

**FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**EDUARDO DOS SANTOS CHRISTO
GABRIEL LEMOS GUEDES LIMA**

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITO DE
POLIPROPILENO REFORÇADO COM SERRAGEM**

**VOLTA REDONDA
2019**

FUNDAÇÃO OSWALDO ARANHA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE VOLTA REDONDA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**OBTENÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DE COMPÓSITO DE
POLIPROPILENO REFORÇADO COM SERRAGEM**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia Ambiental do UniFOA como requisito à obtenção do título de Engenheiro Ambiental.

Alunos: Eduardo dos Santos Christo
Gabriel Lemos Guedes Lima

Orientador: Prof. Dr. Bruno Chaboli
Gambarato

VOLTA REDONDA
2019



Fundação Oswaldo Aranha



Anexo 10
FOLHA DE APROVAÇÃO

Curso: Engenharia Ambiental

Trabalho de Conclusão de Curso intitulado:

“Obtenção e caracterização de compósitos de polipropileno reforçado com serragem”

Elaborado por

Acadêmico (s)

Eduardo dos Santos Christo

Gabriel Lemos Guedes Lima

Matricula (s)

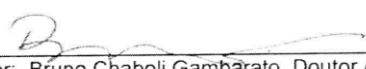
201420315

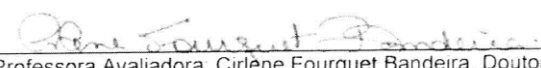
201420194


Apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso de Engenharia Ambiental.

Aprovada em 29 de maio de 2019

Banca Examinadora:


Professor Orientador: Bruno Chaboli Gambarato, Doutor / UniFOA


Professora Avaliadora: Cirlene Fourquet Bandeira, Doutora / UniFOA


Professor Avaliador: Sergio Roberto Montoro, Doutor / UniFOA

AGRADECIMENTOS

À nossa família, por estarem sempre presentes em nossas vidas, nos auxiliando durante períodos de dificuldade, celebrando em conjunto nas vitórias. Agradecemos a eles por nos proporcionarem a chance de produzir e finalizar mais essa fase dos nossos estudos.

Ao nosso orientador Prof. Dr. Bruno Chaboli Gambarato pelo apoio, orientação e paciência durante essa longa jornada.

À toda equipe da UniFOA e colaboradores que nos assistiram para o desenvolvimento desta monografia.

RESUMO

No atual contexto socioambiental, o desenvolvimento de compósitos poliméricos reforçados com fibras naturais oferece à indústria a oportunidade de reduzir custos de produção, obter materiais com propriedades melhoradas, além da melhor gestão de resíduos sólidos. A utilização destes resíduos pela indústria agrega valor a estes materiais e ainda pode levar ao desenvolvimento de novos produtos e tecnologias. Dentro deste contexto, a obtenção de compósitos poliméricos tem se destacado, uma vez que os materiais obtidos apresentam menores teores de derivados de petróleo e propriedades mecânicas superiores ao material original. O polipropileno é um dos plásticos mais utilizados no mundo. Possui aplicações bastante versáteis, que variam desde a produção de filmes e sacolas plásticas a aplicações em peças de alta resistência química e mecânica. Seu desenvolvimento se dá durante o craqueamento do petróleo e gaseificação do carvão, por meio da polimerização catalítica do gás propileno, sob temperatura e pressão controladas. Estima-se que o Brasil consome, por ano, cerca de 2 milhões de toneladas deste plástico. Dentro deste contexto, este trabalho visa desenvolver compósitos de polipropileno com adição de serragem e avaliar, via modelagem matemática e estatística, a influência dessas biomassas nas propriedades mecânicas do material final. Foi utilizada como biomassa a serragem oriunda da oficina do UniFOA, a qual foi triturada, tratada hidrotermicamente (a 121°C, por 30 min, sob pressão de 1,5 atm), seca e armazenada para uso. Os compósitos foram produzidos em misturador termocinético, nas composições de 5, 10 e 15% de substituição do plástico. Em seguida, foram triturados em moinho de facas e injetados a 300°C nos moldes das normas ASTM D 638-03 e D 790-03 para obtenção de corpos de prova de ensaios de tração e flexão. Os ensaios foram conduzidos e as propriedades obtidas nestes ensaios foram modeladas matematicamente. A modelagem foi realizada por meio de planejamento fatorial e os parâmetros foram calculados utilizando o software Statistica. Os resultados mostram que do material puro para o compósito contendo 15% de serragem, houve um aumento de 46% no Módulo de Young e um aumento de 15% na Tensão Máxima.

Palavras-chave: Biomassa Vegetal. Propriedades Mecânicas. Planejamento Fatorial.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA	11
1.2	JUSTIFICATIVA DO PROJETO	11
1.3	OBJETIVOS	12
1.3.1	OBJETIVO GERAL	12
1.3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1	MATRIZ POLIMÉRICA – POLIPROPILENO	13
2.2	BIOMASSAS VEGETAIS	14
2.2.1	CELULOSE	15
2.2.2	HEMICELULOSE	16
2.2.3	LIGNINA	17
2.3	COMPÓSITOS	19
2.3.1	CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS	20
3	METODOLOGIA	23
3.1	PREPARO DA SERRAGEM	25
3.2	PREPARO DOS COMPÓSITOS	25
3.4	CARACTERIZAÇÕES	27
3.4.3	ENSAIO MECÂNICO DE TRAÇÃO	27
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	28
4.1	PROPRIEDADES MECÂNICAS	28
4.2	ANÁLISE ESTATÍSTICA	28
4.2.1	MÓDULO DE YOUNG	29
4.2.2	TENSÃO MÁXIMA EM TRAÇÃO	33
5.	CONCLUSÕES	36
	CRONOGRAMA	37
	REFERÊNCIAS	38

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estrutura do Polipropileno.	14
Figura 2: Estrutura da Celulose.....	16
Figura 3: Parede Celular.	17
Figura 4: Unidades de fenilpropano precursoras da lignina.....	18
Figura 5: Modelo Estrutural da Lignina de Folhosas.....	19
Figura 6: Deformação por: (a) tração; (b) cisalhamento; (c) compressão.	20
Figura 7: Designação dos parâmetros no ensaio de tração.	21
Figura 8: Fluxograma da metodologia empregada neste trabalho.....	24
Figura 9: Compósito de polipropileno reforçado com 5% de serragem.	26
Figura 10: Compósito de polipropileno reforçado com 10% de serragem.....	26
Figura 11: Compósito de polipropileno reforçado com 15% de serragem.....	27

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição Média de Madeiras de Coníferas e Folhosas.	15
Tabela 2: Ensaio mecânicos realizados em materiais poliméricos.	22
Tabela 3: Diferentes proporções utilizadas para obtenção do compósito.	25
Tabela 4: Parâmetros obtidos por meio do ensaio de tração.....	28
Tabela 5: ANOVA Módulo de Young.....	30
Tabela 6: ANOVA Tensão Máxima.	34
Tabela 7: Cronograma.	37

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Influência do aumento da serragem no módulo de Young.	29
Gráfico 2: Valores, Observado vs. Previsto.....	31
Gráfico 3: Diagrama de Pareto aplicado ao Módulo de Young.	32
Gráfico 4: Influência do aumento de serragem na tensão máxima.	33
Gráfico 5: Valores, observado vs. previsto.	34
Gráfico 6: Diagrama de Pareto aplicado à tensão máxima.....	35

1 INTRODUÇÃO

No decorrer dos últimos anos, os plásticos têm sido usados de forma mais consistente, sobrepondo alguns materiais como o vidro, o aço e a madeira devido às suas peculiaridades de leveza, baixo custo, elevadas resistências química e mecânica, predisposição à aditivação e ainda por serem recicláveis. Os tipos de plásticos mais consumidos atualmente são os Polietilenos (PE), Polipropilenos (PP), Poliestirenos (PS), Policloreto de vinila (PVC) e os Poliésteres (PET), plásticos esses que têm muita aplicação, tal como produção (ABIPLAST, 2018).

Conforme a ABIPLAST, a expansão da indústria petroquímica na década de 70 propiciava um robusto desenvolvimento para o setor de plásticos no país, e na mesma época, o Brasil já contava com 2.200 transformadoras (ABIPLAST 50 Anos, 2017).

Anualmente, mais de 8 milhões de toneladas de lixo vão parar nas águas de todo o planeta, por volta de 60% a 90% destes resíduos são diferentes tipos de plásticos. Com a atual demanda, ritmo de consumo e descarte de resíduos sendo feitos de forma inadequada, estima-se que, em cerca de 30 anos haverá mais plástico do que peixes no oceano (GABRIEL, Greenpeace Brasil, 2018).

Com o passar dos anos, um grande interesse em escala mundial se iniciou pelo descobrimento e aperfeiçoamento de tecnologias que tornem possível o uso de produtos que causem impacto ambiental reduzido. Diante disso, os materiais plásticos sintéticos têm sido mais visados por acarretarem muitos pontos que precisam ser focalizados, especialmente sua dificuldade de reciclagem e o fato de não conseguir se decompor, o que resulta em uma extensa concentração deste tipo de material na natureza, em lixões e também em depósitos natureza (MARINELLI, et al., 2008).

Segundo pesquisa realizada pela BBC News Brasil, mais de 95% do lixo achado nas praias brasileiras é composto por materiais feitos de plástico (BBC News Brasil, 2018).

Em paralelo, as gerações em excesso de resíduos de madeira associada à sua pequena exploração ocasionam impactos ambientais negativos, além de prejuízo considerável de oportunidades à indústria, governos, sociedade em geral e

comunidades locais, especialmente em locais afastados que dependem de fontes externas de energia (WIECHETECK, 2009).

De acordo com o SNIF (Sistema Nacional de Informações Florestais), o volume de produção de madeira no ano de 2016 compreendeu um volume total de 267.368.113 m³, sendo: madeira para combustível: 122.266.650 m³ e madeira para uso industrial: 145.101.463 m³ (Boletim SNIF, 2017).

Buscando uma chave para esses empecilhos, pesquisas e trabalhos na área de compósitos poliméricos foram e estão sendo realizadas para garantir a preservação do meio ambiente, além de conceder um padrão de vida mais positivo à sociedade em geral. Dentre as pesquisas nesta área, que vêm desenvolvendo e que têm mais evidência, são as que procuram a aplicação para modificadores naturais, especialmente quanto à utilização de fibras naturais (MARINELLI, et al., 2008).

1.1 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA DE PESQUISA

Dentro do contexto apresentado, o presente estudo consiste sua problemática na verificação da seguinte argumentação: A partir da adição em diferentes proporções (5%, 10%, 15%) de serragem como reforço a uma matriz de polipropileno, quais alterações ocorrem em comparação ao material original e se existe viabilidade técnica, econômica e ambiental na produção e utilização deste compósito?

1.2 JUSTIFICATIVA DO PROJETO

No atual modelo social e ambiental em que vivemos, destacam-se duas vertentes: produzir com sustentabilidade e produzir com economia. Estima-se que o Brasil consome, por ano, cerca de 2 milhões de toneladas deste plástico e de acordo com o SNIF (Sistema Nacional de Informações Florestais), o volume de produção de

madeira no ano de 2016 compreendeu um volume total de 267.368.113 m³, sendo: madeira para combustível: 122.266.650 m³ e madeira para uso industrial: 145.101.463 m³ (Boletim SNIF, 2017).

É nesse cenário, que as pesquisas envolvendo compósitos poliméricos vem ganhando bons olhos para seu desenvolvimento. A aplicação destes resíduos pela indústria agrega valor a estes materiais, uma vez que passam de resíduo para matéria prima e ainda pode levar ao desenvolvimento de novos produtos e tecnologias. Sendo assim, a aquisição de compósitos poliméricos tem se destacado, uma vez que os materiais obtidos apresentam menores teores de derivados de petróleo e propriedades mecânicas superiores ao material original. Além de reduzir custos de produção, a prática atribui propriedades mecânicas e térmicas únicas a matriz do material, facilita a gestão de resíduos sólidos e agrega economia na utilização de resíduos. E é dentro deste contexto que se justifica o presente estudo de obtenção e caracterização dos materiais.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GERAL

A partir da adição de diferentes proporções (5%, 10%, 15%) de serragem como reforço a uma matriz de polipropileno reciclado, avaliar quais alterações ocorrem em comparação ao material original e se existe viabilidade técnica, na produção e utilização destes compósitos.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Preparar diferentes formulações de compósitos utilizando a matriz de PP reciclado reforçada com serragem;
- Realizar ensaios de tração, tendo em vista obter dados a respeito das propriedades mecânicas do material e da interação entre a fibra e a matriz;
- Avaliar, via modelagem matemática e estatística, a influência dessas biomassas nas propriedades mecânicas do material final.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste tópico apresenta-se o embasamento teórico da pesquisa, envolvendo assuntos como: matriz polimérica do polipropileno, biomassas vegetais e seus constituintes, compósitos e seus comportamentos térmicos e mecânicos.

2.1 MATRIZ POLIMÉRICA – POLIPROPILENO

Polímeros são macromoléculas determinadas pelo seu tamanho, estrutura química e interações intra e intermoleculares. Tais macromoléculas dispõem de unidades químicas ligadas por covalências, repetidas continuamente ao decorrer da cadeia, intituladas meros (MANO, 2004).

Os polímeros abrangem materiais de borracha, plásticos e resinas. Tais materiais, em sua maioria, são compostos orgânicos quimicamente baseados no hidrogênio, carbono e em elementos não metálicos (como O, N e Si) (CALLISTER et al., 2008).

Para os diversos propósitos da engenharia, a classificação mais utilizada de polímeros é fundamentada em sua individualidade termomecânica. Polímeros são classificados em termoplásticos e termorrígidos. Como o nome sugere, os termoplásticos *soften and flow* com a ação do calor e da pressão. Quando resfriados após este processo, enrijecem e assumem a forma do recipiente. Termoplásticos

quando misturados a outros materiais, assumem novas propriedades e podem passar pelos processos de aquecimento e resfriamento sofrendo mínimas alterações estruturais (EBEWELE, R. O, 2000).

O polipropileno, um dos principais plásticos do mundo, é produzido por polimerização do gás propileno de alta pureza, por craqueamento de olefinas em refinarias de petróleo (EBEWELE, Robert Oboigbaator, 2000).

No ano de 2010, cerca de 60% da demanda mundial de termoplásticos eram representados pelas poliolefinas. No Brasil representaram por volta de 65%, dos quais 40% correspondem ao polietileno (ABIPLAST, 2010, apud CURY, p.15, 2017).

O rápido crescimento e uso generalizado de polímeros se devem em grande parte à versatilidade de suas propriedades. Os principais usos de polímeros como elastômeros, fibras e plásticos são uma consequência de uma combinação de propriedades exclusivas dos polímeros. Por exemplo, a elasticidade de elastômeros, a força e a dureza das fibras e a flexibilidade e clareza dos filmes plásticos refletem suas diferentes organizações moleculares (EBEWELE, 2000).

Para Lucas (2001), polímero é uma molécula grande e de alto peso molecular, originada da repetição de frações através de sua cadeia. A molécula do Propeno (Propileno), por exemplo, em condições favoráveis, pode reagir formando uma cadeia de maior peso molecular, o Polipropileno, conforme Figura 1.

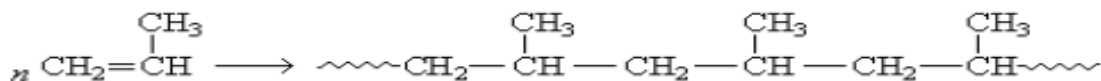


Figura 1: Estrutura do Polipropileno. **Fonte:** EBEWELE, 2000

2.2 BIOMASSAS VEGETAIS

As fibras naturais são encontradas na natureza e utilizadas “*in natura*” ou depois de determinada condição de beneficiamento. Estas fibras podem ter procedência vegetal, animal ou mineral. Dentre estas fibras, os vegetais têm conseguido expandir, de maneira considerável, suas aplicações em múltiplos segmentos da indústria (MORASSI, 1994 apud TROMBETTA, 2011 p.22).

As fibras vegetais podem ser agrupadas em (GEORGE et al, 2001 apud TROMBETTA, 2011 p.22):

- Fibras de caule – juta, banana, linho, cânhamo, kenaf, rami, malva, serragem
- Fibras de folha – abacaxi, sisal, henequem, caroá
- Fibra de fruto ou semente – algodão, mamona, coco

As fibras vegetais são chamadas de lignocelulósicas por serem formadas, essencialmente, de celulose, hemicelulose e lignina. Esses componentes são polímeros naturais, de forma que a fibra pode ser classificada como um polímero celulósico termofixo disperso em uma matriz termoplástica composta pela lignina e hemicelulose (SAHEB, 1999 apud TROMBETTA, 2011 p.22).

A Tabela 1 difere dados entre espécies coníferas e folhosas:

Tabela 1: Composição Média de Madeiras de Coníferas e Folhosas. **Fonte:** KLOCK et al, 2005.

Constituinte	Coníferas	Folhosas
Celulose	42 ± 2%	45 ± 2%
Polioses	27 ± 2%	30 ± 5%
Lignina	28 ± 2%	20 ± 4%
Extrativos	5 ± 3%	3 ± 2%

2.2.1 CELULOSE

O elemento primordial da parede celular é a *celulose*, que acaba determinando, basicamente, sua arquitetura. As moléculas de celulose formam a parte fibrilar da parede celular vegetal. As longas e rígidas moléculas de celulose combinam-se para formar as micro fibrilas, cada uma consistindo em centenas de cadeias de celulose. Na parede das células vegetais, as micro fibrilas de celulose estão imersas em uma matriz contendo dois outros polissacarídeos complexos e ramificados, as hemiceluloses e as pectinas (RAVEN, 2014).

Como mostrado na figura 2, as micro fibrilas de celulose se relacionam entre si e integram uma estrutura reticulada cristalina que se mistura com proteínas e com polissacarídeos não celulósicos para formar a parede celular (ROBERTIS, 2017).

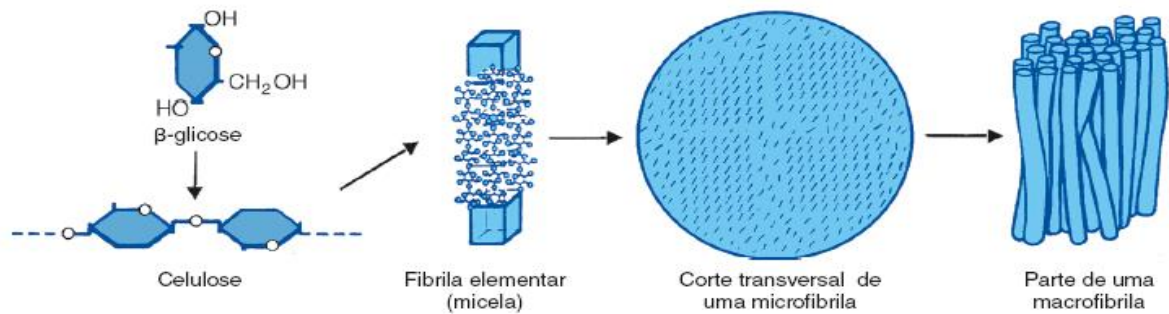


Figura 2: Estrutura da Celulose. *Fonte:* ROBERTIS, 2017.

2.2.2 HEMICELULOSE

A Hemicelulose, conforme mostrada na figura 3, consiste em uma cadeia de glicoses unidas entre si por ligações do tipo beta, idênticas à celulose (KERBAUY, 2017).

As ramificações e cadeias laterais de sua estrutura interagem facilmente com a celulose, dando estabilidade e flexibilidade ao agregado, além de atuar como um “cimento” entre as fibras oferecendo barreira à degradação enzimática do material celulósico (RAMOS, 2003 apud CURY, p.23, 2017)

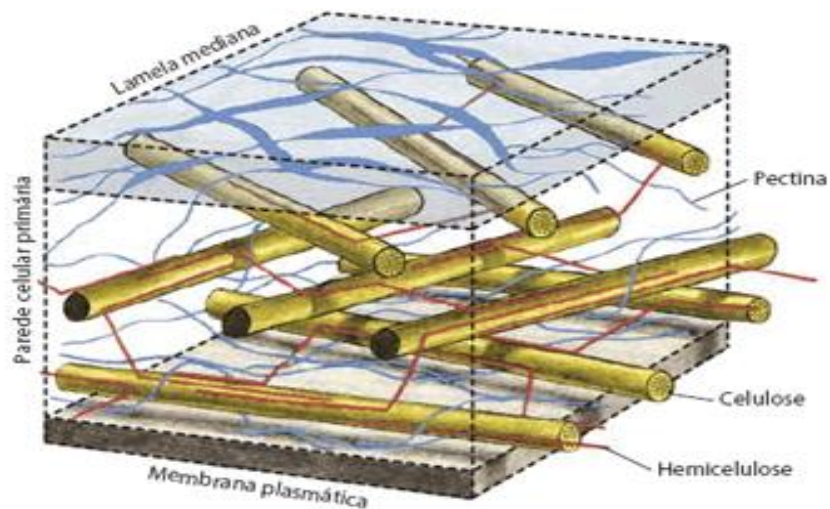


Figura 3: Parede Celular. *Fonte:* KERBAUY, 2017.

2.2.3 LIGNINA

As ligninas são importantes principalmente pela resistência à compressão e pela rigidez que ela confere à parede celular. Acredita-se que a lignificação, ou seja, o processo de deposição de lignina teve um papel primordial na evolução das plantas terrestres. Embora as paredes celulares não lignificadas possam suportar forças de tensão (estiramento) substanciais, elas são fracas ante as forças de compressão da gravidade. Com a adição de lignina às paredes celulares, as plantas terrestres aumentaram em estatura e desenvolveram sistemas ramificados, capazes de suportar as grandes superfícies fotossintetizantes (RAVEN, 2014).

A lignina também impermeabiliza a parede celular. Consequentemente, ela facilita o transporte de água para cima nas células condutoras do xilema, por limitar o movimento de água para fora dessas células. Além disso, a lignina contribui para a resistência das células condutoras de água à tensão gerada pela corrente de água (a corrente transpiratória) que é impelida para as partes superiores das plantas altas (RAVEN, 2014).

As moléculas de lignina são formadas completamente diferentes dos polissacarídeos, pois são constituídas por um sistema aromático composto de unidades de fenilpropano. Há maior teor de lignina em coníferas do que em folhosas, e existem algumas diferenças estruturais entre a lignina encontrada nas coníferas e nas folhosas. Do ponto de vista morfológico a lignina é uma substância amorfa

localizada na lamela média composta, bem como na parede secundária. Durante o desenvolvimento das células, a lignina é incorporada como o último componente na parede, interpenetrando as fibrilas e assim fortalecendo, enrijecendo as paredes celulares (KLOCK et al, 2005).

A estrutura química da lignina não é totalmente conhecida principalmente pelo fato das alterações que sofre durante as práticas bastante drásticas de seu isolamento da madeira (KLOCK et al, 2005).

A base estrutural da lignina é o fenilpropano, tendo ligado ao anel benzenico um número variável de grupos hidroxílicos e metoxílicos. Esses grupos fazem com que o fenil-propano tome a forma de radicais químicos bem definidos. (Assim é que na lignina que ocorre nas madeiras das gimnospermas predomina radical de guaiacil-propano (metoxi--3-hidroxi-4-fenil-propano) e nas angiospermas além do guaiacil-propano, predominam radicais de siringilpropano) (dimetoxi-3-5-hidroxi-4-fenil-propano) (KLOCK et al, 2005).

As figuras 4 e 5 mostram as unidades de fenilpropano precursoras da lignina e modelo estrutural da lignina de folhosas, respectivamente.

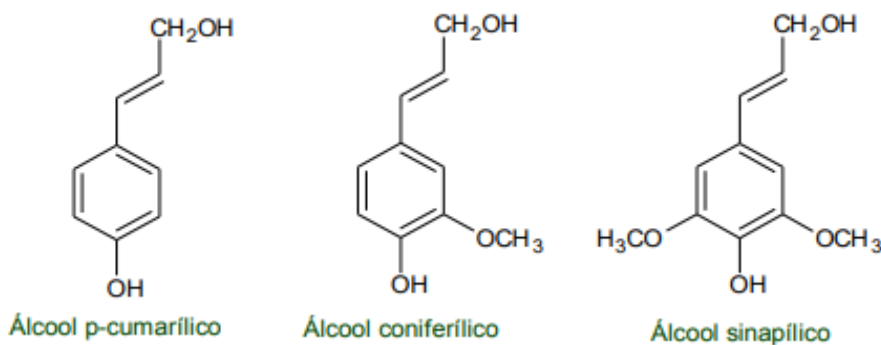


Figura 4: Unidades de fenilpropano precursoras da lignina. **Fonte:** KLOCK et al, 2005.

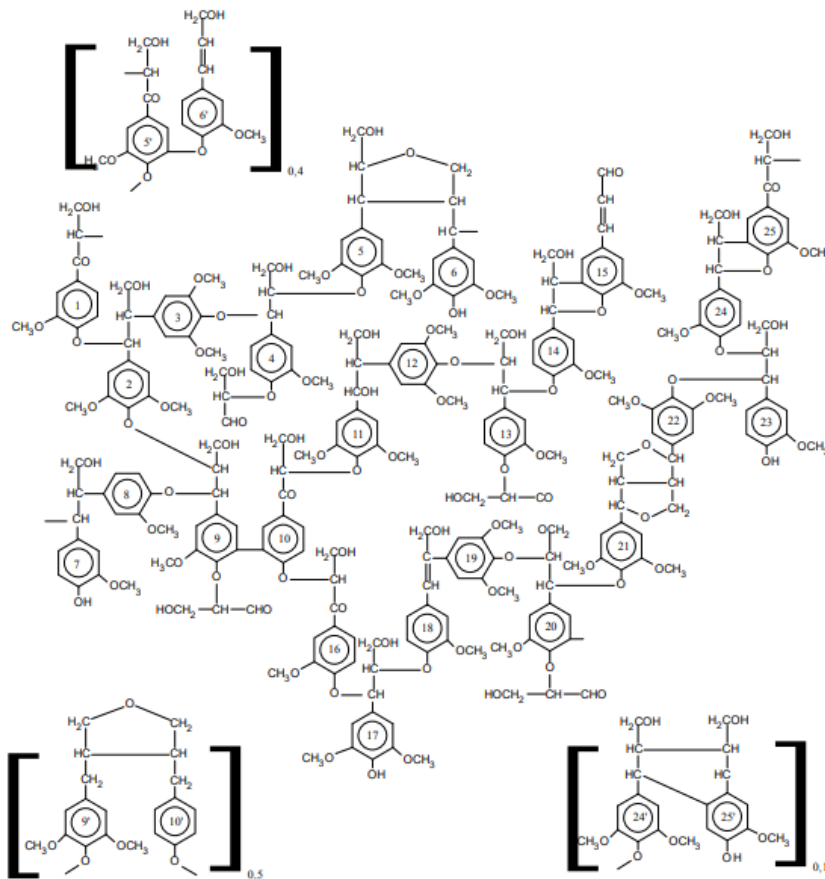


Figura 5: Modelo Estrutural da Lignina de Folhasas. **Fonte:** RAMIRES, 2010.

2.3 COMPÓSITOS

A ideia primordial para se desenvolver compósitos, consiste em combinar as propriedades de diferentes materiais. Formados por dois ou mais materiais, os compósitos geram propriedades que não são encontradas em nenhum dos materiais individualmente. Com a assistência de compósitos, podemos elaborar materiais leves, robustos, dúcteis e resistentes a altas temperaturas (ASKELAND;WRIGHT, 2014).

2.3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS COMPÓSITOS

2.3.1.2 COMPORTAMENTO MECÂNICO

Comportamento mecânico de um material define sua resposta a forças mecânicas exercidas. A natureza dessa resposta depende de fatores como a temperatura e o tempo, juntamente como da estrutura do material, o peso molecular e circunstâncias do ensaio e da preparação da amostra (FREIRE, et al., 1994).

Os três principais métodos em que os materiais sofre deformação mecânica são por, tração, compressão e cisalhamento, como ilustrado na figura 6 (LUCAS, 2001).

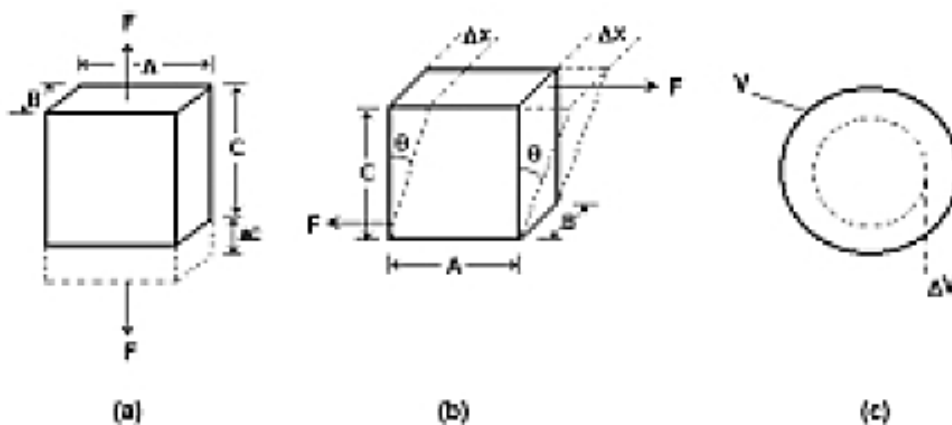


Figura 6: Deformação por: (a) tração; (b) cisalhamento; (c) compressão. **Fonte:** LUCAS, 2001.

Na tabela 2 são mostrados os tipos de ensaios comumente usados que avaliam: a tensão para deformação em velocidade constante (tensão x deformação); a força para manter uma deformação permanente (relaxação de tensão); energia para ruptura do material com deformação reduzida (impacto); deformação sob tensão constante (fluência e dureza) e a tensão e tempo de resposta com velocidade variável (ensaio dinâmico) (WASILKOSKI, 2006).

Os principais parâmetros mecânicos medidos ou calculados através dos ensaios de tração são resistência à tração, alongamento e módulo de elasticidade. Quando um corpo de prova é submetido a um ensaio de tração, a máquina de ensaio fornece um gráfico que mostra as relações entre a força aplicada e as

deformações ocorridas durante o ensaio, que é conhecido como tensão-deformação, demonstrado na figura 7 (CURY, 2017).

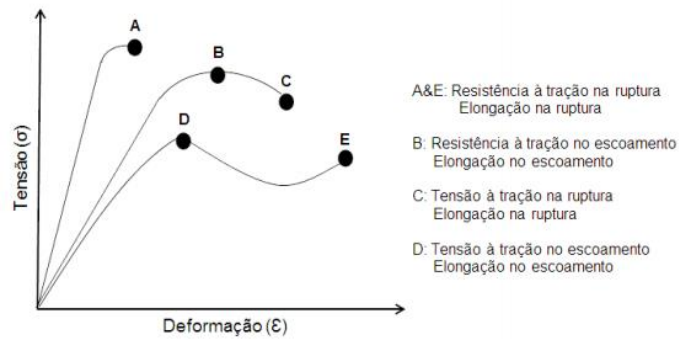


Figura 7: Designação dos parâmetros no ensaio de tração. **Fonte:** CURY, 2017.

Tabela 2: Ensaio mecânicos realizados em materiais poliméricos. **Fonte:** MELCONIAN, S. 2000.

Ensaio	Modo de aplicação da força	observações	Velocidade de deformação
Tensão-deformação	tração	Norma ASTM D638M - Determinação do Módulo de elasticidade, percentual de alongação, tensões características.	Constante no intervalo de 5 - 500mm/min
Dinâmico mecânico	tração	Norma ASTM D5026 - Determinação de propriedades viscoelásticas com a temperatura e/ou frequência.	Variável 0,01% ~ 2×10^{-6} m/s 1Hz ~ 2×10^{-4} m/s 100Hz ~ 2×10^{-2} m/s
Dureza	compreção	Norma ASTM D2583 - shore A - 1Kg - shore D - 5Kg - Determinação da profundidade de penetração da ponta de prova.	Variável ~ $5/6 \times 10^{-6}$ m/s
Fluência	tração	Norma ASTM D2990 - Medida da deformação sob o carregamento constante durante período mínimo de 1000 horas. EX.: Corpo-de-prova tipo I 100% alongação em 1000h*	* $1/36 \times 10^{-6}$ m/s
Impacto	cisalhamento	Norma ASTM D4272	~ 0
Relaxação de tensão	tração	Norma ASTM D2838	0

2.3.1.2.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS SOBRE TRAÇÃO

Nos ensaios de tração, os corpos de prova são afixados em garras, que são acopladas à travessa fixa e à travessa móvel da Máquina Universal de Ensaios. A taxa de deformação de tração é controlada pelo mecanismo de direcionamento, enquanto a tensão de tração sustentada pela amostra é registrada pela célula de carga, ambas acopladas à travessa fixa. Os ensaios de tração são feitos de acordo com o método ASTM D 638-05 (CANEVAROLO, 2007 apud CURY, p.33, 2017).

3 METODOLOGIA

Os métodos e procedimentos adotados para atingir os objetivos propostos neste trabalho foram realizados para obter as informações necessárias para definir as diversas propriedades dos compósitos. O fluxograma ilustrado na figura 8 a seguir descreve um esquema geral simplificado de todas as etapas envolvidas neste trabalho.

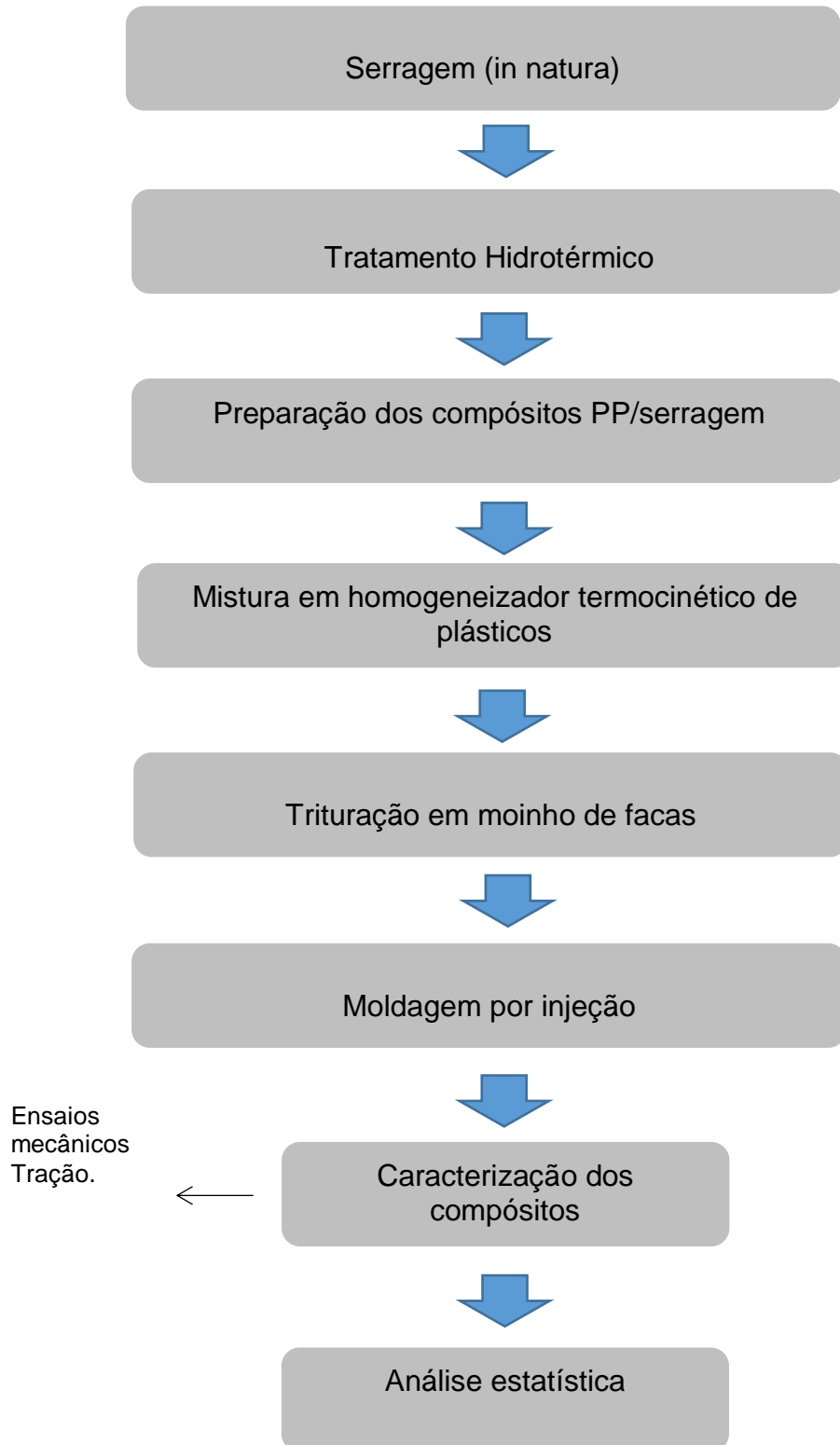


Figura 8: Fluxograma da metodologia empregada neste trabalho. **Fonte:** Os autores.

O presente estudo se estende em uma linha de pesquisa metodológica bibliográfica experimental. A obtenção dos dados e análise dos mesmos foram realizadas em ambiente laboratorial, situado na UniFOA.

3.1 PREPARO DA SERRAGEM

Foi utilizada como biomassa a serragem oriunda da oficina do UniFOA. O material foi triturado, tratado hidrotérmicamente (a 121°C, por 30 min, sob pressão de 1,5 atm), seco e armazenado para uso.

3.2 PREPARO DOS COMPÓSITOS

Os compósitos foram produzidos em misturador termocinético instalado no laboratório do UniFOA, nas composições de 5%, 10% e 15% de substituição do plástico polipropileno reciclado. Os compósitos moídos foram previamente secos em estufa sob temperatura de 105° C e, posteriormente, foram injetados corpos de prova para os ensaios de tração (Norma ASTM D 63803 com 13 mm de largura, 165 mm de comprimento e 3 mm de espessura) utilizando uma injetora RAY RAM - modelo TSMP a 300°C.

A tabela 3 mostra as quantidades proporcionais de polipropileno e serragem em cada compósito.

Tabela 3: Diferentes proporções utilizadas para obtenção do compósito. **Fonte:** Os Autores.

Amostra	Polipropileno Puro (%)	Polipropileno Reciclado (%)	Serragem
PP 100% puro	100%	0%	0%
PP 100% rec	0%	100%	0%
PP 50% rec	50%	50%	0%
PP 50% rec 5% serr	45%	50%	5%
PP 50% rec 10% serr	40%	50%	10%
PP 50% rec 15% serr	35%	50%	15%
PP 100% rec 5% serr	0%	95%	5%
PP 100% rec 10% serr	0%	90%	10%
PP 100% rec 15% serr	0%	85%	15%

As figuras 9, 10 e 11, mostram os compósitos após serem triturados no moinho de facas nas porcentagens 5%, 10% e 15%, respectivamente.



Figura 9: Compósito de polipropileno reforçado com 5% de serragem. **Fonte:** Os autores.



Figura 10: Compósito de polipropileno reforçado com 10% de serragem. **Fonte:** Os autores.



Figura 11: Compósito de polipropileno reforçado com 15% de serragem. **Fonte:** Os autores.

3.3 CARACTERIZAÇÕES

3.3.1 ENSAIO MECÂNICO DE TRAÇÃO

Os ensaios de tração foram realizados no Laboratório de processamento de materiais do Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA), em um equipamento da marca EMIC DL-10000, com célula de carga de 5 kN, em temperatura ambiente e a uma velocidade de $5 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$.

Para cada compósito avaliado, foram ensaiados cinco corpos de prova com dimensões de acordo com a norma ASTM D 638 – 03 com 13 mm de largura, 165mm de comprimento e 3 mm de espessura.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 PROPRIEDADES MECÂNICAS

A tabela 4 apresenta os valores obtidos através do ensaio de tração referentes ao Módulo de Young e a Tensão Máxima. Os efeitos tanto do tipo de fibra quanto da quantidade de reforço foram comparados aos valores do PP puro.

Tabela 4: Parâmetros obtidos por meio do ensaio de tração. *Fonte:* Os Autores.

Amostra	Módulo Young (MPa)	Tensão Máxima Tração (MPa)
PP virgem puro	177	19
PP reciclado puro	183	22,1
PP 50% rec	191	23,5
PP 50% rec 5% serr	222	23,1
PP 50% rec 10% serr	239	24,3
PP 50% rec 15% serr	274	24,5
PP reciclado 5% serr	214	23,4
PP reciclado 10% serr	225	23,7
PP reciclado 15% serr	253	24,6

Conforme os resultados apresentados, a adição de serragem leva a um aumento tanto para o módulo de Young quanto para a tensão máxima.

Do material puro para o compósito contendo 15% de serragem, houve um aumento de 46% no Módulo de Young e um aumento de 15% na Tensão Máxima.

Segundo CURY, T. L. P. 2017, ao se inserir fibras na matriz ocorreu um aumento na resistência e no módulo, atingindo, respectivamente, até 12% e 47% de aumento quando comparado ao PEAD puro.

4.2 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Foi aplicado um método estatístico – Análise de Variância (ANOVA) estatístico de planejamento de experimentos para avaliar a influência dos teores de PP e serragem nas propriedades mecânicas.

A análise foi realizada no software Statistica e os cálculos efetuados no padrão do programa.

4.2.1 MÓDULO DE YOUNG

A análise dos resultados do ensaio de tração foi realizada com base no valor médio apresentado pelas diferentes amostras, demonstradas no gráfico 1, que apresenta a influência da serragem no módulo de Young.

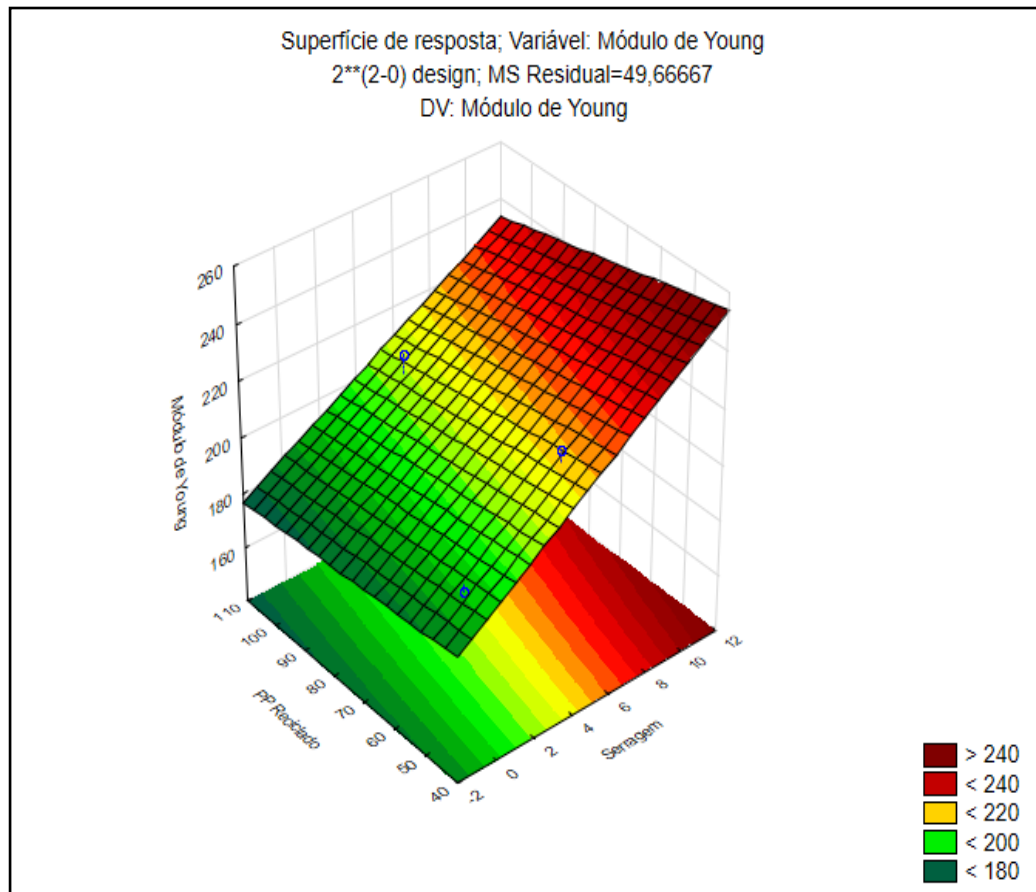


Gráfico 1: Influência do aumento da serragem no módulo de Young. *Fonte:* Os autores.

A quantidade de PP Reciclado utilizado não parece influenciar no módulo de Young, o que indica que pode ser utilizado um maior teor de plástico reciclado sem afetar diretamente as propriedades do material.

Por meio da análise de variância pode-se observar que a adição de serragem em diferentes proporções exerce influência no Módulo de Young, conforme a tabela 5, uma vez que o valor “P” para esse fator foi menor que 0,05.

Tabela 5: ANOVA Módulo de Young. *Fonte:* Os autores.

ANOVA; Var.: Módulo de Young; R-quad=0,9565; Adj:0,89124 2**(2-0) Modelo; MS Residual=49,66667 DV: Módulo de Young					
Fator	SS	df	MS	F	p
(1) Serragem	2025,000	1	2025,000	40,77181	0,02366
(2) PP Reciclado	150,000	1	150,000	3,02013	0,224368
1 sobre 2	9,000	1	9,000	0,18121	0,0711769
Erro	99,333	2	49,667		
Total SS	2283,333	5			

A quantidade de serragem na composição é fator determinante no aumento da propriedade mecânica.

O gráfico 2 apresenta em uma regressão linear simples a correlação entre os valores obtidos para o Módulo do Young.

A análise do gráfico 4 mostra que os resíduos do modelo parecem ser aleatórios, o que aumenta a validade estatística do estudo.

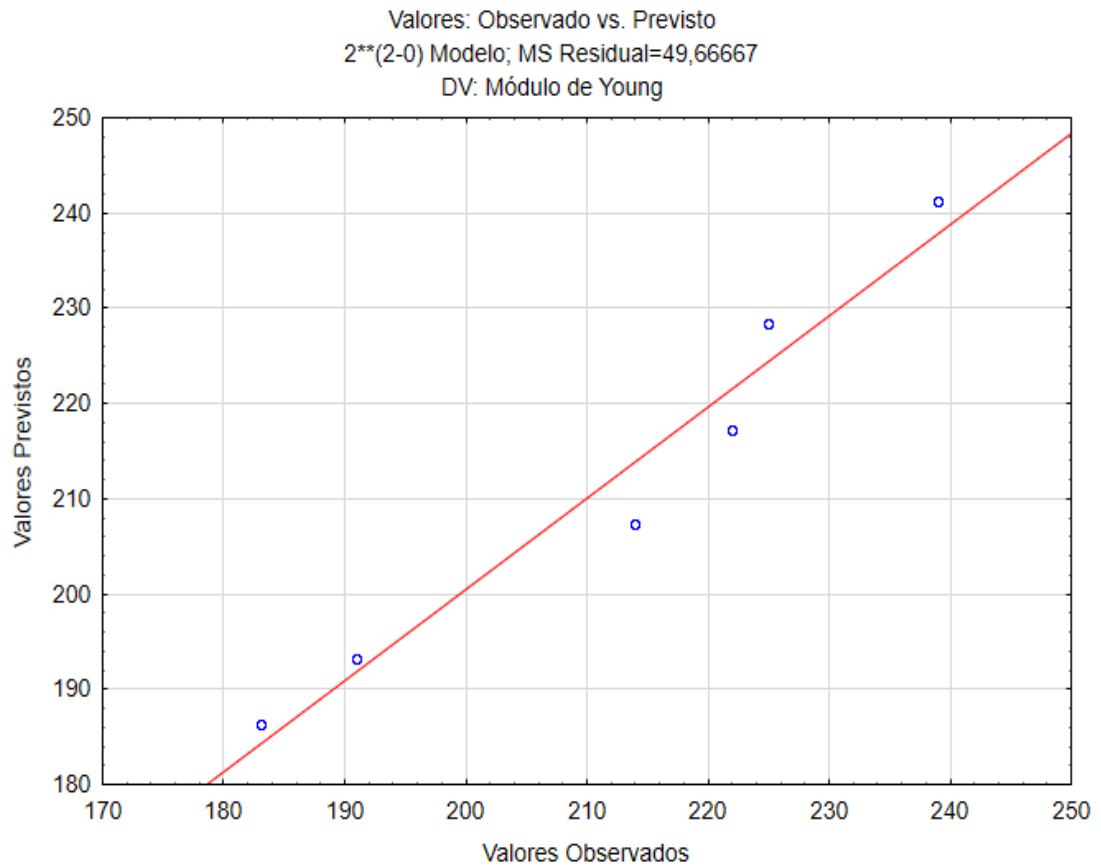


Gráfico 2: Valores, Observado vs. Previsto. **Fonte:** Os autores.

Através da análise do diagrama de Pareto, ilustrado no gráfico 3, observa-se claramente que a serragem exercem efeito estatisticamente significativo sobre o módulo de Young.

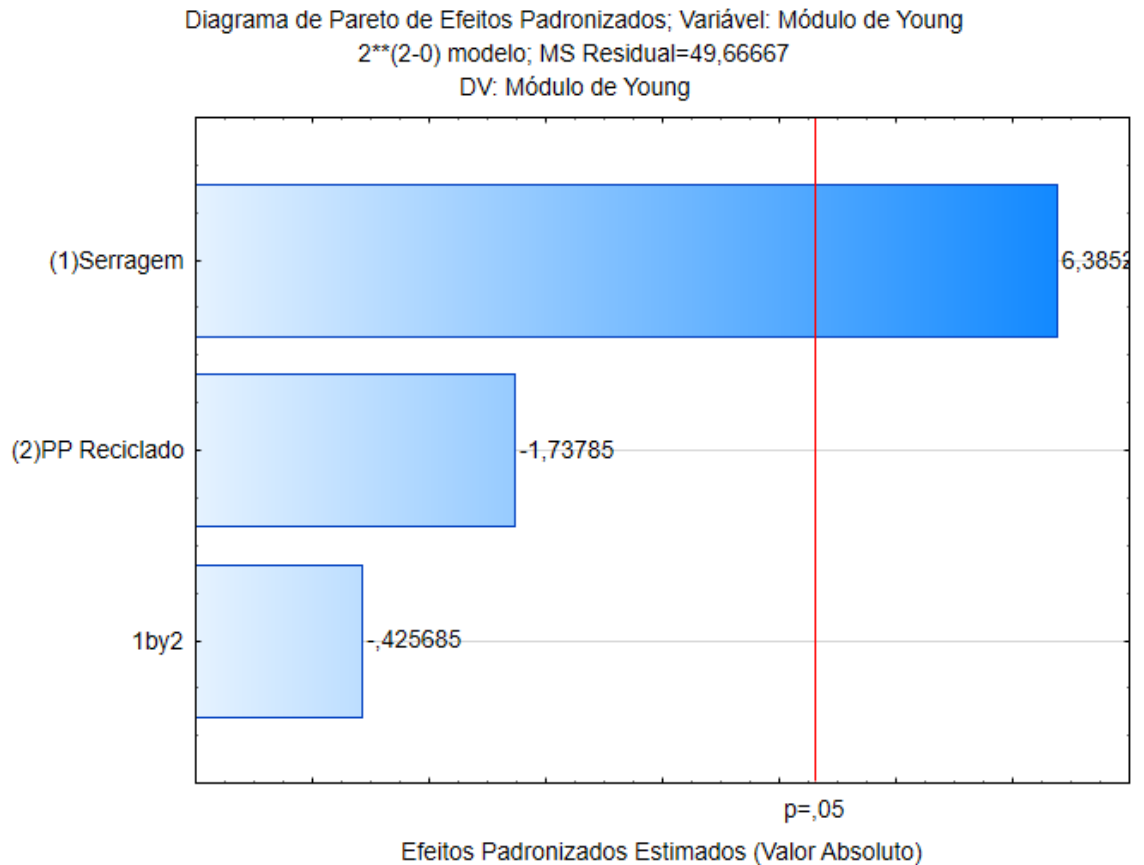


Gráfico 3: Diagrama de Pareto aplicado ao Módulo de Young. **Fonte:** Os autores.

Apesar dos resultados sugerirem que o teor de PP Reciclado influencia no Módulo de Young, observando que o valor $P > 0,05$, não há validade estatística nesta afirmação, sendo assim, pode-se utilizar uma maior quantidade de PP Reciclado sem causar influência na qualidade.

4.2.2 TENSÃO MÁXIMA EM TRAÇÃO

O gráfico 4 sugere que o aumento do PP e do teor de serragem contribuem para um aumento na tensão máxima.

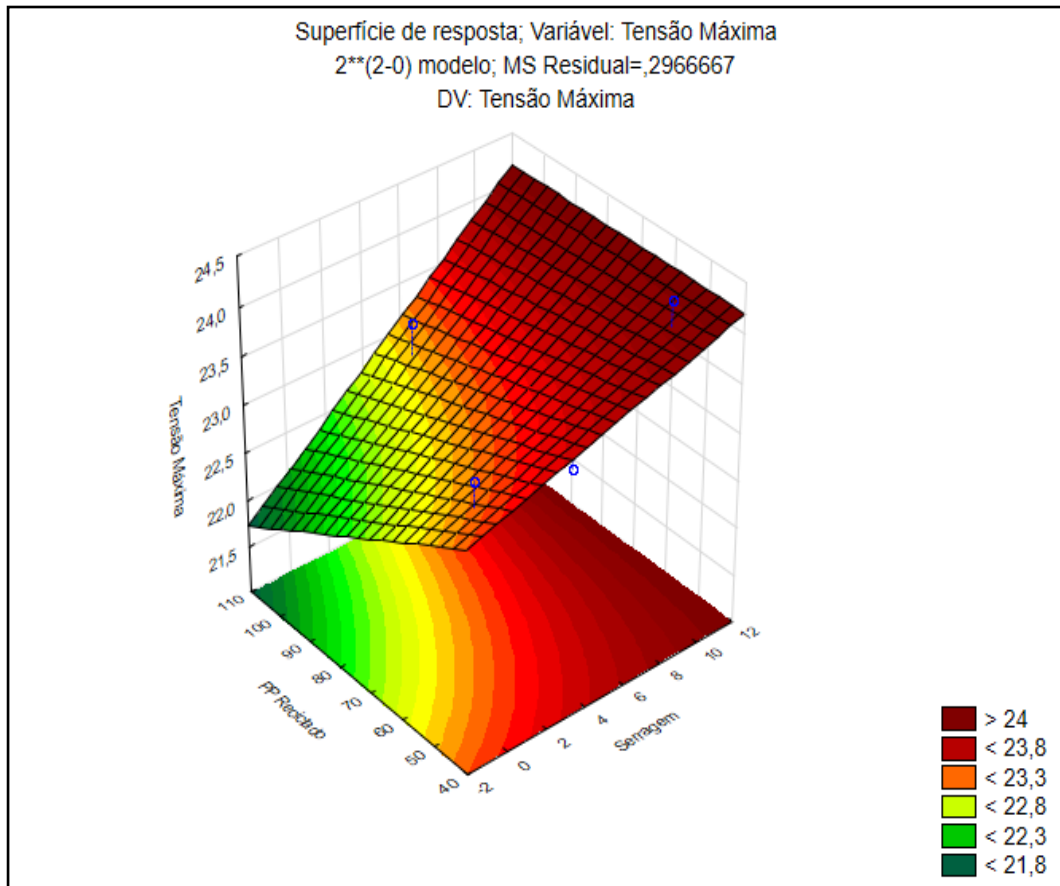


Gráfico 4: Influência do aumento de serragem na tensão máxima. *Fonte:* Os autores.

Entretanto, conforme pode ser visto na tabela 6, não houve efeitos estatisticamente significativos da serragem e do teor de PP sobre a tensão máxima.

Tabela 6: ANOVA Tensão Máxima. **Fonte:** Os autores.

ANOVA; Var.: Tensão Máxima; R-quad=0,77819; Adj:0,44548 2**(2-0) Modelo; MS Residual=,2966667 DV: Módulo de Young					
Factor	SS	df	MS	F	p
(1) Serragem	1,440000	1	1,440000	4,853933	0,158456
(2) PP Reciclado	0,481667	1	0,481667	1,623596	0,330626
1 sobre 2	0,160000	1	0,160000	0,539326	0,539143
Erro	0,593333	2	0,296667		
Total SS	2,675000	5			

Tais resultados indicam que o aumento na tensão máxima é resultado do aumento de outra propriedade proporcional a essas variáveis, muito provavelmente o módulo de Young.

Tal comportamento pode ser verificado no fraco ajuste ao modelo mostrado, conforme o gráfico 5.

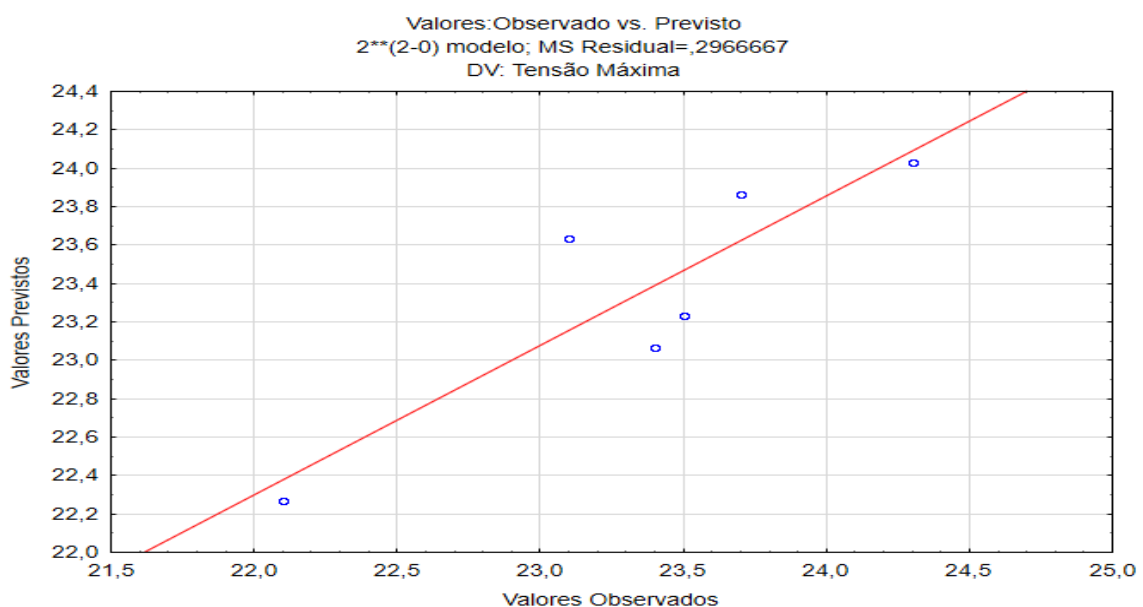


Gráfico 5: Valores, observado vs. previsto. **Fonte:** Os autores.

Através da análise do diagrama de Pareto, ilustrado no gráfico 6, pode-se observar que a serragem não exerce efeito estatisticamente significativo sobre a tensão máxima.

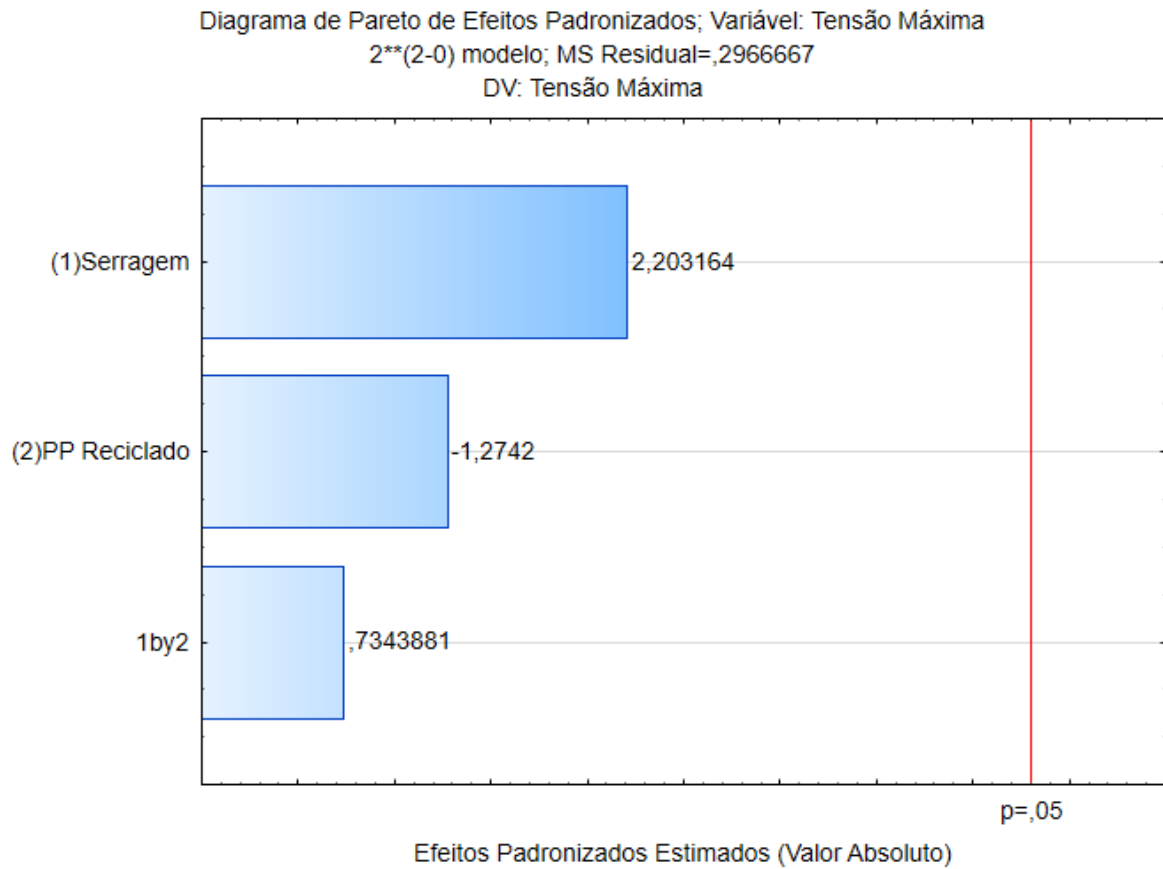


Gráfico 6: Diagrama de Pareto aplicado à tensão máxima. **Fonte:** Os autores.

5. CONCLUSÕES

A partir dos resultados:

- Foi possível produzir compósitos de matriz polipropileno reciclado com 5%, 10% e 15% de serragem;
- A adição de serragem contribuiu para um aumento na rigidez do material, com validade estatística verificada por análise de variância;
- O teor de polipropileno reciclado não exercem influência direta sobre as propriedades mecânicas e isso indica que é possível utilizar uma quantidade maior do plástico reciclado;
- Assim, foi possível neste trabalho produzir um material a partir da reciclagem de PP e da utilização de um resíduo, contribuindo para uma redução na utilização de derivados de petróleo e obtendo um produto final com melhores propriedades.

CRONOGRAMA

Tabela 7: Cronograma. *Fonte:* O Autor

Atividades	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Fev	Mar	Abr	Mai
Escolha do tema e do orientador									
Encontros semanais com o orientador									
Pesquisa bibliográfica preliminar									
Elaboração do projeto									
Entrega do projeto e apresentação do seminário									
Leituras e elaboração da revisão bibliográfica									
Coleta de dados e materiais									
Elaboração do estudo de caso									
Realização dos ensaios									
Cálculo e análise dos resultados									
Redação do TCC									
Revisão e entrega oficial do trabalho									
Apresentação do trabalho em banca									

Atividades executadas

Atividades a executar

REFERÊNCIAS

- ABIPLAST - Associação Brasileira da Indústria do Plástico, 2018;
- ASKELAND, D. R. ; WRIGHT, W. J. Ciência e Engenharia dos Materiais, 2014;
- Boletim SNIF 2017 (Sistema Nacional de Informações Florestais), 1th ed., 2017;
- CURY, T. L. P. Obtenção e Caracterização de Polietileno de Alta Densidade Reforçado com Bagaço de Cana Tratado Via Polpação Organosolv. Dissertação Mestrado Profissional e Materiais. UniFOA - Centro Universitário de Volta Redonda, 2017;
- CALLISTER, W. D. ; RETHWISCH D. G. Materials Science and Engineering: An Introduction. 7th ed. LTC., 2008;
- EBEWELE, R. O. Polymer science and technology, 2000 by CRC Press LLC;
- RAMIRES, E. C. Biocompósitos a partir de matrizes poliméricas baseadas em lignina, tanino e glicol reforçados com fibras naturais;
- FREIRE, E. et al. Propriedades Mecânicas de Compósitos de Polipropileno com Fibra de Vidro, 1994;

- GABRIEL, Thiago. Greenpeace Brasil, disponível em: <www.greenpeace.org>. Acesso em: 20 de setembro 2018;
- LUCAS, E. F.; SOARES, B. G.; MONTEIRO, E. E. C. Caracterização de Polímeros: Determinação de Peso Molecular e Análise Térmica. E-papers, 2001;
- MANO, E. B.; MENDES, C. L. Introdução a Polímeros, 2th ed., 2004;
- SILVEIRA E. BBC News Brasil, 23 janeiro 2018;
- MARINELLI, A. L. et al. Desenvolvimento de Compósitos Poliméricos com Fibras Vegetais Naturais da Biodiversidade: Uma Contribuição para a Sustentabilidade Amazônica (Development of polymeric composites with natural fibers: a contribution to the sustainability of Amazon), 2008;
- MELCONIAN, S. Mecânica Técnica e Resistência dos Materiais, 17th ed, 2000;
- MONTEIRO, E. E. C. et al. Caracterização de Polímeros: Determinação de Peso Molecular e Análise Térmica, 2001;
- TROMBETTA, E. UTILIZAÇÃO DE FIBRA NATURAL DE PINUS (SERRAGEM) COMO REFORÇO EM COMPONENTES AUTOMOTIVOS COMPOSTOS DE POLIPROPILENO, 2011;

- WIECHETECK, M. Aproveitamento de Resíduos e Subprodutos Florestais, Alternativas Tecnológicas e Propostas de Políticas ao Uso de Resíduos Florestais para Fins Energéticos, 2009;
- ROBERTIS, E. M. et al, Biologia Celular e Molecular, 16th ed, 2017;
- KLOCK, Umberto. Et al, Química da Madeira, 3th ed, 2005;
- AGRAWAL, R.; SAXENA, N. S.; SHARMA, K. B.; THOMAS, S.; SREEKALA, M. S. Activation energy and crystallization kinetics of untreated and treat oil palm fibre reinforced phenol formaldehyde composites. Materials Science & Engineering, v. 277, p. 77-82, 2000;
- WASILKOSKI, C. M. Comportamento Mecânico dos Materiais Poliméricos, 2006.