2.2 Processamento do material

#### 3.2.2.1 Formulação e processamento dos materiais

Inicialmente, serragem passou por um processo de granulometria, figura 9, separando a fibra em média e fina de acordo com a NBR NM 248.



Figura 10- Máquina de separação granulométrica. Fonte: a autora

Após o material devidamente separado, as fibras foram colocadas na estufa por três horas a 80° C, para os resultados não sofrerem influência da umidade.

Os compostos foram obtidos através das composições descritas na tabela 2. As amostras chamadas de Epóxi fino são aquelas nas quais foi utilizada a fração de

serragem na granulometria de 30 mesh, enquanto as amostras denominadas Epóxi médio são aquelas que utilizaram serragem a 10 mesh.

*Tabela 2- Composição dos compósitos. Fonte: a autora (2021)*

<b>Amostra</b>	<b>Resina (g)</b>	<b>Endurecedor (g)</b>	<b>Fibra (Serragem) (g)</b>
<b>Puro</b>	10,0	5,0	-
<b>Epóxi Fino à 10%</b>	9,0	4,5	1,5 (10%)
<b>Epóxi Fino à 20%</b>	8,0	4,5	3,0 (20%)
<b>Epóxi Médio à 10%</b>	9,0	4,5	1,5 (10%)
<b>Epóxi Médio à 20%</b>	8,0	4,5	3,0 (20%)

Para a fabricação dos corpos de prova, as composições foram devidamente pesadas em uma balança analítica, após as pesagens, os materiais foram misturados lentamente com a ajuda de uma espátula, em seguida foram colocados nos moldes conforme as figuras 11 e 12. Depois de 24h os corpos de provas já secos foram retirados dos moldes de silicone.



*Figura 11- Confeção de corpos de prova com resina Epóxi Pura. Fonte: a autora (2021)*



*Figura 12- Confeção de corpos de prova com resina Epóxi Fino à 10%. Fonte: a autora (2021)*

### 3.3 Caracterizações

#### 3.3.1 Ensaio de Tração

Foram realizados os ensaios de tração no Laboratório de Ensaios Mecânicos do Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA). O equipamento utilizado foi da marca EMIC DL-10000, com uma célula de carga de 5 kN, temperatura ambiente e a uma velocidade de  $5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , como mostra a figura 13. Para cada compósito avaliado foram ensaiados cinco corpos de prova com dimensões de acordo com a norma ASTM D 638.

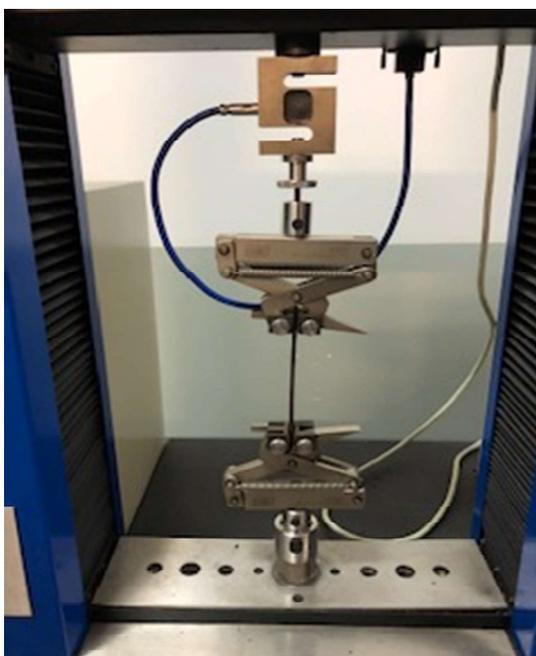


Figura 13- Ensaio de tração no equipamento EMIC DL-10000. Fonte: a autora (2021)

#### 3.3.2 Ensaio de Flexão

Para os ensaios de flexão foi utilizado um equipamento da marca EMIC DL-10000 disponível no Laboratório de Ensaios Mecânicos do Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), com célula de carga de 100 kN, distância entre apoios de 80 mm, em temperatura ambiente e a uma velocidade de  $5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ , como mostra na figura 14. Foram analisados cinco corpos de prova, com dimensões em milímetros (mm), baseado na norma ASTM D 790-03.



Figura 14- Ensaios de flexão no equipamento EMIC DL-10000. Fonte: a autora

### 3.3.3 Ensaio de Dureza

Os ensaios de dureza foram realizados no Laboratório de Ensaios Mecânicos do Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), conforme a figura 15. O equipamento utilizado foi da marca DIGIMESS com capacidade de 0 a 100 Shore D; resolução de 0,1 Shore D; e exatidão de  $\pm 1$  Shore D.



Figura 15- Ensaios de Dureza Shore D. Fonte: a autora

## 4. Resultados e Discussão

### 4.1 Tração

As análises dos resultados de tração foram realizadas com os valores médios, apresentados pelas amostras, apresentando as curvas de tensão deformação para a resina epóxi com as fibras naturais, que são apresentados nas figuras 16 e 17:

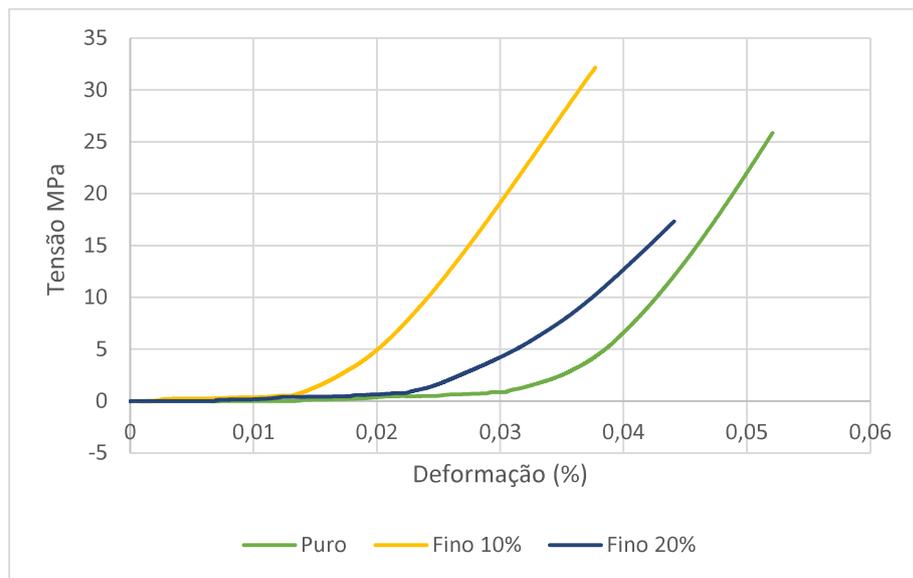


Figura 16- Comportamento mecânico da resina epóxi pura e com adições de compósitos, fibras naturais de serragem fina à 10% e 20% em tração. Fonte: a autora

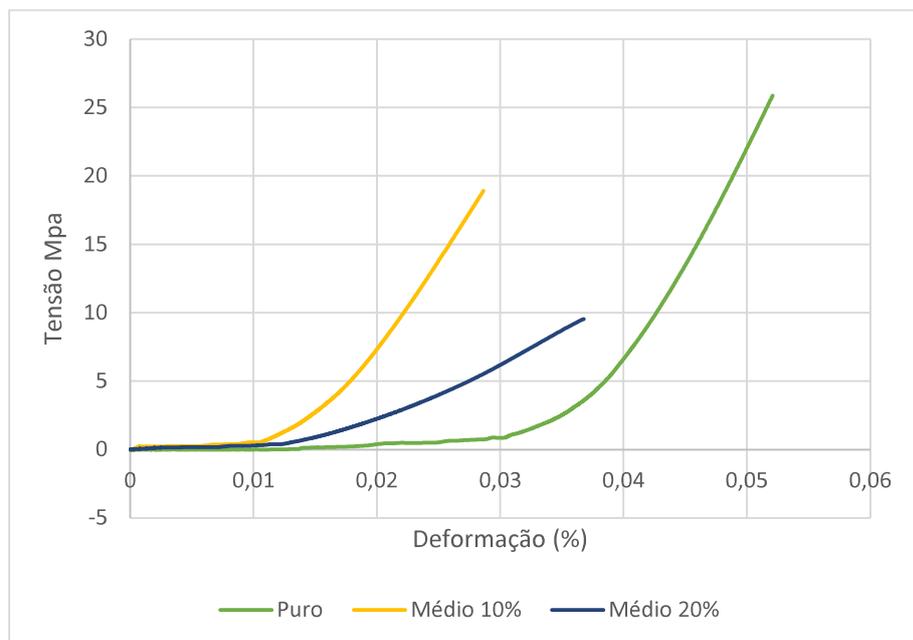


Figura 17- Comportamento mecânico em tração da resina epóxi pura e com adições de compósitos, fibras naturais de serragem média à 10% e 20%. Fonte: a autora

A análise inicial das curvas mostra que os materiais apresentaram um comportamento típico de resinas termorrígidas, não sendo verificadas regiões de deformação plástica ( MARINUCCI, 2011). A tabela 3 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de tração.

*Tabela 3- Resultados obtidos pelos ensaios de tração. Fonte: a autora*

<b>Amostra</b>	<b>Deformação Máxima (%)</b>	<b>Tensão Máxima (MPa)</b>	<b>Módulo de Young (MPa)</b>
<b>Puro</b>	6 ± 0,8	42 ± 3	1520 ± 65
<b>Fino 10%</b>	4 ± 0,4	27 ± 2	1564 ± 83
<b>Fino 20%</b>	4 ± 0,7	15 ± 3	945 ± 39
<b>Médio 10%</b>	4 ± 0,4	21 ± 3	1303 ± 57
<b>Médio 20%</b>	3 ± 0,7	7 ± 2	334 ± 49

A análise da tabela 03 permite verificar que, nos compósitos com serragem fina, o melhor resultado foi obtido com aquele de composição de 10% de fibra. Este material apresentou ligeiro aumento no Módulo de Young em relação à resina pura (3%) e apresentou valor de tensão máxima de 27 MPa. O material contendo 20% de serragem fina apresentou-se com uma rigidez cerca de 37% menor que a resina pura, inviabilizando sua aplicação. Este resultado era esperado, visto que, durante o processamento, esta composição apresentou-se com uma consistência bastante pastosa e de difícil homogeneização.

No caso dos compósitos contendo serragem média, a figura 16 e a tabela 03 mostram um melhor resultado para as amostras contendo 10% de reforço. Houve uma pequena redução na rigidez com a adição da serragem média (14%), em comparação com o Módulo de Young da resina pura. Da mesma forma que ocorreu para a serragem fina, as amostras contendo 20% de serragem média apresentaram dificuldade de processamento e, conseqüentemente, grandes perdas nas propriedades mecânicas.

No trabalho de Cavalcanti et al (2020), os autores utilizaram uma mistura de resina epóxi como óleo epoxidado para a produção da matriz de compósitos reforçados com madeira de resíduo da construção civil sob granulometrias de 18 e 35

mesh. No referido estudo, assim como neste trabalho, a adição do reforço também promoveu uma redução na deformação sob tração a menos da metade da deformação do material puro. Contudo, os valores absolutos não podem ser comparados, uma vez que as matrizes são diferentes e possuem, portanto, propriedades distintas.

Ainda no trabalho de Cavalcanti et al (2020), houve um aumento no Módulo de Elasticidade com a adição das fibras, comportamento também observado neste trabalho para a amostra com 10% de serragem fina, mas não para as demais composições. Aparentemente, a adição do óleo epoxidado no trabalho de Cavalcanti et al (2020) promoveu uma interação melhor entre a fibra e a matriz de resina. Sendo assim, para trabalhos futuros, sugere-se o estudo da utilização de aditivos que possam contribuir para essa compatibilização.

Uma vez que são poucos os trabalhos disponíveis na literatura utilizando resina epóxi reforçada com serragem, por mistura simples, sem aplicação de pressão ou temperatura, a comparação com outros trabalhos se torna difícil. No contexto dos compósitos reforçados com material particulado derivado de fibras naturais, normalmente são utilizadas matrizes termoplásticas. Nestes casos, a adição de biomassa vegetal promove, geralmente, um aumento nas propriedades mecânicas do material final, como mostram os trabalhos de OLIVEIRA (2015), BRAZ (2019) e OLIVEIRA (2017). No caso do uso de matrizes termorrígidas, uma vez que sua cura depende da formação de ligações reticuladas entre as cadeias, uma explicação para a redução das propriedades em tração com adição da serragem é que o material particulado impossibilitaria a reticulação das cadeias. Tal hipótese pode ser avaliada em trabalhos futuros por Calorimetria Diferencial Exploratória, por meio da análise termodinâmica dos picos de cura do material.

Sendo assim, sob a ótica dos resultados obtidos em tração, entende-se que, dos materiais estudados, os que apresentam potencial de aplicação são aqueles compósitos contendo 10% de serragem.

## **4.2 Flexão**

As análises dos resultados de Flexão foram realizadas com os valores médios apresentados pelas amostras, com objetivo de avaliar a influência da adição de

serragem no comportamento mecânico em flexão dos compósitos obtidos. As curvas podem ser verificadas nas figuras 18 e 19.

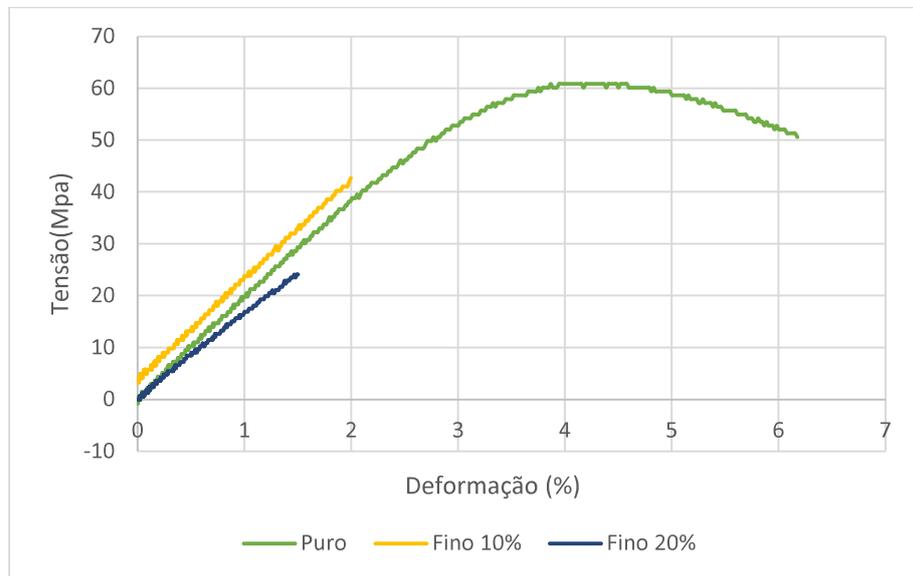


Figura 18- Comportamento mecânico da resina epóxi pura e com adições de compósitos fibras naturais de serragem fina à 10% e 20% no ensaio de Flexão. Fonte: a autora

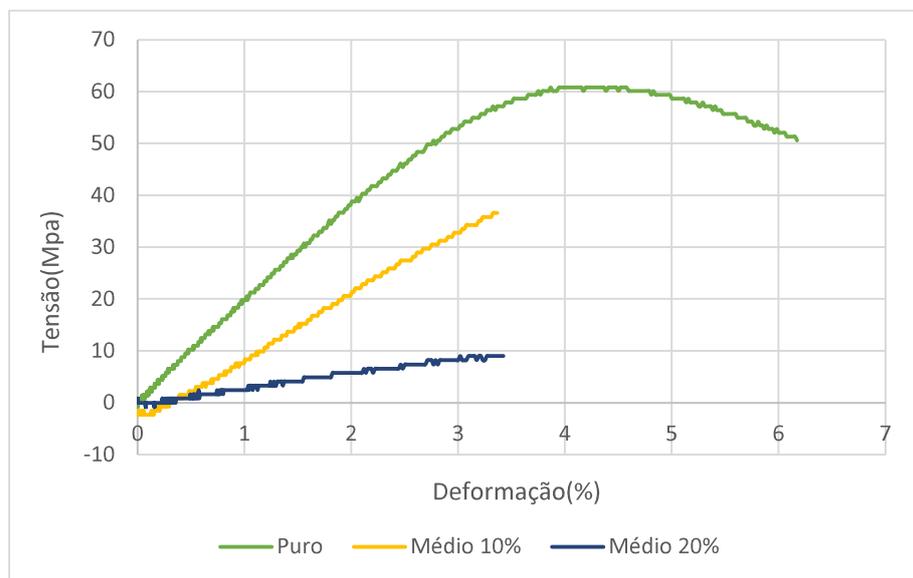


Figura 19- Comportamento mecânico da resina epóxi pura e com adições de compósitos fibras naturais de serragem média à 10% e 20% no ensaio de Flexão. Fonte: a autora

É possível verificar nas figuras 18 e 19 que, assim como ocorreu em tração, a adição da biomassa promoveu uma menor deformação em flexão. Esse

comportamento também foi verificado no trabalho de Cavalcanti et al (2020) e no de Nascimento et al (2018).

Os valores numéricos encontrados nos ensaios de flexão são mostrados na tabela 4.

*Tabela 4- Resultados obtidos pelos ensaios de Flexão. Fonte: a autora*

<b>Amostra</b>	<b>Tensão Máxima (MPa)</b>	<b>Inclinação da Tangente</b>	<b>Módulo de Elasticidade (MPa)</b>
<b>Puro</b>	62 ± 12	12 ± 3	452 ± 27
<b>Fino 10%</b>	41 ± 5	22 ± 6	907 ± 75
<b>Fino 20%</b>	25 ± 3	14 ± 3	496 ± 72
<b>Médio 10%</b>	38 ± 3	16 ± 5	660 ± 35
<b>Médio 20%</b>	12 ± 3	3 ± 3	127 ± 29

A análise dos resultados obtidos em flexão mostra que, em geral, ocorreu um aumento no módulo de flexão com adição da serragem, exceto nas amostras contendo 20% de serragem média. É possível verificar, ainda, que, assim como ocorreu para a propriedade de tração, o melhor resultado encontrado entre os compósitos foi o daquele com adição de 10% de serragem fina, que apresentou um aumento de 100% no Módulo de Elasticidade, acompanhada de uma redução de cerca de 33% na Tensão Máxima, quando comparados os resultados apresentados pela resina pura.

Além disso, a amostra contendo 10% de serragem média também apresentou bons resultados, demonstrando um aumento no Módulo de Elasticidade de 46% em comparação à resina pura.

Para comparação dos resultados em flexão, o trabalho de Nascimento et al (2018) realizou ensaios de flexão em compósitos de resina epóxi reforçados com fibras de Malva. Os autores encontraram aumento de 98,7% no Módulo de Flexão com adição de 10% de fibra, um resultado muito parecido com o encontrado neste trabalho.

Outros trabalhos da literatura demonstram aumento no Módulo de Flexão com adição de fibras particuladas em compósitos poliméricos. Contudo, na grande maioria dos trabalhos encontrados, foram utilizados polímeros termoplásticos, o que limita, nesse caso, a comparação de resultados.

No trabalho de Hillig et al (2008), foram beneficiados resíduos, de chapa de fibra de média densidade (MDF) e madeira de eucalipto (*Eucalyptus grandis*), de madeira de pinus (*Pinus taeda*), de aglomerado, que foram incorporados ao HDPE “virgem”, juntamente com um agente de acoplamento à base de anidrido maléico. Verificou-se que os resultados de Flexão, obtiveram um aumento significativo no módulo de flexão, à medida em que se foi aumentando a proporção de serragem.

A pesquisa de Quinhones (2007) teve como objetivo a produção de placas compostas de serragem de duas espécies operadas em serrarias combinada com polietileno de baixa densidade reciclável (PEBD). Serragem e farinha de madeira de Pinus e Eucalyptus como reforços, avaliando múltiplas composições. Os materiais foram processados por prensagem sob temperatura elevada e o módulo de elasticidade em flexão foi, em geral, superior para as placas que continham serragem de *Eucalyptus*.

Um resultado diferente foi encontrado no estudo de Poletto et al (2010), no qual utilizou-se poliestireno expandido pós-consumo e serragem de *Pinus*. Esses compósitos foram obtidos em extrusora de dupla rosca co-rotante durante sua preparação e por injeção para a confecção dos corpos de prova para ensaios mecânicos. Foram examinados os efeitos da adição de 20 e 40% em massa de serragem nas propriedades mecânicas. Entre as propriedades avaliadas, o módulo e a tensão máxima em flexão diminuíram de forma drástica conforme houve aumento nas porcentagens de serragem.

### **4.3 Dureza**

No ensaio de dureza Shore D, foi avaliada a dureza da superfície do material através da penetração de uma haste em forma de cone. Este ensaio é uma referência que pode auxiliar na indicação da tenacidade ou fragilidade do material. No caso da aplicação em pavimentação, a Dureza é também um parâmetro importante, pois está associada à resistência ao risco apresentada pelo material e, portanto, tem grande

influência na viabilidade de aplicação e, ainda, na estética do material final. Os resultados obtidos no ensaio de Dureza encontram-se na Tabela 05.

*Tabela 5- Resultado de dureza Shore D dos compósitos. Fonte: a autora*

<b>Dureza Shore D</b>	
<b>Puro</b>	51,7 Hd
<b>Fino 10%</b>	58,4 Hd
<b>Fino 20%</b>	43,0 Hd
<b>Médio 10%</b>	63,3 Hd
<b>Médio20%</b>	29,4 Hd

A análise destes resultados mostra que houve aumento na dureza dos materiais compósitos em relação ao material puro, com ressalva das amostras contendo 20% de serragem média. Trata-se de um resultado excepcional, uma vez que não é comum obter aumento nos valores de Dureza com adição de fibras particuladas em compósitos.

No trabalho de LEITE (2002), foi utilizada como matriz polimérica uma resina fenólica comercial e, como material de reforço, foram utilizadas fibras mercerizadas de bagaço de cana-de-açúcar, resultante de uma moenda para a extração do caldo. Os resultados mostraram que a dureza dos materiais resultantes diminuiu com a adição de fibra, apesar do aumento em outras propriedades mecânicas de tração e flexão.

## 5. CONCLUSÕES

O resultado do desenvolvimento deste trabalho mostrou que foi possível obter um material compósito homogêneo. A introdução da serragem na resina epóxi promoveu um aumento no módulo de Young dos compósitos, evidenciado nos resultados do ensaio de tração. Este aumento foi de  $1520 \pm 65$  da resina pura para  $1564 \pm 83$  nas formulações com 10% de serragem fina. Quanto às propriedades mecânicas em flexão, apresentaram respectivamente, módulo de elasticidade de  $452 \pm 27$  da resina pura para  $907 \pm 75$  à 10% de serragem fina. Já na dureza, o maior resultado foi à 10% da serragem média com o valor de 63,3Hd, e o da resina pura foi 51,7Hd.

Após análise dos resultados obtidos, bem como a comparação, no que coube, com outros trabalhos da literatura, entende-se que o produto obtido nesta dissertação com 10% de serragem em granulometria fina (30 mesh), produzido pela mistura simples dos componentes da resina com o reforço, sob temperatura ambiente com cura de 24h pode ser utilizado para pavimentação de ambientes na forma de “porcelanato líquido”. A composição contendo 10% de serragem em granulometria média (10 mesh) também apresentou resultados satisfatórios e pode ser considerada como uma boa opção para esta aplicação.

A conclusão se dá em base de não haver perda na rigidez utilizando a referida composição, tanto em tração quanto em flexão, quando comparado à resina pura. Além disso, houve um aumento na dureza Shore D nos compósitos com esta composição.

Além disso, outra propriedade importante, qualitativa, é a aparência do produto. Por se tratar de uma aplicação cuja estética exerce grande influência, pode-se afirmar que os materiais produzidos com 10% de serragem fina e média apresentaram-se com uma estética bastante interessante do ponto de vista comercial, tendo, dessa forma, um bom apelo mercadológico.

Quanto aos custos, uma vez que a serragem pode, inclusive, ter custo nulo, os compósitos podem apresentar de 10 a 20% de economia quando comparados ao uso

da resina pura. Vale ressaltar, ainda, que quando utilizada pura, a resina necessita de pigmentação e, no caso do compósito, não há a necessidade de utilizar este aditivo.

## **6 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Avaliar a influência do reforço particulado na reticulação das cadeias da resina por Calorimetria Diferencial Exploratória;
- Avaliar a estabilidade térmica dos compósitos por meio de Termogravimetria;
- Avaliar a morfologia dos compósitos por meio de Microscopia Eletrônica de Varredura;

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, T. P., BARRA, G. M. O., BARCIA, F. L. & SOARES, B. G. Estudo das propriedades de compósitos de polianilina e resina epoxídica. **Polímeros: Ciência e tecnologia**, 11 (3), 149-157, 2001.

BANNA, W. R., COSTA D. S., BAIA, L. M. G., SOUZA, J. A. S., **Viabilidade da utilização de compósitos híbridos reforçados com fibra de sisal e pó de madeira como materiais renováveis**. Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014.

BOUTH, J. A. C., **Estudo da potencialidade da produção de tijolos de adobe misturado com outros materiais: uma alternativa de baixo custo para a construção civil**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos; Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2005.

BRAZ, J.D., **Desenvolvimento e caracterização de compósitos de polipropileno reciclado reforçados com serragem e resíduos industriais**. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais). Centro Universitário de Volta Redonda. Volta Redonda, 2019.

BRILHANTE, F.F. **Desenvolvimento de manta termoacústica à base de fibra da palha de milho e resina epóxi**. Monografia (Graduação em Engenharia Civil) – Centro Universitário Unichristus. Fortaleza, 2020.

CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G., **Fundamentos da ciência e engenharia de materiais** - Uma Abordagem Integrada – LTC, 4ª Ed. 2014.

CAVALCANTE A. P.; CANTO L. B.; **Avaliação do efeito da incorporação de resíduo de baquelite sobre as propriedades mecânicas do polipropileno**; Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ, Instituto de Macromoléculas Professora Eloisa Mano - IMA, Rio de Janeiro-RJ, 2009.

CAVALCANTE, J. **Desenvolvimento de compósitos epóxi/cortiça para aplicação não-estrutural na construção civil**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais). Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2018.

CAVALCANTI, W.M.; OLIVEIRA, L.S.; CANGUSSU, L.B.; MAZIERO, R.; CASTRO, B.D. **Produção, caracterização química e mecânica de compósitos a partir de resíduos de madeira da construção civil e resinas epóxi de óleos vegetais**. Anais do III Congresso Sul-americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Gramado, 2020.

COSTA, M. L., RESENDE, M. C., PARDINI, L. C., Métodos de estudo da cinética de cura de resinas epóxi. **Polímeros**, vol 9 nº2, São Carlos, 2017.

COUTO FILHO, C.M.; COSTA, D.I. **Utilização do porcelanato e da resina epóxi no revestimento de piso: um comparativo econômico**. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Centro Universitário CESMAC. Maceió, 2017.

FACCA, A. G.; MARK, T. K.; YAN, N. Predicting the tensile strength of natural fibre reinforced thermoplastics. **Composites Science and Technology**, v.67, p. 2454–2466, 2007.

FARUK, O.; BLEDZKI, A.K.; FINK, H.P.; SAIN, M. Progress Report on Natural Fiber Reinforced Composites. **Macromolecular Materials and Engineering**, Wiley. v. 299 (1), p. 9-26, 2014.

FIORELLI, J, **Utilização de fibras de carbono e de fibras de vidro para reforço de vigas de madeira**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Universidade Federal de São Carlos- São Carlos, 2002.

GENOVESE A. L.; UDAETA M. E. M.; GALVÃO L. C. R., **Aspectos energéticos da biomassa como recurso no Brasil e no mundo**, Escola Politécnica da USP An. 6. Enc. Energ. Meio Rural, SciELO Brasil, 2006.

GONÇALVES, J. A. V.; **Compósitos à base de resina epóxi reforçados com fibra de coco**- Universidade Federal de Sergipe, Programa de Pós Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais, Sergipe, 2010.

GORNINSKI, J. P.; **Estudo da influência da resinas poliéster isoftálica e ortoftálica e do teor de cinza volante nas propriedades mecânicas e durabilidade do concreto polímero-** Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia- Programade Pós Graduação- Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2002.

GRIZZO, L. H.; HAGE, E.; LAURINI R. V.; Desenvolvimento de pvc reforçado com fibras de vidro longas para fabricação de produtos moldados. **Polímeros**, vol.21 no.5 São Carlos 2011 Epub Nov 23, SciELO Brasil, 2011.

HIDALGO-SALAZAR, M. A.; MINA, J. H.; HERRERA-FRANCO, P. J. The effect of interfacial adhesion on the creep behaviour of ldpe–al–fique composite materials. **Composites Part B: Engineering**, v. 55, p. 345-351, 2013.

HILLIG, E.; IWAKIRI,S.; ANDRADE, M.,Z.; e ZATTERA, A.J.; Caracterização de compósitos produzidos com polietileno de alta densidade (hdpe) e serragem da indústria moveleira. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v.32, n.2, p.299-310, 2008.

LARCERDA, F.C. **Revestimentos de piso para restaurantes e cozinhas industriais.** Monografia (Especialização em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2014.

LEAL, R. P. **Processamento de materiais compósitos: Moldação fechada.** Faculdade de Ciência e Tecnologia – Universidade de Coimbra, 2007.

LEITE, J. L., **Processamento e caracterização de compósitos formados por resina fenólica e fibras de bagaço de cana como reforço-** Universidade Federal De Santa Catarina Programa De Pós-Graduação Em Ciência E Engenharia De Materiais- Florianópolis – Sc-2002.

LEVI NETO, F.; PARDINI, L. C.; **Compósitos estruturais: ciência e tecnologia. 1 ed.** São Paulo: Edgard Blücher, 2016.

LUZ S. M.; GONÇALVES A. R.; DEL'ARCO JR A. P. Microestrutura e propriedades mecânicas de compósitos de polipropileno reforçado com celulose de bagaço e palha de cana; **Matéria**, vol.11 no.2 SciELO Brasil, Rio de Janeiro, 2006.

MARINELLI, A. Desenvolvimento de compósitos poliméricos com fibras vegetais naturais da biodiversidade, **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 18, nº 2, p. 92-99, 2008.

MARINUCCI, G. **Materiais compósitos poliméricos: fundamentos e tecnologia**. São Paulo: Artliber. 333p, 2011.

MEGIATTO J. D.; SILVA C. G.; RAMIRES E. C.; FROLLINI E.; **Matriz termoendurecível reforçada com fibras de sisal: efeito do ciclo de cura nas propriedades do compósito de base biológica**, Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo, Brasil, 2009.

MENDOZA, Z. M. S.H.; EVANGELISTA, W. V.; ARAÚJO, S. DE O.; SOUZA, C. C. DE; RIBEIRO, F. D. L.; SILVA, J. DE C.; Análise dos resíduos madeireiros gerados nas marcenarias do município de viçosa - Minas Gerais. **Revista Árvore**, vol. 34, núm. 4, 2010, pp. 755-760, 2010.

MENEZES, C. C. G., ADDE, C. A., UTUMI, E. R., PEDRON, I. G. & SILVA, L. P. N. Considerações referentes aos processos alérgicos decorrentes do uso do látex em odontologia, **Rev. Odontol. Bras. Central**, 20 (55), 304-307.- 2011.

MOHAMMED, L.; ANSARI, M.N.M.; PUA, G.; JAWAID, M. ISLAM, M.S. A review on natural fiber reinforced polymer composite and its applications. **International Journal of Polymer Science**. Hindawi Publishing. v. 2015, ID 243947, p. 1-15. 2015.

MORAES S. R. P.; OLIVEIRA A. L. R. ; SOUZA J. F.; ALVES J. D.; Avaliação de polímeros termoplásticos recicláveis como materiais componentes de telhas e tijolos. **Enciclopédia Biosfera**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; Pág. 1; 2010.

NASCIMENTO, L.F.C.; MONTEIRO, S.N.; DEMOSTHENES, L. COSTA, U.O. **Ensaio de flexão em compósitos de epóxi reforçados com fibras de malva**. 73º Congresso Anual ABM Week. São Paulo, 2018.

OLIVEIRA, J. L., **Processamento e caracterização de compósitos de polipropileno reforçados com fibras da palmeira real australiana**. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais). Centro Universitário de Volta Redonda, 2015.

OLIVEIRA, S. T., **Obtenção e caracterização de um compósito polimérico com pead reciclado e bagaço de cana tratado hidrotêrmicamente**. Dissertação (Mestrado Profissional em Materiais). Centro Universitário de Volta Redonda, 2017.

PANZERA, T. H., SABARIZ, A. L. R., STRECKER, K., BORGES, P. H. R., VASCONCELOS, D. C. L. & WASCONCELOS, W. L. Propriedades mecânicas de materiais compósitos à base de cimento portland e resina epóxi, **Cerâmica**, 56, 77-82- 2010.

PEREIRA, J. M. C. R., **Desenvolvimento e fabrico de compósitos de matriz polimérica com fibras naturais**. Escola Superior de Tecnologia e Gestão do Instituto Politécnico de Limeira, 2017.

Poletto, M.; Dettenborn, J.; Zattera A. J.; Zeni M. Avaliação das propriedades mecânicas de compósitos de poliestireno, **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 11(3), p. 169-177, 2010

QUINHONES, R., **Fabricação e qualificação de placas compostas de serragem e plástico reciclável**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"- Piracicaba-SP, 2007.

RIBEIRO, F., **Caracterização de compósito epóxi/ tecido de pet pós consumo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande do Norte- UFRN- 2016.

RODRIGUES, L. -**Efeitos do envelhecimento ambiental acelerado em compósitos poliméricos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Rio Grande Norte, Natal- 2007.

RODRÍGUEZ, L.J.; FABBRI, S.; ORREGO, C.E.; OWSIANIAK, M. Comparative life cycle assessment of coffee jar lids made from biocomposites containing poly(lactic acid) and banana fiber. **Journal of Environmental Management**, v. 266, Elsevier: 2020.

ROMÃO, C., **Estudo de comportameto mecânico de materiais compósitos de matriz polimérica reforçados com fibras naturais**. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica. Universidade do Porto- Faculdade de Engenharia, Porto-2003.

SANADI, A.R., **Natural fiber- thermoplastic composites: a review.** In Natural Polymers e Composites, Anais, São Pedro, 2002.

SHACKELFORD, J. F.; **Introdução à ciência dos materiais para engenheiros,** Editora Pearson Prentice Hall, 2008.

SILVA, L. A. I. **Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta-** Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro – UENF Campos Dos Goytacazes – RJ, 2014.

SOUZA, M. A., CASSU, S. N., MELLO, S. A. C, DUTRA, J.C.N., **Influência do método de vulcanização nas propriedades mecânicas e na densidade de ligações cruzadas da borracha natural-** Departamento de Química , Instituto Tecnológico de Aeronáutica ITA, São José dos Campos-SP, 2015.

TEIXEIRA, M. G. **Aplicação de conceitos da ecologia industrial para a produção de materiais ecológicos: o exemplo do resíduo de madeira.** Salvador, 2005. 98f. Dissertação (Mestrado em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo) - Departamento de Engenharia Ambiental, Instituto de Tecnologia, Universidade Federal da Bahia, Bahia, 2005.

VIANNA, W. L.; CORREA, C. A.; RAZZINO, C. A., **Efeitos do tipo de poliestireno de alto impacto nas propriedades de compósitos termoplásticos com farinha de resíduo de madeira;** Programa de Pós- Graduação em Engenharia e Ciência de Materiais, Departamento de Engenharia de Materiais, USCar, Polímeros vol.14, nº5. São Carlos Oct/Dec. 2004.

ZHANG, Q.; ZHANG, D.; LU, W.; KHAN, M.U.; XU, H.; YI, W.; LEI, H.; HUO, E. Production of high-density polyethylene biocomposites from rice husk biochar: Effects of varying pyrolysis temperature, **Science of The Total Environment**, v. 738, ISSN 0048-9697, Elsevier: 2020.