

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

**ALINE CRISTINA VIEIRA SILVA
LÍVIA DO CARMO E CASTRO
PÉROLA SOUZA CALHEIROS DE MELO**

COMPÓSITO DE POLIETILENO POTENCIALIZADO COM CELULOSE

VOLTA REDONDA, RJ

2022

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

COMPÓSITO DE POLIETILENO POTENCIALIZADO COM CELULOSE

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Ambiental do UniFOA como requisito à obtenção de à avaliação na disciplina de Projeto Ambiental Integrado.

Aluno: Aline Cristina Vieira Silva
Lívia do Carmo e Castro
Pérola Souza Calheiros de Melo

Orientador: Prof. Dr. Sérgio Roberto Montoro

VOLTA REDONDA, RJ


2022

FOLHA DE APROVAÇÃO

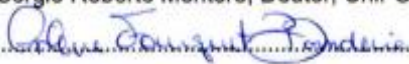
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: Compósito de polietileno potencializado com celulose, elaborado por Aline Cristina Vieira Silva -201611189, Lívia do Carmo e Castro -201610529 e Pérola Souza Calheiros de Melo -201511019 foi apresentado publicamente perante a Banca Avaliadora, como parte dos requisitos para conclusão do Curso Engenharia Ambiental e considerado aprovado.

Aprovado em 29 de junho de 2022.

Banca Avaliadora


.....
Professor Orientador

Sergio Roberto Montoro, Doutor, UniFOA


.....
Professora Avaliadora

Cirlene Fourquet Bandeira, Doutora, UniFOA


.....
Professora Avaliadora

Izabel de Oliveira Mota, Doutora, UniFOA

RESUMO

Conforme informação do Departamento de Resíduos Sólidos do Ministério do Meio Ambiente (2017), o Brasil consegue reciclar somente 13% dos resíduos industriais. Um deles são as fraldas descartáveis, que como todo produto industrial gera sobras e produtos defeituosos devido ao grande volume e alta velocidade de produção para atender as demandas. Diante desse cenário surge interesse pela reutilização ou aproveitamento das matérias em estado de pré consumo, gerando um procedimento ecologicamente correto em que as empresas ambientalmente responsáveis investem em uma destinação final sustentável. Visando o aproveitamento e a reutilização dos materiais das fraldas, onde a celulose parece ser um dos materiais mais promissores. Este projeto teve como objetivo utilizar o resíduo da indústria de celulose e avaliar as características do compósito formado. A porcentagem utilizada para o compósito foi de 20% de resíduo de celulose usando uma matriz de polietileno de alta densidade (PEAD). Foram realizados ensaios mecânicos de tração e flexão e dureza Shore D. Foi obtido um produto ecológico que reduzirá o uso de um polímero de origem de petróleo usando um resíduo industrial que é descartado. Contudo, além do objetivo sustentável, o produto reduzirá o custo para os fabricantes, uma vez que o valor do resíduo rico em celulose é muito menor que o valor do PEAD.

Palavras-chave: Material sustentável; Viabilidade técnica; Polímeros; Resíduos; Fraldas descartáveis.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	7
1.1. Problema abordado.....	8
1.2. Justificativa	8
1.3. Estratégias de Pesquisa.....	8
1.4. Estrutura do Projeto	9
1.5. Objetivo Geral	9
1.6. Objetivos Específicos.....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1. Cenário dos Resíduos no Brasil.....	10
2.2. Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS).....	11
2.3. Classificação dos Resíduos.....	12
2.4. Resíduo de Fraldas Descartáveis.....	12
2.5. Celulose	12
2.5.1. Fibras Naturais.....	12
2.6. Polietileno	14
2.7. Compósito Polimérico.....	16
3. METODOLOGIA	17
3.1. Classificação Da Pesquisa.....	17
3.2. Materiais.....	18
3.2.1. Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	18
3.3. Procedimento Experimental.....	18
3.3.1. Processamento do compósito PEAD/20% Resíduo de celulose.....	18
3.3.2. Injeção dos corpos de prova para ensaios mecânicos	18
3.4. Caracterizações	19
3.4.1. Ensaio Mecânico de Tração	19
3.4.2. Ensaio Mecânico de Flexão.....	19
3.4.3. Ensaio de Dureza.....	20
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	21
4.1. Resultados dos ensaios de tração.....	21
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	26

LISTA DE FLUXOGRAMA

Fluxograma 1 - Classificação metodológica de Pesquisa	17
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de repetição da celulose (celobiose)	13
Figura 2 - Origem do polietileno	14
Figura 3 - Polimerização em cadeia	15
Figura 4 - CDP de tração de acordo com a norma.....	15
Figura 5 - CDP de flexão de acordo com a norma	20

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Disposição final de RSU no Brasil e regiões, por tipo de destinação (T/ANO %).....	11
Tabela 2 – Categorias de PE	15
Tabela 3 – Resultados dos ensaios de tração do compósito reforçado com 20% de resíduo de celulose	21
Tabela 4 – Resultados dos ensaios de flexão do compósito reforçado com 20% de resíduo de celulose	22
Tabela 5– Resultados de dureza Shore D do PEAD puro e do compósito PEAD+20% resíduo de celulose	23

LISTA DE SIGLAS

PEAD	Polietileno de Alta Densidade
RSU	Resíduo Sólido Urbano
ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SISNAMA	Sistema Nacional do Meio Ambiente
SNVS	Sistema Nacional de Vigilância Sanitária
SUASA	Sistema Unificado de Atenção à Sanidade Agropecuária
NBR	Norma Brasileira
PSA	Superabsorvente
PP	Polipropileno
PE	Polietileno

1. INTRODUÇÃO

A crescente necessidade do consumo de tecnologias limpas fortalece as pesquisas focadas nos materiais obtidos de fontes renováveis. A Lei 12305/2010 (Brasil, 2010), define os resíduos sólidos popularmente chamado de lixo como material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, nos estados sólido, gasoso contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível. Entre todos os tipos de resíduos, o industrial é um dos maiores problemas quando se trata de preservação do meio ambiente, visto que gera grande ameaça para o equilíbrio ambiental e ecológico do planeta.

Considerando a questão da “pegada ecológica”, sustentabilidade e o elevado índice de geração de resíduos no Brasil e no mundo, o presente projeto apresenta o desenvolvimento de um compósito de polietileno potencializado com celulose. Um produto ecológico que reduzirá o uso de um polímero de origem de petróleo usando um resíduo industrial que é descartado.

Além do objetivo sustentável, o produto reduzirá o custo para os fabricantes, uma vez que o valor da celulose é muito mais baixo que o valor do polipropileno. O intuito do projeto é fazer com que as empresas fabricantes de produtos que levam na sua composição os polímeros, utilizem uma porcentagem do compósito criado, diminuindo assim a quantidade de polímeros e conseqüentemente abaixando o valor final do item.

1.1. Problema abordado

Conforme informação do Departamento de Resíduos Sólidos do Ministério do Meio Ambiente (2017), o Brasil consegue reciclar somente 13% dos resíduos industriais. Um deles são as fraldas descartáveis, que como todo produto industrial, durante sua produção gera sobras e produtos defeituosos devido ao grande volume e alta velocidade de produção para atender as demandas. Frente ao exposto, o presente estudo visa investigar se existe viabilidade técnica na criação do protótipo potencializado com celulose.

1.2. Justificativa

É um produto ecológico que o intuito é reduzir o uso de um polímero de origem de petróleo usando um resíduo industrial que é descartado.

Contudo, o projeto tem um objetivo sustentável, já que permite trazer de volta ao ciclo de produção sob a forma de matéria prima.

1.3. Estratégias de Pesquisa

A pesquisa será de cunho explicativo, com uso de procedimentos experimentais alinhados os procedimentos bibliográficos. A equipe do projeto trabalhará em parceria com uma empresa do Sul Fluminense, a qual fornecerá a materia prima. As fraldas que são descartadas na produção, são destinadas para uma empresa de reciclagem, onde é feita a segregação da celulose e o restante do resíduo descartado para aterro sanitário. O polímero Polietileno será comprado pela equipe do projeto. No laboratório será feito o compósito, misturando a celulose com polímero. Será testado a resistência mecânica da matéria prima (celulose): Tração, Flexão e Impacto. Quanto maior o teor de fibra, mais resistente é o produto.

1.4. Estrutura do Projeto

Inicialmente trará a introdução do delineamento da pesquisa e suas dimensões. Logo em seguida o tópico de revisão trará estudo de valores, correlacionado com os equipamentos que serão utilizados na elaboração da matéria prima (celulose), buscando um maior custo benefício. Investimento em marketing e publicidade para que o projeto chegue aos olhos dos fabricantes. Seguido da metodologia que demonstrará minuciosamente todos os métodos utilizados com intuito de atingir o objetivo que, é mensurar as características mecânicas desse material, e por fim resultados e conclusões.

1.5. Objetivo Geral

O objetivo geral do projeto é desenvolver e caracterizar um compósito a partir de uma matriz de polietileno de alta densidade (PEAD) potencializado de celulose a partir de reciclagem de fraldas descartáveis, utilizando a proporção de 20%.

1.6. Objetivos Específicos

- Redução do uso de polímero de origem do petróleo;
- Material sustentável;
- Promover a caracterização física, química e mecânica;
- Desenvolver viabilidade.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cenário dos Resíduos no Brasil

Diante de tantas eminentes transformações por quais passa constantemente o mundo, questões como as novas condições socioeconômicas, inovações tecnológicas, e os padrões desordenados de consumo adotados pelas sociedades tem abalizado dia a dia um modelo degradador do meio ambiente que tem sido causa de embates mundiais a cerca de um provável e futuro colapso dos recursos naturais.

Dentro desse enfoque de impactos ao meio ambiente e das consequências desastrosas ao próprio ser humano, Souza e col. (2015) relata que os resíduos sólidos se destacam como uma das mais problemáticas questões que assolam a sociedade e que representa um grande percalço na idealização de um mundo sustentável.

Dessa realidade surgiram muitos temas de convenções internacionais e nacionais que entre outros, debatem como aliar os padrões de consumo ao desenvolvimento de um ambiente de fato sustentável. Não se restringindo a uma realidade local, o problema do lixo não é um assunto novo, ao contrário, longos anos já presenciaram as discussões em torno dele. Conforme demonstrado na tabela 1.

Tabela 1 - DISPOSIÇÃO FINAL DE RSU NO BRASIL E REGIÕES, POR TIPO DE DESTINAÇÃO (T/ANO E %)

Região	Disposição adequada		Disposição inadequada	
	t/ano	%	t/ano	%
Norte	1.773.927	35,60%	3.209.013	64,4%
Nordeste	6.016.948	36,30%	10.558.666	63,7%
Centro - Oeste	2.456.849	42,50%	3.323.972	57,5%
Sudeste	29.542.830	73,40%	10.706.257	26,6%
Sul	6.011.894	70,80%	2.479.482	29,2%
Brasil	45.802.448	60,20%	30.277.390	39,8%

Fonte: Abrelpe, Panorama 2021

2.2. Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS)

No Brasil particularmente, existiram muitas tentativas legislativas, inclusive, pontuam o cenário dessas discussões ambientais. E depois de muito esforço, vigora atualmente a lei Nº 12.305/10 (Brasil, 2010), que instituía Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), considerada um dos mais relevantes instrumentos que permitem ao país pensar em um significativo avanço no que diz respeito ao enfrentamento dos principais problemas ambientais, econômicos e sociais que decorrem do manejo inadequado dos resíduos sólidos.

Visando atender o item VII da Lei Nº 12.305/10, que diz: “Destinação final ambientalmente adequada: destinação de resíduos que inclui a reutilização, a reciclagem, a compostagem, a recuperação e o aproveitamento energético ou outras destinações admitidas pelos órgãos competentes do SISNAMA, do SNVS e do SUASA, entre elas a disposição final, observando normas operacionais específicas de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança e a minimizar os impactos ambientais adversos”.

Desse modo, e considerando o contexto da temática aqui tratada, o presente trabalho pretende englobar os assuntos relacionados ao item mencionado acima.

2.3. Classificação dos Resíduos

De acordo com a NBR 10004 (2004) Classificação de Resíduos, a celulose é considerada resíduo não perigoso - classe IIA. Os resíduos não inertes podem ter propriedades, tais como: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água.

2.4. Resíduo de Fraldas Descartáveis

Segundo a Ecycle (2021) a composição de uma fralda descartável pode ser de aproximadamente 43% de polpa de celulose (celulose fluff), 27% de polímero superabsorvente (PSA), 10% de polipropileno (PP), 13% de polietileno (PE), e 7% de fitas, elásticos e adesivos. Tendo para isso, em sua fabricação, a utilização de recursos como árvores, petróleo, água e produtos químicos. Estima-se que cada fralda leva cerca de 450 anos para se decompor no meio ambiente.

2.5. Celulose

2.5.1. Fibras Naturais

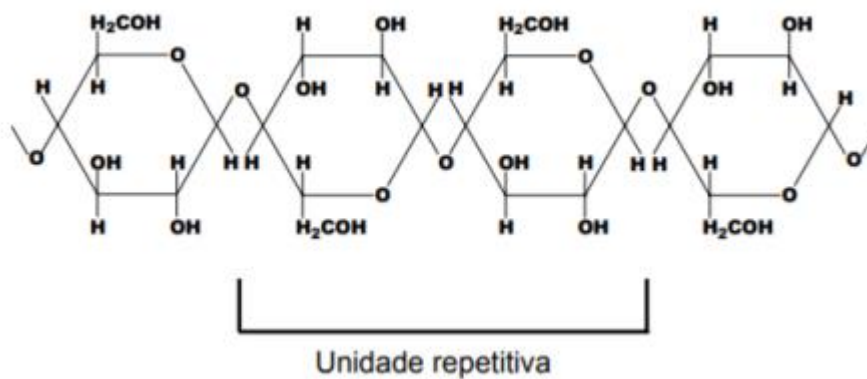
As fibras naturais, também chamadas de fibras vegetais, têm origens diferentes, separando assim sua classificação. Podem ser agrupadas em fibras de sementes (algodão), fibras de caule (juta, linho, cânhamo), fibras de folhas (bananeira, sisal, piaçava, curauá), fibras de fruto (coco) e fibras de raiz (zacatão). As chamadas fibras duras, oriundas do caule e das folhas, são as mais utilizadas como reforço em compósitos de matriz polimérica (RODRIGUES, 2008).

A composição química das fibras vegetais é basicamente de celulose, hemicelulose (polioses) e lignina.

A celulose é o principal constituinte das fibras e o componente mais significativo em relação à resistência mecânica (SILVA, 2003). É um polissacarídeo formado por

unidades de celobiose interligadas e de fórmula geral $(C_6H_{10}O_5)_n$. Conforme demonstrado na figura 1.

Figura 1 - Estrutura de repetição da celulose (celobiose)

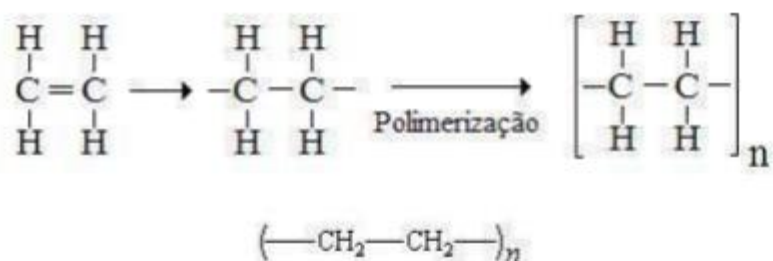


Fonte: Silva (2003)

2.6. Polietileno

O polietileno é classificado como um polímero termoplástico de cadeia carbônica da classe de poliolefinas. Essa classificação é baseada no tipo de monômero que dá origem ao polímero, que, nesse caso, são monômeros de hidrocarbonetos alifáticos insaturados contendo uma ligação dupla carbono-carbono reativa (CANEVAROLO Jr., 2006). Conforme demonstrado na figura 2.

Figura 2 - Origem do polietileno



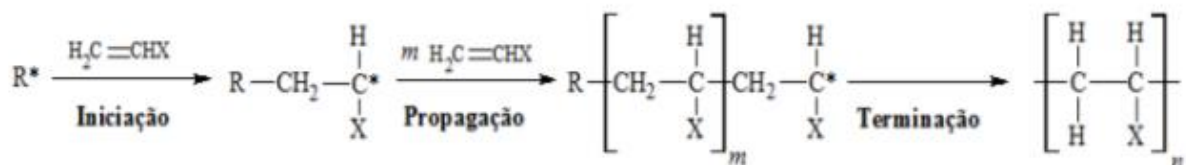
Fonte: Site Ciência e Tecnologia da Borracha (2014)

A polimerização de monômeros olefínicos normalmente envolve o mecanismo conhecido como polimerização em cadeia, que, de acordo com Canevarolo Jr. (2006), consiste na formação de uma cadeia polimérica completa a partir da instabilização da dupla ligação de um monômero e sua sucessiva reação com outras duplas ligações de outras moléculas de monômero.

Esse tipo de polimerização é caracterizado por três etapas, sendo elas iniciação, propagação e terminação. Na primeira etapa, é necessária a presença de um agente iniciador, que pode ser um radical livre, íons ou complexos de coordenação para promover a formação de um centro ativo a partir do rompimento da dupla ligação.

Na propagação, ocorre a adição rápida e sucessiva das moléculas de monômero a partir do centro ativo. A etapa de terminação acontece quando o centro ativo é impedido por alguma condição específica ou agente de terminação (LIMA, 2015). Na figura 3 está ilustrado um esquema da polimerização em cadeia.

Figura 3 - Polimerização em cadeia



Fonte: Lima (2015)

O polietileno está entre os polímeros de maior produção e maior utilização mundialmente, por sua grande versatilidade, flexibilidade, considerável resistência química e boas propriedades mecânicas. Cinco tipos de polietileno podem ser produzidos, e são classificados de acordo com o descrito na tabela 2.

Tabela 2 – Categorias de PE

Categoria	Nomenclatura
PEBD ou LDPE	Polietileno de baixa densidade
PEAD ou HDPE	Polietileno de alta densidade
PELBD ou LLDPE	Polietileno linear de baixa densidade
PEUAPM ou UHMWPE	Polietileno de ultra alto peso molecular
PEUBD ou ULDPPE	Polietileno de ultra baixa densidade

Fonte: Coutinho et al (2013)

Os polietilenos são classificados de acordo com as condições reacionais e o sistema catalítico durante a polimerização, sendo as ramificações a principal característica diferencial entre eles, de acordo com Coutinho et al (2013).

O polietileno de alta densidade (PEAD), objeto de estudo deste trabalho, é geralmente polimerizado utilizando-se catalisadores do tipo Ziegler-Nata, com o processo ocorrendo em baixas pressões, que vão de 10 a 15 atm e temperaturas de 20 a 80°C.

2.7. Compósito Polimérico

O Compósito Polimérico é uma classe de material muito utilizado em projetos que buscam flexibilidade de formas, redução de peso, resistência química, mecânica e rigidez, e até mesmo redução no investimento da produção (Marinucci, 2011).

Os polímeros são resultados da união de muitas moléculas, os monômeros que são moléculas de baixa massa molecular. Eles podem ser termoplásticos ou termorrígidos. A principal diferença entre estes dois tipos está no comportamento característico quando aquecidos, isto é, os termoplásticos são polímeros capazes de serem moldados várias vezes devido às suas características de se tornarem fluidos sob ação da temperatura e depois se solidificarem quando a temperatura diminui. Já os termorrígidos não têm o comportamento de fluidos devido à presença de ligações cruzadas entre as cadeias macromoleculares.

Pode-se citar como exemplo de matrizes de termoplástico: polietileno, poliestireno e polipropileno; e de termorrígido epóxi, poliéster e poliuretano. Um dos aspectos importantes na manufatura de compósitos consiste na obtenção de adequada adesão fibra e matriz. Fatores como a determinação do comprimento crítico de fibras para determinada matriz, fração volumétrica de fibra nos compósitos influenciam na estabilidade de uma adequada interação entre fibra e matriz. O desempenho de compósitos reforçados por fibras depende de três diferentes fatores (Alexandre, 2006):

- A resistência e módulo da fibra.
- Resistência e estabilidade química da resina.

- Efetiva interação entre a resina e fibra para a transferência de esforços na interface.

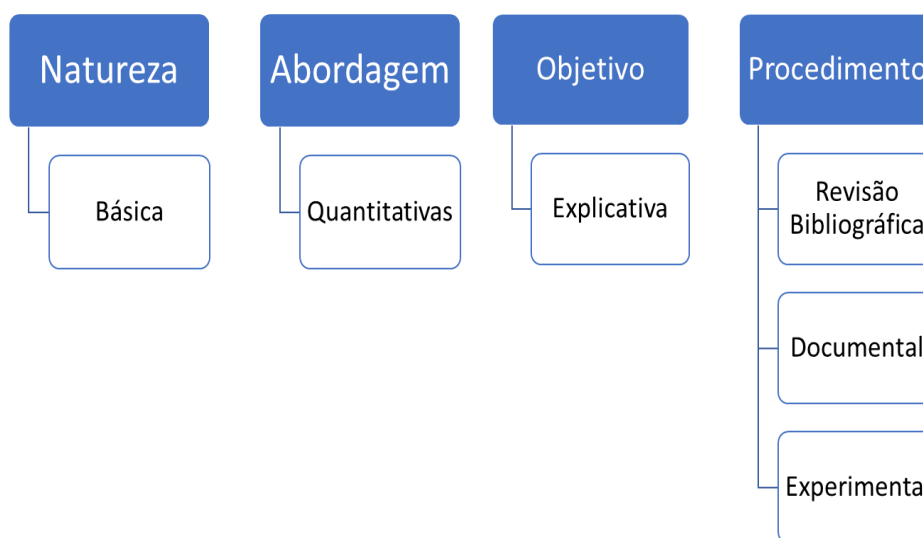
Porém, a compatibilidade de uma matriz hidrofílica e uma fibra hidrofóbica ou vice-versa possui um papel importante na determinação das propriedades dos compósitos.

3. METODOLOGIA

3.1. Classificação Da Pesquisa

O presente estudo tem por sua natureza uma pesquisa básica que objetiva gerar um produto ecológico que reduzirá o uso de um polímero de origem de petróleo usando um resíduo industrial que é descartado. Os objetivos serão explicativos, pois visam identificar as soluções determinadas para esse processo e explicar como eles ocorrem. Os dados de pesquisa são abordados de forma quantitativa, promovendo um diagnóstico dos problemas de descarte industrial nas fábricas, avaliando possíveis danos ambientais decorrentes dos mesmos e proporcionando a identificação de técnicas e tecnologias de engenharia eficazes. Conforme demonstrado no fluxograma 1.

Fluxograma 1 - Classificação metodológica de Pesquisa



Fonte: Elaborado pelas autoras

3.2. Materiais

3.2.1. Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

O polietileno de alta densidade PEAD, utilizado neste presente trabalho foi o HC7260LS-L em forma de pellets, fabricado pela Braskem. Foi doado pelo UniFOA.

3.2.2 Resíduo de celulose

O resíduo de celulose foi fornecido por uma empresa da região Sul Fluminense devidamente seco e fracionado.

3.3. Procedimento Experimental

3.3.1. Processamento do compósito PEAD/20% Resíduo de celulose

O compósito contendo 20% (m/m) de resíduo de celulose foi processado em um homogeneizador para plásticos Dryser da MH Equipamentos (modelo MH-50H), disponível no laboratório de ensaios do Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA).

Ao término do processamento do compósito usando o resíduo de celulose, o mesmo foi moído em um moinho de facas da marca Plastimax disponível no Laboratório de Processamento de Materiais do UniFOA (prédio 12).

3.3.2. Injeção dos corpos de prova para ensaios mecânicos

Os corpos de prova foram preparados por injeção a 330° C em uma injetora da marca RAY RAM – modelo TSMP, localizada no laboratório do Centro Universitário de Volta Redonda- UniFOA. Os corpos de provas foram injetados conforme a Norma ASTM D 63803, apresentando 13 mm de largura e 165 mm de comprimento com 3 mm de espessura para os ensaios de tração. Para os ensaios de flexão, foi realizado conforme a Norma ASTM D-790-03, apresentando 13 mm de largura, 130 mm de comprimento e 6 mm de espessura.

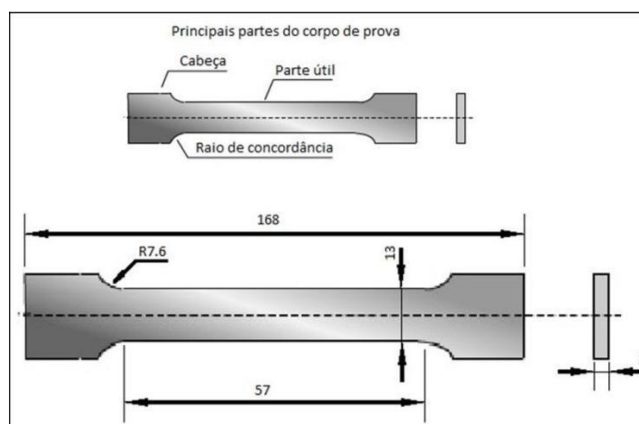
3.4. Caracterizações

3.4.1. 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 a célula de carga de 5kN, em uma temperatura ambiente e a uma velocidade de 5 mm.min⁻¹.

Foram realizados cinco ensaios com o corpo de prova onde as dimensões estavam de acordo com a norma ASTM D638 – 03 em 13 mm de largura e 165 mm de comprimento com 3 mm de espessura. Conforme demonstrado na figura 4.

Figura 4: CDP de tração de acordo com a norma ASTM D 638. Nota: Dimensões em mm.



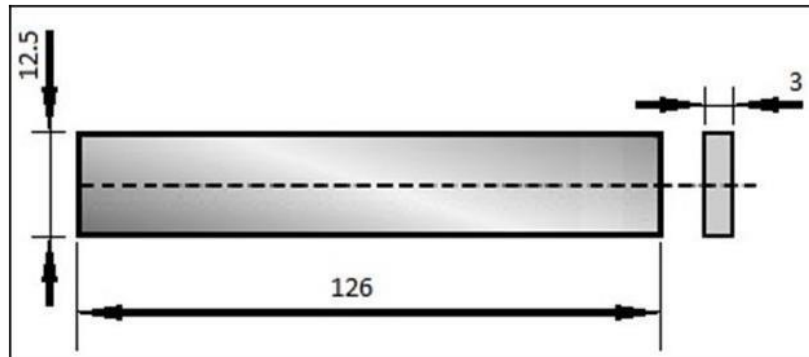
Fonte: As Autoras, 2022.

Para as análises de tração foram verificadas as propriedades de alongamento até tensão máxima, o limite de resistência a tração e o módulo de elasticidade.

3.4.2. Ensaio Mecânico de Flexão

Para os ensaios de flexão foi utilizado um equipamento da marca EMIC DL- 10000 disponível no laboratório de Processamento de materiais do UniFOA, com célula de carga de 100 kN, em um distância entre apoios de 80 mm, com temperatura ambiente e a uma velocidade de 5 mm.min⁻¹. Conforme demonstrado na figura 5.

Figura 5: CDP de flexão de acordo com a norma ASTM D 780. Nota: Dimensões em mm.



Fonte: As Autoras, 2022.

No caso das análises de flexão foram avaliadas a resistência e o módulo elástico à flexão.

3.4.3. Ensaio de Dureza

O ensaio de dureza foi realizado utilizando um durômetro portátil digital DIGIMESS com capacidade de 0 a 100 Shore D; resolução de 0,1 Shore D; e exatidão de ± 1 Shore D no laboratório de ensaios do Centro Universitário de Volta Redonda (UniFOA).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados dos ensaios de tração

A adição do resíduo de celulose na matriz polimérica do PEAD praticamente não alterou a deformação do material até a tensão máxima, porém provocou uma redução em torno de 66% na deformação total do material. Este efeito da adição de fibras de celulose pode ser observado nos resultados apresentados na Tabela 3.

Analisando o compósito com 20% de resíduo observou-se que a adição da celulose proveniente do resíduo na matriz de PEAD não provocou mudanças significativas nas propriedades mecânicas do compósito até a tensão máxima de resistência à tração, porém contribuiu para a redução na deformação total do material (alongamento). Com a inserção da massa de resíduo foi possível observar o aumento no valor do módulo elástico e da tensão de escoamento com uma consequente redução na elongação total do compósito formado.

Este fenômeno foi associado ao fato de que o reforço promoveu uma redução da ductilidade do material. Assim, o caráter mais frágil do compósito foi maior de acordo com a inserção da quantidade de reforço de celulose, como já era de se esperar. Lembrando que a ductilidade corresponde à elongação total material devido à deformação plástica. Trabalhos da literatura também demonstraram esse comportamento devido a incorporação de fibras lignocelulósicas em matrizes termoplásticas (BENINI, 2011; PEREIRA, 2016; PEREIRA, 2017).

Tabela 3: Resultados dos ensaios de tração do compósito reforçado com 20% de resíduo de celulose.

Materiais	Tensão de Escoamento (MPa)	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)	Alongamento (%)
PEAD Puro	11,0 ± 0,0	19,3 ± 0,6	166,3 ± 9,6	53,5 ± 13,0
PEAD + 20%	14,0 ± 1,0	21,0 ± 0,6	253,4 ± 10,0	17,9 ± 0,7

* Valores médios

Fonte: Autoras, 2022.

4.2. Resultados dos ensaios de flexão

O compósito processado com o resíduo de celulose foi avaliado quanto às suas propriedades de flexão e os resultados estão apresentados na Tabela 4. Analisando os dados obtidos foi possível verificar um aumento na resistência à flexão e principalmente no módulo elástico do compósito quando comparados ao PEAD sem adição.

Com a adição de 20% de resíduo de celulose no PEAD foi possível alcançar um aumento superior a 70% no valor do módulo elástico, quando comparado do PEAD puro.

O módulo elástico quantifica a rigidez do material, assim quanto maior o módulo maior será o esforço que deverá ser aplicado para deformar o material. Em aplicações onde a rigidez é mais importante que a ductilidade a adição da celulose na matriz de PEAD tornou o compósito obtido extremamente viável uma vez que com a economia de polímero e redução de custo é possível aumentar o módulo sem perder a resistência à flexão.

No trabalho realizado por Benini (2011), a autora também observou esse mesmo comportamento em flexão em compósitos de HIPS reforçados com 30% de bagaço de cana branqueada.

Tabela 4: Resultados dos ensaios de flexão do compósito reforçado com 20% de resíduo de celulose.

 Materiais	Tensão Máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
PEAD Puro	26,9 ± 0,4	946,6 ± 34,0
PEAD + 20%	32,0 ± 0,7	1308,9 ± 53,0

* Valores médios

Fonte: Autoras, 2022.

4.3. Resultados da dureza Shore D

A partir das análises de dureza Shore D, verificou-se que a adição da celulose ao PEAD não acarretou alterações significativas nos valores da dureza nos compósitos quando comparados ao PEAD puro, como é mostrado na Tabela 5. Os valores das durezas foram obtidos a partir de medições realizadas nos corpos de prova de tração. Foram realizadas cinco leituras de dureza em cada amostra.

Tabela 5: Resultados de dureza Shore D do PEAD puro e do compósito PEAD+20% resíduo de celulose.

AMOSTRAS	DUREZA SHORE D
PEAD Puro	61,4 ± 1,2
PEAD + 20%	64,9 ± 1,0
(*) valores médios	

Fonte: Autoras, 2022.

Este resultado pode ser considerado bastante satisfatório para uma possível fabricação de materiais para o segmento automobilístico, uma vez que a inserção do resíduo de celulose no PEAD não alterou de maneira significativa a dureza apresentada pelo PEAD puro. Dessa forma, o uso de compósitos reforçados com o referido resíduo poderá acarretar uma redução de 20% no consumo de PEAD puro e, conseqüentemente, uma redução no custo das peças produzidas, ainda mantendo os valores de dureza do PEAD puro.

Nos trabalhos realizados por Pereira (2016) e Pereira (2017), as autoras também observaram esse comportamento de dureza nos compósitos HIPS reforçados com fibras de coco e fibras de bagaço da cana, respectivamente.

5. CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados obtidos neste trabalho, foi possível avaliar o efeito da adição de 20% de resíduo de celulose no PEAD sobre algumas propriedades mecânicas.

Quanto à caracterização do compósito produzido as principais conclusões foram:

Em relação aos ensaios de tração, verificou-se que a adição do resíduo de celulose na matriz polimérica do PEAD praticamente não alterou a deformação do material até a tensão máxima, porém provocou uma redução em torno de 66% na deformação total do material. Também foi constatado que a adição da celulose presente no resíduo na matriz de PEAD não provocou mudanças significativas nas propriedades mecânicas do compósito até a tensão máxima de resistência à tração, porém contribuiu para a redução na deformação total do material (alongamento).

Agora, sobre os ensaios de flexão, foi possível verificar um aumento na resistência à flexão e, principalmente, no módulo elástico do compósito quando comparados ao PEAD. Verificou-se que a adição do resíduo ao PEAD acarretou um aumento significativo na resistência mecânica (tensão máxima), quando comparados ao PEAD puro. Foi constatado que com a adição de 20% de celulose no PEAD se alcançou um aumento superior a 70% no valor do módulo elástico. Foi possível concluir também que, em aplicações onde a rigidez é mais importante que a ductilidade a adição do resíduo de celulose na matriz de PEAD tornou o compósito obtido extremamente viável uma vez que com a economia de polímero e redução de custo será possível aumentar o módulo sem perder a resistência à flexão.

A partir das análises de dureza Shore D, verificou-se que a adição do resíduo rico em celulose ao PEAD não acarretou alterações significativas nos valores da dureza no compósito quando comparado ao PEAD puro.

Dessa forma, o uso de compósitos reforçados com o resíduo de celulose que foi estudado nesse trabalho poderá acarretar uma redução de 20% no consumo de PEAD puro e, conseqüentemente, uma redução no custo das peças produzidas, ainda mantendo os valores de dureza do PEAD puro.

Por fim, com a realização desse projeto, foi obtido um produto ecológico que reduzirá o uso de um polímero de origem de petróleo usando um resíduo industrial que é descartado. Contudo, além do objetivo sustentável, o produto reduzirá o custo para os fabricantes, uma vez que o valor do resíduo rico em celulose é muito menor que o valor do PEAD.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (RIO DE JANEIRO). NBR 10004: RESÍDUOS SÓLIDOS - CLASSIFICAÇÃO, [S. L.], 2004.

BENINI, K.C.C.DE C. **Desenvolvimento e caracterização de compósitos poliméricos reforçados com fibras lignocelulósicas: HIPS/fibra da casca do coco verde e bagaço de cana de açúcar**. Dissertação Mestrado – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2011.

CIULIK, Claudio Batista. Modificação química de celulose para utilização em mistura com polietileno de alta densidade, Curitiba, 6 set. 2010. Disponível em: <https://acervodigital.ufpr.br/handle/1884/23933>. Acesso em: 3 maio 2022.

COUTINHO, F.M.B. et al. Polietileno: Principais tipos, propriedades e aplicações. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, vol. 13, n. 1, p. 1-13, 2013.

ECYCLE. FRALDAS DESCARTÁVEIS: CONHEÇA PERIGOS, IMPACTOS E ALTERNATIVAS. [S. L.], 8 DEZ. 2015. DISPONÍVEL EM: <HTTPS://WWW.ECYCLE.COM.BR/FRALDAS-DESCARTAVEIS-IMPACTOS-ALTERNATIVAS/>. ACESSO EM: 15 JUN. 2022.

FERNANDES, J.R. ET AL. NANOPARTÍCULAS DE SÍLICA SILANIZADA COMO COMPATIBILIZANTE EM COMPÓSITOS DE FIBRAS SISAL/POLIETILENO. **POLÍMEROS**, N. 27, P. 61-69, 2017.

HAJE, Lara. Comissão de Constituição e Justiça e de Cidadania da Câmara dos Deputados. CCJ aprova política de incentivo à reciclagem , [S. l.], p. 1, 21 ago. 2019. Disponível em: <https://www.camara.leg.br/noticias/574155-CCJ-APROVA-POLITICA-DE-INCENTIVO-A-RECICLAGEM>. Acesso em: 20 abr. 2022.

INSTITUTO DE PESQUISA E ECONOMIA APLICADA. Apenas 13% dos resíduos sólidos urbanos no país vão para reciclagem: Estudo do Ipea traz dados sobre a reciclagem no Brasil e a forma de organização dos trabalhadores desse segmento.

IPEA, BRASÍLIA, p. 14, 24 jan. 2017. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=29296. Acesso em: 4 abr. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. Lei nº 12.305/2010, de 2 de agosto de 2010. A Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010) trouxe ao país uma série de inovações para a gestão e o gerenciamento de resíduos sólidos. Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), [S. l.], 6 dez. 2016. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/control-de-residuos/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs>. Acesso em: 18 abr. 2022.

LIMA, Estela. Lixo Industrial: como fazer o descarte correto na sua indústria. Nomus, 24 set. 2020. Disponível em: <https://www.nomus.com.br/blog-industrial/lixo-industrial-como-fazer-o-descarte-correto-na-sua-industria/>. Acesso em: 13 abr. 2022.

PEREIRA, G. B. **Caracterização de compósitos HIPS/fibra da casca do coco verde tratada e confecção de manual interativo para aplicação na indústria automobilística**. Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2016.

PEREIRA, G. C. **Caracterização de compósitos HIPS/bagaço de cana e confecção de manual operacional para aplicação na indústria de Pet Shop**. Dissertação (Mestrado) – UniFOA / Mestrado Profissional em Materiais, 2017.

POLIETILENO, o que é, onde é utilizado?. Minas Gerais, 20 jul. 2015. Disponível em: <http://resoambiental.com/2015/07/POLIETILENO-O-QUE-E-ONDE-E-UTILIZADO/>. Acesso em: 27 abr. 2022.

PRESIDÊNCIA DA REPÚBLICA CASA CIVIL SUBCHEFIA PARA ASSUNTOS JURÍDICOS. Lei nº Lei nº 12.305/2010, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. LEI Nº 12.305, DE 2 DE AGOSTO DE 2010., BRASÍLIA, 2 ago. 2010. Disponível em: <http://www.ibama.gov.br/residuos/controle-de-residuos/politica-nacional-de-residuos-solidos-pnrs>. Acesso em: 18 abr. 2022.

RCC AMBIENTAL. RECICLAGEM DE FRALDAS DESCARTÁVEIS: UMA SOLUÇÃO EFICIENTE DE DESTINAÇÃO FINAL. In: RECICLAGEM DE FRALDAS DESCARTÁVEIS: UMA SOLUÇÃO EFICIENTE DE DESTINAÇÃO FINAL. [S. l.], 15 mar. 2022. Disponível em: <https://rcrambiental.com.br/reciclagem-de-fraldas-descartaveis/>. Acesso em: 27 abr. 2022.

RESPONSE, ECO. Como tratar os resíduos industriais? Conheça os principais cuidados. In: Como tratar os resíduos industriais? Conheça os principais cuidados.. [S. l.], 21 ago. 2021. Disponível em: <https://www.ecoresponse.com.br/blog/noticia-interna/residuos-industriais-248>. Acesso em: 20 abr. 2022.

SOUZA, Everaldo Alves; SALDANHA, Hamanda Gelça Araújo Costa; MELO, Wyara Ferreira; RODRIGUES, Luma Michelly Soares; OLIVEIRA, Maria Juliana dos Santos; MEDIROS, Aline Carla; MELO, Wellington Ferreira; MARACAJA, Patricio Borges. A Política Nacional de Resíduos Sólidos: um panorama entre as regiões brasileiras. INTESA – Informativo Técnico do Semiárido(Pombal-PB), [S. l.], v. 9, n. 2, p. 37-50, 20 dez. 2015.

TERA AMBIENTAL. O que é resíduo industrial e quais são suas classificações. In: O que é resíduo industrial e quais são suas classificações. [S. l.], 1 set. 2021. Disponível em: <https://www.teraambiental.com.br/blog-da-tera-ambiental/o-que-e-residuo-industrial-e-quais-sao-suas-classificacoes>. Acesso em: 18 abr. 2022.