

**INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CAMPUS SÃO MATEUS
CURSO DE ENGENHARIA MECANICA**

JAMILLE MACETE MELOTI

**ANÁLISE DO COMPÓSITO DE FITA TEREFTALATO DE POLIETILENO
(PET) COM TECIDO BIDIRECIONAL DE VIDRO E MATRIZ DE RESINA
EPÓXI**

SÃO MATEUS – ES

2023

JAMILLE MACETE MELOTI

**ANÁLISE DO COMPÓSITO DE FITA TEREFTALATO DE POLIETILENO
(PET) COM TECIDO BIDIRECIONAL DE VIDRO E MATRIZ DE RESINA
EPÓXI**

Monografia apresentada a Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Me João Victor Soares Chagas

SÃO MATEUS – ES

2023

Dados internacionais de catalogação na publicação (CIP)

M528a

Meloti, Jamille Macete, 1998-

Análise do compósito de fita tereftalato de polietileno (PET) com tecido bidirecional de vidro e matriz de resina epóxi / Jamille Macete Meloti.-- 2023.

33 f. : il. ; 30 cm.

Orientador : João Victor Soares Chagas.

Monografia (graduação) - Instituto Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, Coordenadoria de Curso Superior de Engenharia Mecânica, 2023.

1. Plásticos - Reciclagem. 2. Garrafas PET - Reaproveitamento. 3. Polímeros. I. Chagas, João Victor Soares. II. Instituto Federal do Espírito Santo. Campus São Mateus. III. Título.

CDD 22 – 628.445

Bibliotecária responsável Sheila Guimarães Martins CRB6/ES 671



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

**INSTITUTO FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CAMPUS SÃO MATEUS**

Rodovia BR 101-Norte – Km 58 – Bairro Litorâneo – 29932-540 – São Mateus – ES
27 3771-1262

COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

JAMILLE MACETE MELOTTI

**ANÁLISE DE COMPÓSITO DE FITA PET COM
TECIDO BIDIRECIONAL DE VIDRO E MATRIZ DE RESINA EPÓXI**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenadoria do Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal do Espírito Santo, Campus São Mateus, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica

Aprovado em 15 de Dezembro de 2023.

COMISSÃO EXAMINADORA

Prof. (a) M.Sc. João Victor Soares Chgas
Instituto Federal do Espírito Santo
Orientador

Prof. (a) D.Sc. Diego Lilargem Rocha
Instituto Federal do Espírito Santo

Prof. (a) D.Sc. Renan Valter Magnol
Instituto Federal do Espírito Santo



Emitido em 22/12/2023

FOLHA DE APROVAÇÃO-TCC Nº 6/2023 - SMT-CCTM (11.02.31.01.05.02.09)

(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)

(Assinado digitalmente em 27/12/2023 12:45)

DIEGO LILARGEM ROCHA

PROFESSOR DO ENSINO BASICO TECNICO E TECNOLOGICO

SMT-CCTM (11.02.31.01.05.02.09)

Matrícula: 1142122

(Assinado digitalmente em 22/12/2023 13:19)

JOAO VICTOR SOARES CHAGAS

PROFESSOR DO ENSINO BASICO TECNICO E TECNOLOGICO

SMT-CCTM (11.02.31.01.05.02.09)

Matrícula: 1169184

(Assinado digitalmente em 23/12/2023 22:00)

RENAN VALTER MAGNOL

PROFESSOR DO ENSINO BASICO TECNICO E TECNOLOGICO

SMT-CCTM (11.02.31.01.05.02.09)

Matrícula: 1278637

Visualize o documento original em <https://sipac.ifes.edu.br/documentos/> informando seu número: **6**, ano: **2023**, tipo:
FOLHA DE APROVAÇÃO-TCC, data de emissão: **22/12/2023** e o código de verificação: **bd6151a150**

AGRADECIMENTOS

Primeiro a Deus que nessa jornada da graduação nunca me abandonou, sempre esteve ao meu lado me dando forças.

A minha família e amigos, pelo seu amor, paciência e encorajamento durante todo o processo. Se apoio incondicional foi fundamental para minha motivação e perseverança.

Ao eu orientador João Victor Soares Chagas, que dedicou o seu tempo e forneceu informações valiosas para esse estudo. E ao técnico Cláudio responsável pelo Laboratório de Ensaios do IFES Vitória que disponibilizou o seu tempo para realização dos ensaios. Sem a colaboração deles, este trabalho não seria possível.

A instituição de ensino, que forneceu os recursos e ambiente propício para a realização deste trabalho. Agradeço o acesso às instalações, biblioteca e demais recursos necessários.

A todos aqueles que, de alguma forma, colaboraram direto ou indiretamente para que o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O uso e descarte inadequado do material tereftalato de polietileno (PET) causam problemas ambientais, como o acúmulo de resíduos. No entanto, o PET é um plástico amplamente reciclado devido às suas diversas aplicações. A reciclagem pode gerar matéria-prima, compósitos ou energia. Estudos mostram que o PET pode ser utilizado na fabricação de tijolos e na substituição de areia no concreto. O material PET possui algumas vantagens como sua baixa densidade, resistência mecânica, resistência química, transparência, brilho, reciclabilidade e baixo custo, logo tem a sua aplicação na área automotiva, componentes e equipamentos esportivos, aeroespacial e civil. O objetivo geral deste trabalho é fabricar um compósito utilizando o polímero PET e estudar suas propriedades mecânicas por meio do ensaio de tração, caracterizações, comparando-o com outro compósito que possui características semelhante. Foram realizados testes de tração, possibilitando a caracterização do material. O compósito com o núcleo de fita de PET apresentou maior resistência a tração e um módulo de elasticidade significativamente maior, quando comparado com compósito no qual possui o núcleo feito com uma manta de PET. Além disso, foram propostas possíveis substituições e aplicações para o compósito desenvolvido, aplicação em aeromodelo, móveis, construção civil e entre outro.

ABSTRACT

The inappropriate use and disposal of polyethylene terephthalate (PET) material causes environmental problems, such as the accumulation of waste. However, PET is an extremely recycled plastic due to its diverse applications. Recycling can generate raw materials, compounds or energy. Studies show that PET can be used in the manufacture of bricks and to replace sand in concrete. PET material has some advantages such as its low density, mechanical resistance, chemical resistance, transparency, brightness, recyclability and low cost, therefore it has its application in the automotive, components and sports equipment, aerospace and civil areas. The general objective of this work is to manufacture a composite using the PET polymer and study its mechanical properties through tensile testing, characterizations, comparing it with another composite that has similar characteristics. Tensile tests were carried out, enabling the characterization of the material. The composite with a PET tape core showed greater tensile strength and a significantly higher modulus of elasticity, when compared to a similar material with a core made from a PET blanket. In addition, possible replacements and applications were proposed for the developed composite, application in model aircraft, furniture, civil construction and others.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Disposição das camadas do modelo sanduiche.	13
Figura 2- Fitas de PET.	17
Figura 3 - Croqui da disposição das camadas de materiais do projeto desenvolvido.	18
Figura 4 - Croqui da disposição das camadas de materiais do projeto de comparação.	18
Figura 5 - Dimensões (mm) para os corpos de prova para ensaio de tração.	19
Figura 6 - Parâmetro para os corpos de prova para ensaio de tração.	19
Figura 7 - Corpos de prova.	20
Figura 8 - Gráfico de tensão x deformação do corpo de prova 1.	23
Figura 9 - Gráfico de tensão x deformação do corpo de prova 2.	23
Figura 10 - Gráfico de tensão x deformação do corpo de prova 3.	24
Figura 11 - Gráfico de tensão x deformação do corpo de prova 4.	24
Figura 12 - Gráfico de tensão x deformação do corpo de prova 5.	25
Figura 13 - Gráfico de tensão x deformação do corpo de prova 6.	25
Figura 14 - Gráfico curvas do ensaio de tração.	26
Figura 15 - Cores do gráfico.	26
Figura 16 – Resultados da comparação do módulo de elasticidade (GPa) entre o trabalho realizado e o compósito.	29
Figura 17 - Resultados da comparação de resistência a tração (MPa) entre o trabalho realizado e o de comparação.	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Medidas dos corpos de prova para realização dos ensaios.	20
Tabela 2 - Parâmetros utilizados para os testes de tração.	21
Tabela 3 - Dados da média da densidade de cada corpo de prova ensaiado.	22
Tabela 4 - Propriedade extraídas da curva de tensão x deformação.	27
Tabela 5 - Padronização mecânico com relação a densidade do material.	28
Tabela 6 - Dados do ensaio de tração no compósito com o núcleo de manta de PET.	28

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	9
2. OBJETIVOS	12
2.1 OBJETIVO GERAL	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	12
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICAS	13
3.1 COMPÓSITOS	13
3.1.1. Compósito Tipo Sanduíche	13
3.1.2 Tipos de Falhas em Compósitos	14
3.2 POLÍMERO PET - TEREFTALATO	14
3.3 RESINA EPÓXI	16
3.4 MANTA DE VIDRO	16
4. METODOLOGIA	17
4.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	17
5. RESULTADOS	22
6. CONCLUSÃO	31
REFERÊNCIAS	32

1. INTRODUÇÃO

A utilização em larga escala de tereftalato de polietileno (PET) e o seu descarte inadequado gera acúmulo desse tipo de material em ruas, rios, lagoas e praças, provocando vários tipos de transtornos para a sociedade (KELLER, VICENTE e SANTOS, 2014).

A quantidade de resíduos sólidos gerados é um grande problema ambiental. Isto é devido há grandes desenvolvimentos industriais, tecnologia e maiores praticidades no dia a dia. (SOUZA OLIVEIRA, GONÇALVES PEREIRA e ALVES PEREIRA, 2016).

O polímero PET é um termoplástico, sendo um dos plásticos mais reciclados em todo o mundo devido a sua abundância de aplicações: fibras têxteis, tapetes, não tecidos, embalagens, filmes, fitas, cordas, compostos, entre outros. O reaproveitamento desse material reduz significativamente o impacto ambiental causado no despejo, uma vez que pode levar séculos para se degradar totalmente. A reciclagem pode ser feita para gerar matéria-prima, compósitos ou meios energéticos. (SANTOS JUNIOR et al., 2012).

Na reciclagem energética, o PET tem poder calorífico superior ao carvão, mas essa prática resulta na emissão de dióxido de carbono, agravando o efeito estufa. (GUELBERT et al., 2007).

Santos Júnior e col. (2012) realizaram estudos sobre o uso de garrafas PET na fabricação de tijolos. As garrafas foram recolhidas e limpas para remoção de impurezas, a limpeza foi feita em água corrente e a secagem foi feita ao ar livre durante um período de 12 horas. Após a limpeza o material foi triturado para facilitar o processo de fusão. O material foi fundido e misturado com fibra de coco para agregar melhor resistência mecânica. A proporção de fibra de coco utilizada foi de 30% em 3 a 10 cm de comprimento. A mistura de PET com fibra de coco foi aquecida em recipiente metálico até a fusão; o material era então despejado ainda quente em um molde de madeira. Os ensaios mecânicos revelaram perda

de integridade nos tijolos com carga compressiva de 100 kgf, porém essa perda de resistência mecânica foi atribuída às porosidades internas do compósito.

Canellas (2015) realizou um estudo sobre a substituição de parte da areia utilizada no concreto por partículas de garrafas PET. Foram realizadas substituições nas proporções de 10, 30 e 50%, sendo observado que a melhor possibilidade de aproveitamento percentual foi de 30%, por não apresentar perdas significativas na plasticidade e resistência à compressão. Foi possível concluir que o compósito obtido tem potencial para ser utilizado na fabricação de artefatos de concreto, sem muita responsabilidade estrutural.

Mulinari et al. (2014) propuseram um compósito fundindo fibra de sisal e resina de poliuretano à base de óleo de mamona, os resultados do ensaio de tração mostraram um limite de resistência à tração de limite de resistência à tração na ordem de 8 Mpa.

Oliveira, Guimarães e Botelho (2009) realizaram estudos em compósitos termoplásticos de matriz PET (Polieterimida) reforçados com fibra de vidro. Notou-se que a resistência à tração, cisalhamento e fadiga do laminado PET/fibra de vidro foi superior ao laminado epóxi/fibra de vidro.

O uso de garrafas PET na indústria têxtil também apresenta benefícios econômicos. A utilização deste material reciclado como matéria-prima reduz os custos de produção tendo o petróleo como base. Além disso, a demanda por produtos sustentáveis tem crescendo cada vez mais, o que aumenta a demanda por produtos têxtil a partir de PET reciclado. (FERREIRA, 2016).

No entanto para o uso de garrafas PET na indústria têxtil seja efetivo, é necessário que haja um cuidado adequado a seleção e preparação do material reciclado. A quantidade de fibras produzidas a partir do PET reciclado pode variar de acordo com o processo de reciclagem e a qualidade das garrafas coletadas. (FERREIRA, 2016).

É importante também que haja investimento em tecnologias e processos de reciclagem mais eficientes e sustentáveis, visando melhoria a qualidade do PET

recilado e aumentando sua utilização na indústria têxtil e em outros setores. (FERREIRA, 2016)

O estudo do comportamento mecânico dos compósitos é muito importante para entender como esses materiais se comportam sob diferentes condições de carga e como suas propriedades podem influenciar na aplicação do compósito.

Esse tipo de compósito pode ser utilizado em diversas aplicações, como na fabricação de peças automotivas, moveis, equipamentos esportivos, estruturas de construção civil e na aplicação para AeroDesign.

Por ser um material compósito de fácil obtenção e baixo custo, o material é amplamente utilizado na fabricação de aeromodelos. A FAM (Força Aérea Mateense), grupo de extensão do campus IFES São Mateus, responsável pela construção de aeromodelos para competições SAE, busca utilizar compósitos semelhantes a este por oferecerem uma boa combinação de resistência mecânica, módulo de elasticidade e peso.

O objetivo deste trabalho é comparar as propriedades mecânicas do compósito desenvolvido neste trabalho com um compósito já existente que possui algumas semelhanças. No trabalho de referência desenvolvido um compósito a base de resina epóxi e manta de garrafa PET. Já o compósito abordado em estudo teve alteração do núcleo, sendo de fita de PET, uma abordagem interessante para avaliar como a mudança no material do núcleo pode afetar as propriedades mecânicas do compósito. A manta de vidro é um material comumente utilizado em compósitos por sua alta resistência, enquanto a fita de PET é um material mais leve e flexível, que pode ser usado para melhorar a resistência do compósito.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Fabricar um material compósito a partir do polímero PET, caracterizar e avaliar as propriedades mecânicas desses compósitos para compará-los com compósito similar.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Fabricar um compósito a partir do polímero PET;
- Investigar o compósito as suas propriedades (módulo de elasticidade é resistência a tração);
- Comparar o compósito desenvolvidos com materiais existentes no mercado;
- Propor substituição e aplicações.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICAS

3.1 COMPÓSITOS

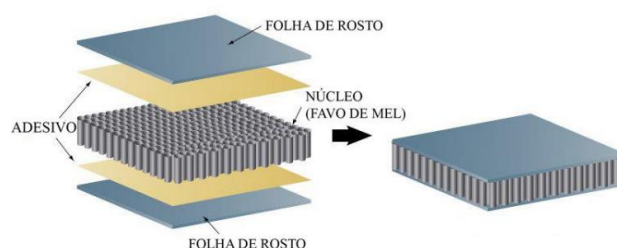
Materiais compósitos são materiais formados pela combinação de dois ou mais materiais diferentes para obter propriedades específicas. Eles são compósitos de uma matriz e um reforço, onde a matriz um é material pirométrico, cerâmico ou metálico que envolve e protege o reforço, que pode ser feito de fibras, partículas ou outros materiais. A combinação desses materiais resulta em um material com propriedades superiores aos seus componentes individuais, como resistência, leveza e durabilidade. Os materiais compósitos são amplamente utilizados em indústrias como aeronáutica, automotiva, construção civil, entre outros (CALEGARIO, 2016).

3.1.1. Compósito Tipo Sanduíche

Um compósito sanduíche é um tipo formado por duas camadas externas separadas por um núcleo leve e macio. O núcleo pode ser feito de materiais como espuma, alumínio ou outros materiais leves. As camadas externas de materiais como fibra de vidro, fibra de carbono e outros (LOSEKANN, 2017).

Esses tipos de compósito são fabricados em um processo de laminação, onde as camadas externas são aplicadas em ambos os lados do núcleo, o material é então curado e moldado em sua forma final, resultando em um material forte, leve e resistente (LOSEKANN, 2017).

Figura 1 - Disposição das camadas do modelo sanduíche.



Fonte: LOSEKANN (2017).

3.1.2 Tipos de Falhas em Compósitos

Os materiais compostos podem falhar de várias maneiras, dependendo das propriedades do material e das condições de uso, os tipos de falhas que podem ocorrer são:

- Falha de cisalhamento interlaminar: ocorre quando as inscrições do material se separam uma das outras devido a forças de cisalhamento. Isso pode ocorrer devido a uma carga excessiva ou a uma falha na aderência entre as faixas.
- Delaminação: é a separação das camadas do material ao longo de uma superfície paralela à superfície do material. Isso pode ocorrer devido à tensão de tração ou flexão excessiva.
 - Falha por fadiga: ocorre quando material é submetido a ciclos repetidos de cargas e descarga, isso pode levar a delaminação.
 - Falha térmica: ocorre quando o material é exposto a altas temperaturas ou mudanças bruscas de temperaturas, podendo levar a delaminação do material.
- Falha de tração: ocorre quando as fibras do material se rompem devido a uma tensão excessiva. Isso ocorre devido a uma carga excessiva ou a uma falha na distribuição de carga.
- Falha de sofrimento: ocorre quando o material é comprimido além de sua capacidade de suportar a carga. Isso pode ocorrer devido a uma carga excessiva ou a uma falha na distribuição de carga. (SOUZA, 2003).

3.2 POLÍMERO PET - TEREFTALATO

O polímero tereftalato de polietileno conhecido popularmente como PET teve seu desenvolvimento em meados dos anos 40 pelos químicos Whinfield e Dickson no qual deram as iniciais de seus nomes para o material. Trata-se de um material termoplástico que não ocorre alterações em sua estrutura química, durante o processo de aquecimento até a sua fusão, o mais interessante deste material

que após ser resfriado ele poder ser novamente fundido (ARAGON, GRIRALDELLO, 2014).

Estudo sobre o PET ganharam forças após a Segunda Guerra Mundial por volta dos anos 50 nos Estados Unidos em alguns países da Europa. De início o PET teve sua utilização voltada para as indústrias têxtil, só nos anos 70 que houve sua utilização em indústrias e embalagens (ARAGON, GRIRALDELLO, 2014).

O polietileno material base para confecção do PET, está cada vez mais presente no dia a dia, os materiais plásticos são amplamente utilizados nas indústrias de engenharia civil, automotiva, aeronáutica, elétrica e eletrônica, informática, moveleira, agrícola, calçadista, alimentícia, têxtil e de lazer, entre outras podendo assim substituir materiais que possuem alto valor no mercado e desempenhar a mesma funcionalidade (ARAGON, GRIRALDELLO, 2014), (VIANA et al, 2021).

Segundo estudo realizado por VIANA et al (2021), volume de garrafas plásticas demonstram um risco ao meio ambiente, sendo que o mesmo pode levar cerca de 600 anos para realizar sua decomposição por completo.

O tereftalato de polietileno (PET) são polímeros termoplásticos nos quais segundo FERANTE (2009) forças intercadeias e os obstáculos que giram em torno das ligas são muito maiores do que nos elastômeros à temperatura ambiente. O módulo de elasticidade é cerca de mil vezes maior que o do elastômero, com valores na faixa de 0,4 a 4 GPa. À medida que a temperatura sobe acima da temperatura de transição vítrea, o módulo e elasticidade dos polímeros amorfos cai para valores semelhantes aos dos elastômeros. Por outro lado, o módulo elasticidade aumenta por um fator de três ou mais quando a temperatura é reduzida para temperaturas próximas às do nitrogênio líquido, sendo essa aproximadamente $-195,8^{\circ}\text{C}$. FERANTE (2002).

3.3 RESINA EPÓXI

A resina epóxi é considerada uma das mais importantes classes de polímeros termoestáveis, muito utilizado em estruturas ou como uma cola adesiva. Segundo PEREIRA a resina epóxi possui uma alta força de tensão (força que um material exerce no outro), processamento fácil, boa resistência química e térmica, no entanto, em muitas aplicações, sua maior desvantagem é sua baixa resistência à fratura. Após a cura, os sistemas epóxi encolhem ligeiramente, em média cerca de 2%. Esse comportamento indica que poucos rearranjos moleculares são necessários para formar o sistema endurecido. Em termos de estabilidade química, o epóxi é um dos termoplásticos mais inertes e possui boa estabilidade dimensional em uso. Todas essas características distinguem os epóxios de outras resinas termofixas, e os esforços para melhorar o desempenho dos produtos existentes PEREIRA (2005).

3.4 MANTA DE VIDRO

A manta de vidro é formada por diversos tipos de fibras picadas que são compactadas e juntas por elementos ligantes. Se trata de um elemento flexível, por ser aplicado para isolamento de térmico, resistência a tração, impactos e flexão. Por se tratar de um material flexível permite que haja a modelagem de peças com geometrias complexas (MATHEUS, 2002).

4. METODOLOGIA

4.1 PREPARAÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

Para uma melhor adesão da resina de poliéster curada a frio com catalisador, as fitas de PET utilizadas foram lixadas. As fitas foram cortadas no tamanho de aproximadamente 25 cm de comprimento com uma largura de 15 cm cada uma.

Para confecção da manta de PET foi utilizada 19 fitas formando uma manta com a área de 7125 cm², a manta e apresentada na figura 2 abaixo.

Figura 2- Fitas de PET.



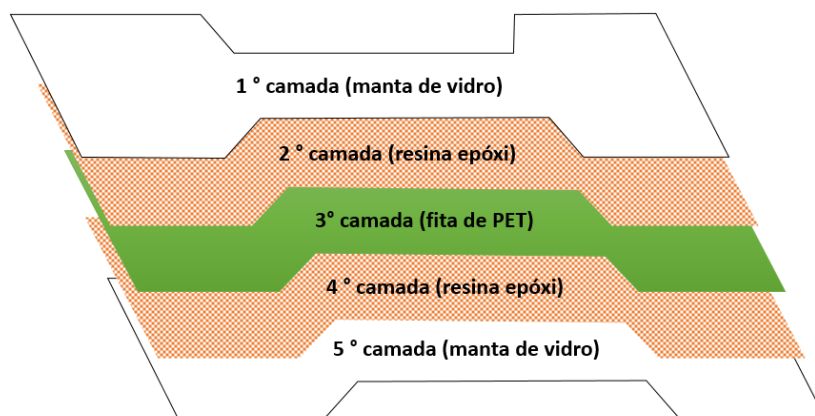
Fonte: Autor (2023).

Após a confecção da manta base foram preparadas duas medidas de resina com catalisador, sendo a proporção de 100:1. As proporções foram pesadas em uma balança do modelo SF-400 com capacidade máxima de 10 kg com a sensibilidade de 1 g foi pesado a mistura de resina e catalisador. como mostrados nas figuras 3 e 4 abaixo, a primeira porção foi de 130 g e a segunda foi de 174 g.

Foi aplicada a resina de poliéster com o catalisador na manta de fibra de vidro para que todas as fitas de PET fossem coladas umas nas outras.

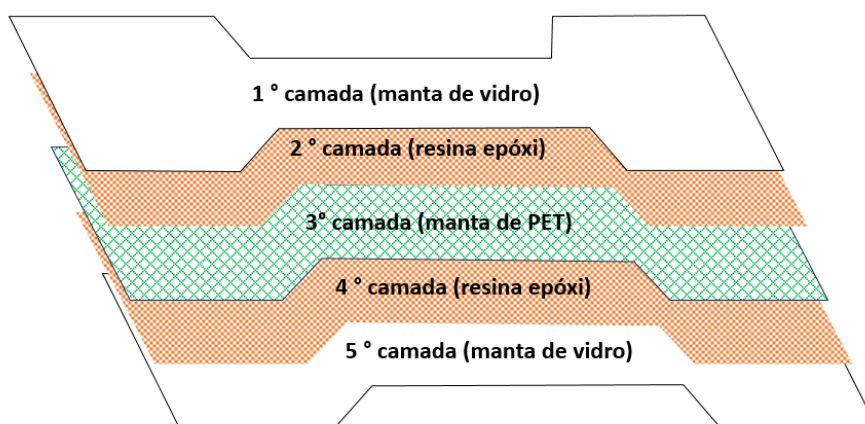
Na figura 3 e 4 será apresentado os croquis da disposição das camadas do compósito elaborado neste trabalho e o do compósito no qual está sendo comparado.

Figura 3 - Croqui da disposição das camadas de materiais do projeto desenvolvido.



Fonte: Autor (2023).

Figura 4 - Croqui da disposição das camadas de materiais do projeto de comparação.



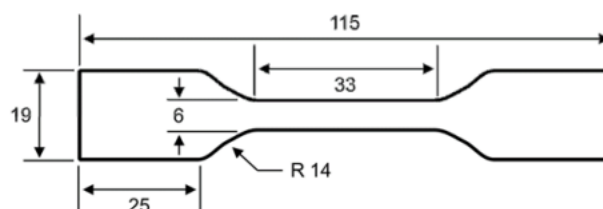
Fonte: Autor (2023).

O espalhamento e compactação das camadas foi realizada manualmente para evitar problemas no produto final. Esses problemas incluem criação de espaços sem materiais, ou seja, bolhas. O material foi presado até que ocorresse a cura da resina epóxi por completo.

4.1.1 Norma ASTM D 638-14

Após a secagem os corpos de prova foram cortados conforme a norma ASTM D 638-14 para os ensaios de tração e apresentado, na figura 5 um tipo de dimensionamento que é abordado pela norma.

Figura 5 - Dimensões (mm) para os corpos de prova para ensaio de tração.



Fonte: ASTM D 638-14.

A norma trás especificações para as medidas dos corpos de prova de acordo com a espessura do material. Tendo em vista que este trabalho está sendo comparado com artigo na mesma linha de estudo, seria necessário que os corpos de prova seguissem no mesmo dimensionamento para fins de comparação, sendo assim as amostras foram cortadas seguindo o padrão para 4 mm, o modelo IV. Abaixo na figura 6 é apresentado parte da norma na qual foi retirada os dimensionamentos para os corpos de prova.

Figura 6 - Parâmetro para os corpos de prova para ensaio de tração.

Dimensions (see drawings)	Specimen Dimensions for Thickness, T , mm (in.) ⁴					Tolerances
	7 (0.28) or under		Over 7 to 14 (0.28 to 0.55), incl		4 (0.16) or under	
	Type I	Type II	Type III	Type IV ^B	Type V ^{C,D}	
W—Width of narrow section ^{E,F}	13 (0.50)	6 (0.25)	19 (0.75)	6 (0.25)	3.18 (0.125)	±0.5 (±0.02) ^{B,C}
L—Length of narrow section	57 (2.25)	57 (2.25)	57 (2.25)	33 (1.30)	9.53 (0.375)	±0.5 (±0.02) ^C
WO—Width overall, min ^G	19 (0.75)	19 (0.75)	29 (1.13)	19 (0.75)	...	+ 6.4 (+ 0.25)
WO—Width overall, min ^G	...	...	...	...	9.53 (0.375)	+ 3.18 (+ 0.125)
LO—Length overall, min ^H	165 (6.5)	183 (7.2)	246 (9.7)	115 (4.5)	63.5 (2.5)	no max (no max)
G—Gage length ^I	50 (2.00)	50 (2.00)	50 (2.00)	...	7.62 (0.300)	±0.25 (±0.010) ^C
G—Gage length ^I	...	...	...	25 (1.00)	...	±0.13 (±0.005)
D—Distance between grips	115 (4.5)	135 (5.3)	115 (4.5)	65 (2.5) ^J	25.4 (1.0)	±5 (±0.2)
R—Radius of fillet	76 (3.00)	76 (3.00)	76 (3.00)	14 (0.56)	12.7 (0.5)	±1 (±0.04) ^C
RO—Outer radius (Type IV)	...	...	...	25 (1.00)	...	±1 (±0.04)

Fonte: ASTM D 638-14.

Na figura 7 e apresentado os corpos de provas cortados conforme o solicitado na norma mencionado.

Figura 7 - Corpos de prova.



Fonte: Autor (2023).

Antes da realização do ensaio, foram feitas as medidas de comprimento, largura, espessura e a massa de cada corpo de prova, dados obtidos são apresentados na tabela 1 abaixo:

Tabela 1 - Medidas dos corpos de prova para realização dos ensaios.

	Comprimento útil (mm)	Largura útil (mm)	Espessura (mm)	Massa (g)
Corpo de prova 1	115,3	19,1	5,10	7,32
Corpo de prova 2	115,4	18,5	5,10	6,68
Corpo de prova 3	115,6	19,5	5,10	8,35
Corpo de prova 4	114,5	18,9	5,00	7,78
Corpo de prova 5	115,1	19,4	5,05	7,16
Corpo de prova 6	114,8	18,6	5,10	7,37

Fonte: Autor (2023).

Os testes dos corpos de prova foram realizados em uma máquina de teste universal da marca TIME GROUP, disponível no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santos (IFES), Campus Vitória. Os ensaios tiveram como parâmetros de testes:

Tabela 2 - Parâmetros utilizados para os testes de tração.

Taxa de deformação	0,1 mm
Carga	1,0 KN
Velocidade	2 mm/min

Fonte: Autor (2023).

5. RESULTADOS

Após a realização dos ensaios de tração foram gerados dados nos quais com o auxílio do programa Excel. Os dados foram tratados e assim possibilitando a realizar análise de algumas informações importantes para o estudo abordado. Com o auxílio de uma balança foi realizado a pesagem de cada corpo de prova, sendo assim obtido a massa dos corpos de prova. Como os corpos de prova foram cortados conforme a norma citada acima, foi possível obter o volume. Abaixo será apresentado uma tabela 3 com a média da densidade de cada corpo de prova.

Tabela 3 - Dados da média da densidade de cada corpo de prova ensaiado.

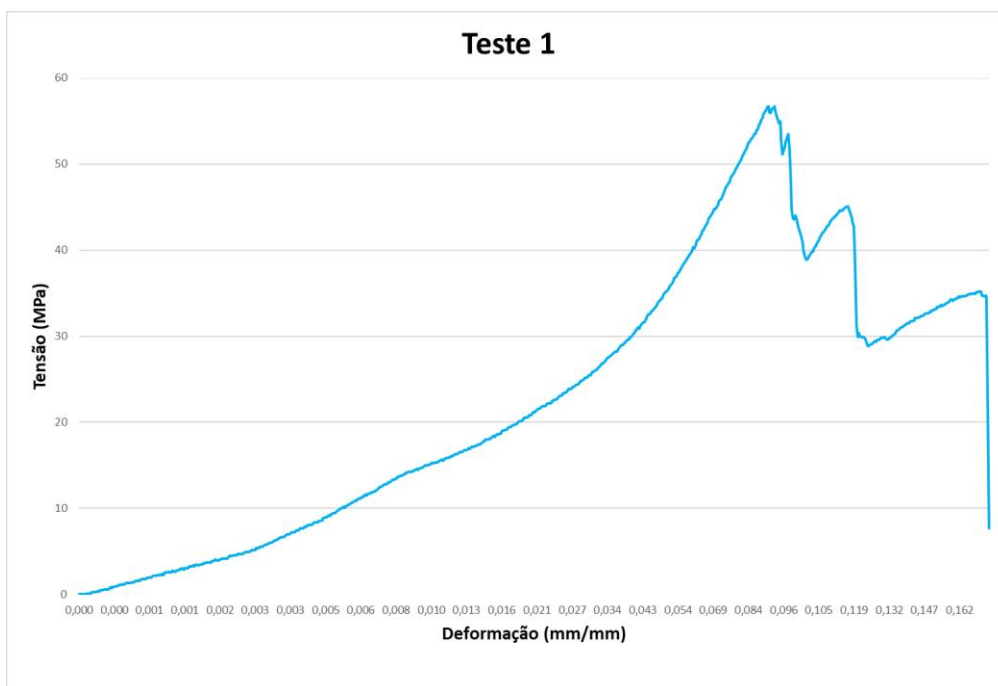
	Densidade (g/cm^3)
Corpo de prova 1	2,130 ± 0,001
Corpo de prova 2	1,950 ± 0,001
Corpo de prova 3	2,430 ± 0,001
Corpo de prova 4	2,310 ± 0,001
Corpo de prova 5	1,930 ± 0,001
Corpo de prova 6	2,150 ± 0,001

Fonte: Autor.

Com o banco de dados de cada teste e com o auxílio do Excel foram geradas as curvas de tensão por deformação para cada teste realizado, conforme apresentados abaixo. Sendo que o último gráfico se trata da junção de todos para poder ser visto como cada corpo de prova teve o seu comportamento de ruptura em relação ao outro.

Abaixo serão apresentados os gráficos obtidos após a realização do ensaio de tração nos corpos de prova. Na figura 8 e apresentado o gráfico do primeiro corpo de prova.

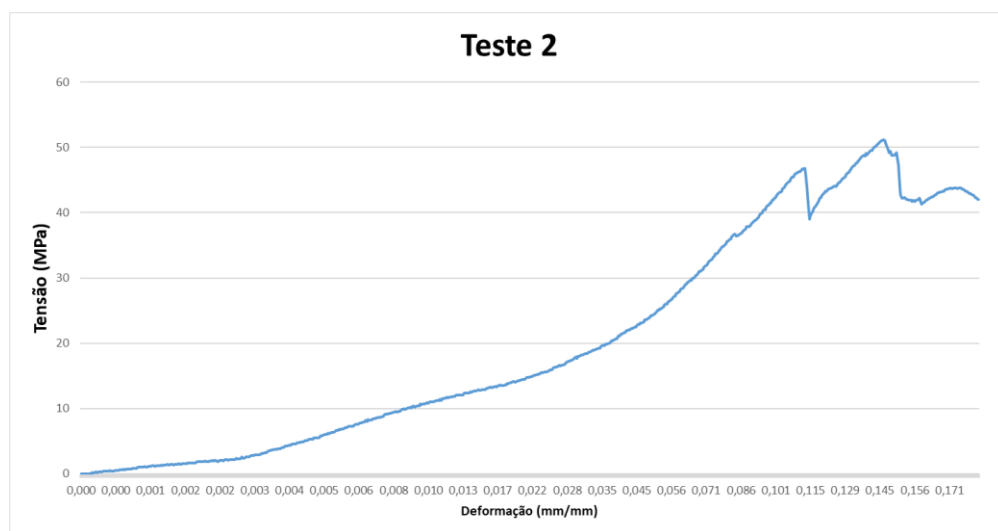
Figura 8 - Gráfico de tensão x deformação do corpo de prova 1.



Fonte: Autor (2023).

Na figura 9 e apresentado o gráfico do ensaio de tração do corpo de prova 2.

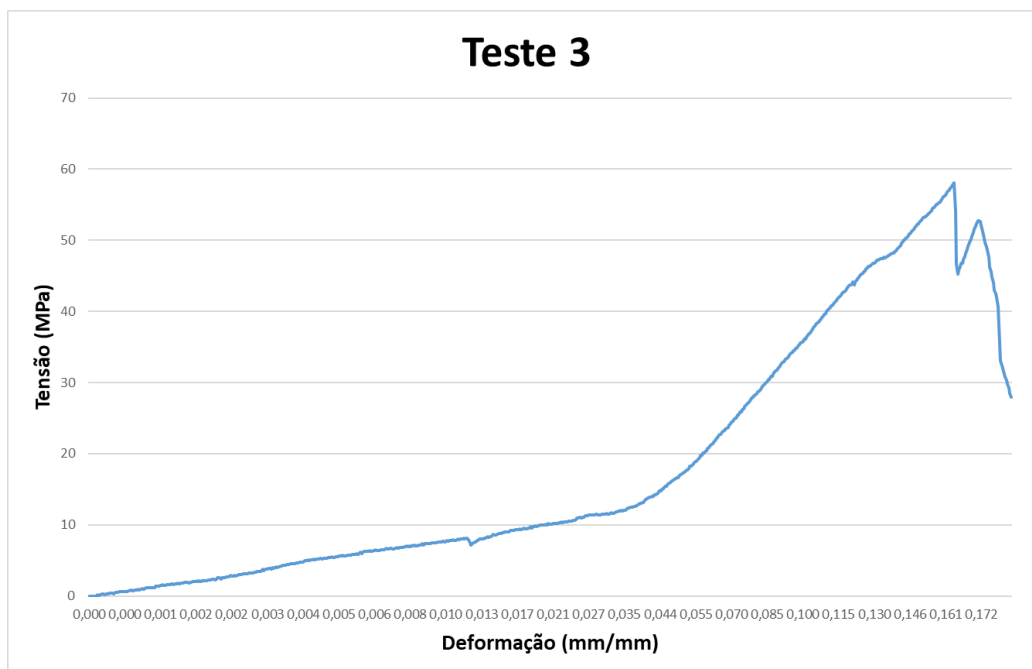
Figura 9 - Gráfico de tensão x deformação do corpo de prova 2.



Fonte: Autor (2023).

Figura 10 apresentado o gráfico referente ao corpo de prova 3.

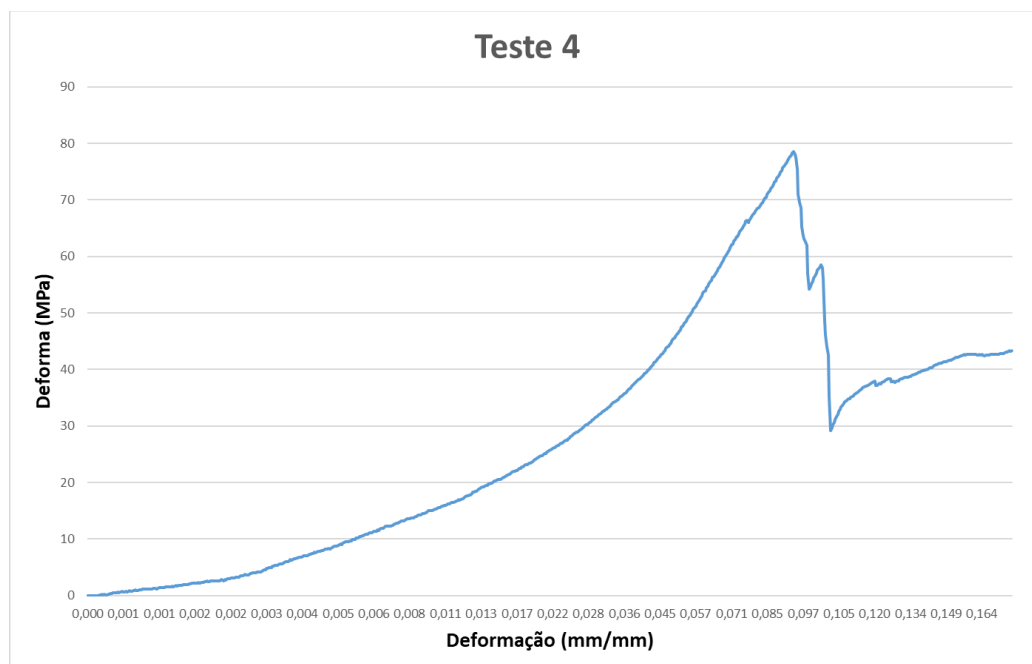
Figura 10 - Gráfico de tensão x deformação do corpo de prova 3.



Fonte: Autor (2023).

Tem-se abaixo na figura 11 é apresentado o gráfico do corpo de prova 4.

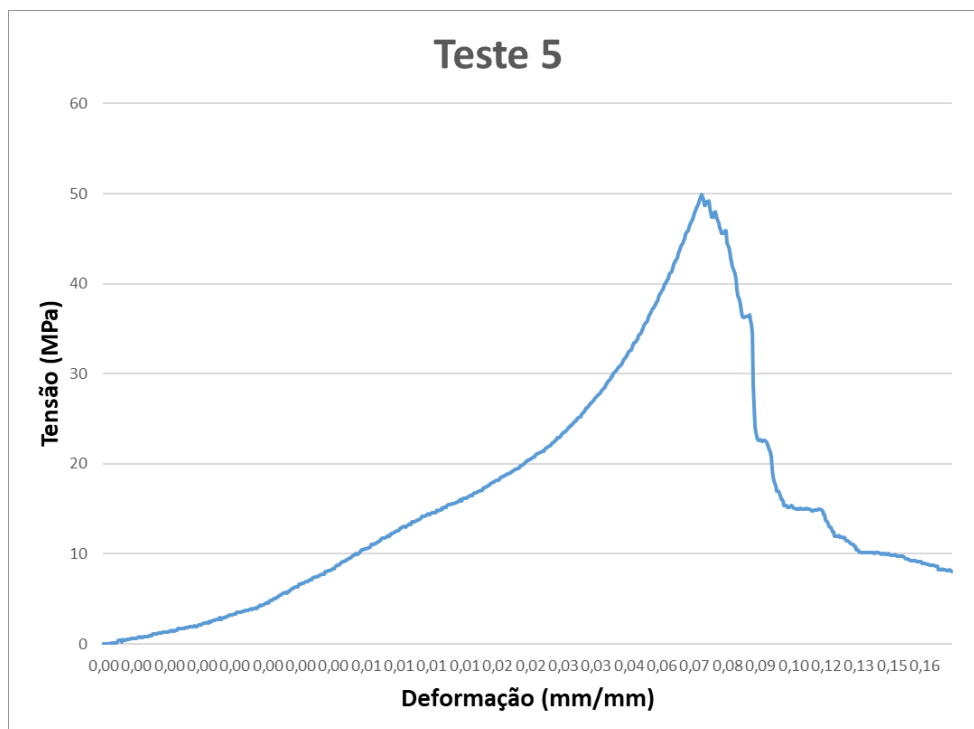
Figura 11 - Gráfico de tensão x deformação do corpo de prova 4.



Fonte: Autor (2023).

Figura 12 apresentado o gráfico referente ao corpo de prova 5.

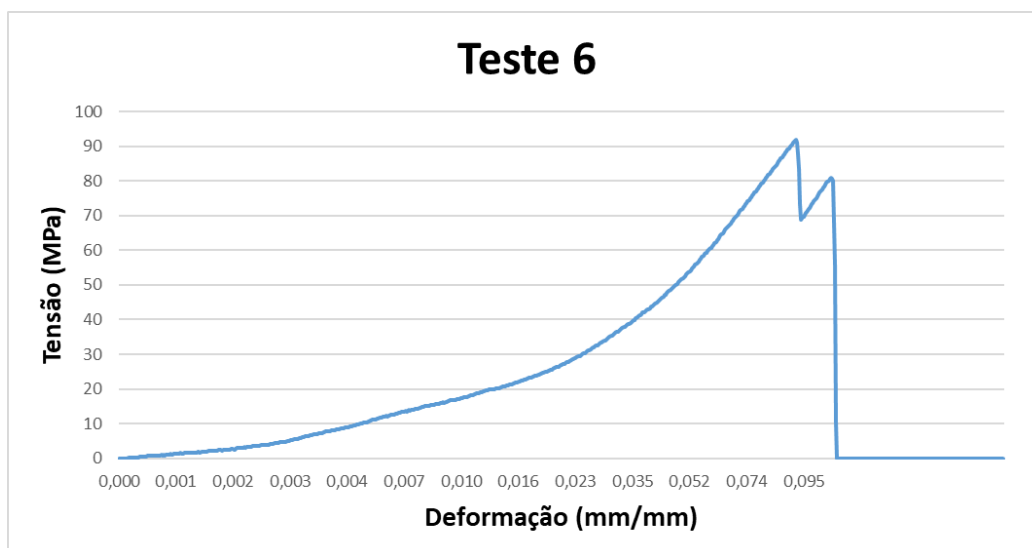
Figura 12 - Gráfico de tensão x deformação do corpo de prova 5.



Fonte: Autor (2023).

Abaixo na figura 13 e apresentado o gráfico do corpo de prova 6.

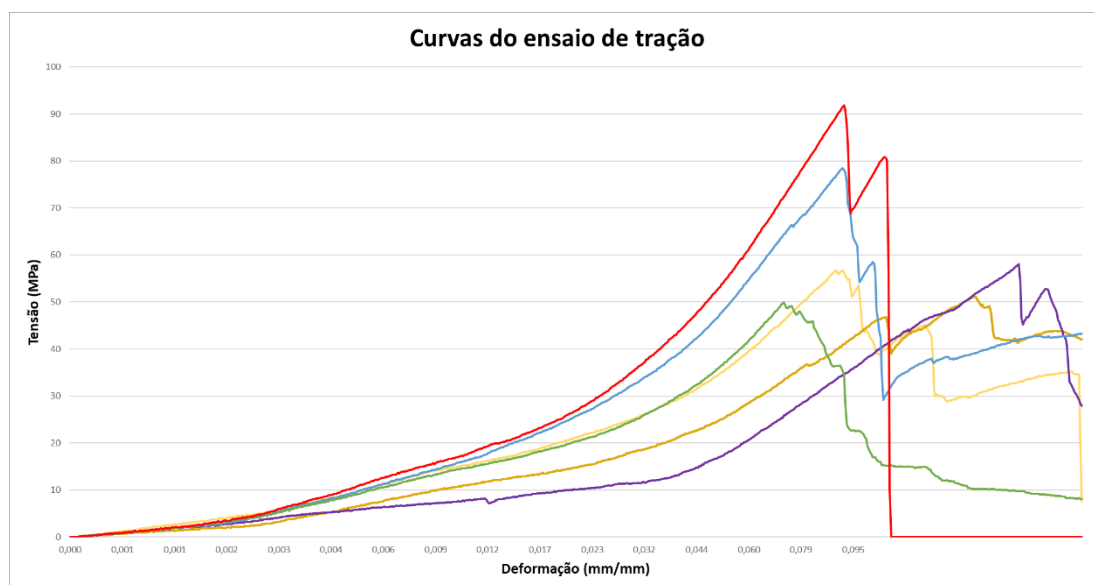
Figura 13 - Gráfico de tensão x deformação do corpo de prova 6.



Fonte: Autor (2023).

Para facilitar a comparação dos resultados dos ensaios foi realizado a junção dos gráficos como apresentado na figura 14, na figura 15 e apresentado as identificações das cores de cada teste.

Figura 14 - Gráfico curvas do ensaio de tração.



Fonte: Autor (2023).

Figura 15 - Cores do gráfico.

Legenda	
Corpo de prova 1	Amarelo
Corpo de prova 2	Marrom
Corpo de prova 3	Púrpura
Corpo de prova 4	Ciano
Corpo de prova 5	Verde
Corpo de prova 6	Vermelho

Fonte: Autor (2023).

O módulo de elasticidade, também conhecido como Módulo de Young é uma propriedade mecânica que relaciona a tensão e deformação na direção de carga aplicada em um material sólido no regime de elasticidade linear (FERRANTE, 2009).

Na tabela 4 apresentada a abaixo encontram-se os resultados do Módulo de Elasticidade obtido em cada corpo de prova, também foi calculado a média e o desvio padrão do conjunto de amostras.

Tabela 4 - Propriedade extraídas da curva de tensão x deformação.

	Corpo de prova 1	Corpo de prova 2	Corpo de prova 3	Corpo de prova 4	Corpo de prova 5	Corpo de prova 6	Média (GPa)	Desvio Padrão
Modulo de Elasticidade (GPa)	1,726	1,326	0,998	1,648	1,593	1,836	1,620	2,813
Resistência a Tração (MPa)	56,366	50,602	50,261	77,549	49,065	80,171	54,484	13,090

Fonte: Autor (2023).

A resistência a tração representa a tensão atingida quando o material se rompe. Esse fenômeno pode ser observado nos gráficos de 8 à 13 que foram apresentados no início do tópico, onde o mesmo apresenta a tensão máxima que o material suporta.

Para cada amostra ensaiada foi obtido um limite de resistência a tração diferente, isso se dá pelas amostras apresentarem aspectos diferentes, como a porosidade apresentada de modo diferente em cada corpo de prova. Foi de aspecto visível que algumas partes foram mais bem compactadas que outras. Os poros são grandes concentradores de tensão, logo o material tem mais facilidade em romper a onde possui o poro.

Os dados, sua média e desvio e dado são apresentados na tabela 4 na qual também se encontra a média e o desvio padrão do conjunto de amostras para a resistência a tração, pode ser visto que o material apresenta um limite de resistência com valores considerados comparado com os resultados obtidos do material que foi dotado como referência.

Na tabela 5 e apresentado alguns parâmetros já abordados pela densidade do material, pode ser observado que o material apresenta resultados significativos quando a sua densidade e levado em consideração.

Tabela 5 - Padronização mecânico com relação a densidade do material.

		Corpo de prova 1	Corpo de prova 2	Corpo de prova 3	Corpo de prova 4	Corpo de prova 5	Corpo de prova 6
Modo de Elasticidade/Densidade		0,810	0,622	0,468	0,773	0,748	0,862
Resistência a Tração/Densidade		2646,291	2375,680	2359,671	3640,798	2303,521	3764,272

Fonte: Autor.

Para fins de uma melhor análise de resultados foi realizado uma comparação com o compósito que está sendo abordado neste trabalho com um compósito que foi laminado e realizado o ensaio de tração, sendo a uma diferença o núcleo de PET no qual foi fabricado com fitas de garrafa PET entrelaçadas formado uma manta como núcleo.

Na tabela 6 que será apresentado em seguida, será abordado os dados que foram obtidos por meio de ensaios de tração no compósito que foi utilizado para fins de comparação, sendo o trabalho de ensaio de tração para verificar as propriedades mecânicas de um compósito de pet e fibra de vidro. Como mencionado anteriormente o compósito segue a mesma linha de fabricação tendo como diferença o seu núcleo que é formado por uma manta de e garrafa PET (COSME, 2016).

Tabela 6 - Dados do ensaio de tração no compósito com o núcleo de manta de PET.

	Corpo de prova 1	Corpo de prova 2	Corpo de prova 3	Corpo de prova 4	Corpo de prova 5	Corpo de prova 6	Média	Desvio Padrão
Módulo de Elasticidade (GPa)	60,815	68,877	83,565	77,622	40,925	70,457	67,0435	14,9723
Resistência a Tração (MPa)	36,56	26,76	29,50	20,71	37,62	34,46	30,93	5,94

Fonte: Ensaio de tração para verificar as propriedades mecânicas de um compósito de pet e fibra de vidro.

Na figura 16 e apresentado a tabela com o resultado do módulo de elasticidade dos corpos de prova que foi realizado e o resultado do trabalho que está sendo

comparado. Os resultados apresentados para o módulo de elasticidade no trabalho, são valores bem altos por tratar-se de um compósito de polímero, porém o trabalho não informa o motivo do resultado com valores altos, uma possibilidade levantada e que a máquina na qual foi realizado o ensaio de tração estava descalibrada.

Figura 16 – Resultados da comparação do módulo de elasticidade (GPa) entre o trabalho realizado e o compósito.

	Corpo de prova 1	Corpo de prova 2	Corpo de prova 3	Corpo de prova 4	Corpo de prova 5	Corpo de prova 6	Média (GPa)	Desvio Padrão
Trabalho realizado	1,726	1,326	0,998	1,648	1,593	1,836	1,620	2,813
Trabalho comparado	60,815	68,877	83,565	77,622	40,925	70,457	67,043	14,972
Variação (%)	59,089	67,551	82,567	75,794	39,332	68,621	65,423	12,159

Fonte: Autor.

Assim como o módulo de elasticidade, também foi comparado a resistência a tração dos corpos de prova do trabalho realizado com o trabalho comparativo, como apresentado na figura 17.

Figura 17 - Resultados da comparação de resistência a tração (MPa) entre o trabalho realizado e o de comparação.

	Corpo de prova 1	Corpo de prova 2	Corpo de prova 3	Corpo de prova 4	Corpo de prova 5	Corpo de prova 6	Média	Desvio Padrão
Trabalho realizado	56,366	50,602	50,261	77,549	49,065	80,171	54,484	13,090
Trabalho comparado	36,56	26,76	29,50	20,71	37,62	34,46	30,93	5,94
Variação (%)	19,806	23,482	20,761	56,839	11,445	45,711	23,554	7,15

Fonte: Autor.

Essa diferença nos resultados sugere que o uso de fita de PET como núcleo nos corpos de prova proporcionou maior resistência e rigidez aos materiais testados. A fita de PET pode ter propriedades físicas e mecânicas superiores à manta de PET, o que explica a diferença nos resultados. Portanto, o uso de fita de PET como núcleo parece ser mais eficiente para aumentar a resistência e rigidez dos materiais.

Já a Resistência a Tração foi maior nos corpos de prova feitos com a fita de PET, mostrando que possui uma resistência a tração maior do que os corpos de prova que possuem a manta de PET como núcleo. A maior densidade e esta propriedade está ligada diretamente na capacidade do corpo de prova de receber uma carga e conseguir resistir até o seu rompimento.

6. CONCLUSÃO

Apesar dos corpos de prova apresentam alguns aspectos que ainda precisam ser melhorados como, por exemplo a porosidade, os testes apresentaram resultados satisfatórios, boas propriedades mecânicas possibilitando um leque de aplicações.

Após a analisar os resultados obtidos com os ensaios de tração para os corpos de prova nos quais tinha como núcleo a fita de PET e comparando com os corpos de prova que tinha como núcleo a mata de garrafa PET, pode ser visto que os resultados para a fita foram melhores, pois ela apresentou um Limite de Resistência a Tração maior mostrando que o material tem a capacidade de resistir mais antes que a sua quebra ocorra.

O módulo de elasticidade apresentou resultados satisfatórios como o esperado. Pode ser observado que somente um corpo de prova mostrou resultado não satisfatórios, pois o mesmo teve o rompimento da manta de vidro, sendo encerrado o teste. Já os restantes dos corpos foram submetidos até o rompimento do corpo de prova por completo. Analisado com a amostra na qual tem o núcleo com a manta de PET os resultados foram superiores demonstrando uma maior área de ruptura.

O compósito pode substituir alguns materiais como a madeira em confecção de móveis, em aeromodelos, na construção civil onde podem ser utilizadas para construção de paredes auxiliares em casa ou até mesmo telhas para telhados. O material mostra-se uma ótima opção tanto no quesito sustentabilidade quanto custo/benefício no processo produtivo.

Para trabalhos futuros recomenda-se que o processo de fabricação seja realizado em um ambiente controlado, evitando ao máximo a criação de poros na laminação do compósito. Outro ponto que pode ser abordado e a propriedades térmicas do compósito, verificar como ele se comporta em altas e baixas temperaturas.

REFERÊNCIAS

CALEGARIO, Eliana; OLIVEIRA, Branca. Compósitos a partir de materiais de fontes renováveis como alternativa para o desenvolvimento de produtos. **Sustentabilidade em debate**, [S. l.], p. 16. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10183/142321>, 22 jun. 2023.

Acesso em: 01/06/2023

CARVALHO, Azambuja az *et al.* 3.5.1. Simulação numérica para análise de deflexões e tensões em placas finas de aço e de materiais compósitos submetidas a esforços de flexão. **SCIENTIA PLENA**, [S. l.], p. 6, 2019. Disponível em: https://capes-primo.ez120.periodicos.capes.gov.br/primo-explore/fulldisplay?docid=TN_cdi_crossref_primary_10_14808_sci_plena_2019_049916&context=PC&vid=CAPES_V3&lang=pt_BR&search_scope=default_scope&adaptor=primo_central_multiple_fe&tab=default_tab&query=any,contains,materiais%20compositos&offset=0. Acesso em: 28 dez. 2022.

COSME, Caio; MELOTI, Jamille; AZEREDO, Maryana; FRAISLEBEM, Rafael. **Ensaio de tração para verificar as propriedades mecânicas de um compósito de pet e fibra de vidro**. COBEM, [S. l.], p. 1-6, 2 jul. 2023

FERRANTE, Maurizio. **Seleção de Materiais**. São Carlos. 2. ed. [S. l.]: Edufscar, 2009. 286 p.

FERREIRA, Roberta. **RECICLAGEM DE GARRAFAS PET NA INDÚSTRIA TÊXTIL**. 2016. 54 f. FACULDADE DE TECNOLOGIA DE AMERICANA, [S. l.], 2016. Disponível em: http://ric-cps.eastus2.cloudapp.azure.com/bitstream/123456789/383/1/20161S_FERREIRA_RobertaSantos_CD2616.pdf. Acesso em: 21 nov. 2023.

GARCIA, Amauri *et al.* **Ensaio dos Materiais**. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 247p.

GUELBERT, T. F.; GUELBERT, M.; MACLOVIA, C.; LESZCZYNSKI, S. A. C.; GUERRA, J. C. C. A embalagem PET e a reciclagem: uma visão econômica sustentável para o planeta. In: **XXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Foz do Iguaçu, PR: ENEGEP, 2007.

LOSEKANN, Marcelo. **Estudo numérico das tensões térmicas em placas planas de compósito tipo sanduíche**. 2017. 1 f. Monografia (Pós-graduação) - Universidade Estadual de Maringá, [S. l.], 2017. Disponível em: <http://repositorio.uem.br:8080/jspui/handle/1/5767>. Acesso em: 1 jun. 2023.

LIMA, Ramsés; MARTINS, Samuel. **Estudo comparativo das propriedades mecânicas de polímeros de impressão 3D e de plástico de engenharia utilizados em indústria**. Ciência e tecnologia, [S. l.], p. 1-11, 2022.

MANOEL, Botelho. **Resistência dos Materiais: Para Entender e Gostar**. São Paulo: Blucher, 2010. 236 p.

MATHEUS, Marco. **Fiberglass: Aprenda Fibra de Vidro**. Ribeirão Preto: [s. n.], 2002. 31 p.4

MULINARI, D. R.; ALVES, Â. M. G.; SALES, B. C.; CUNHA, B. C. Compósitos de poliuretano reforçados com fibra de sisal. **Cadernos UniFOA**, n. 1, p. 65-71. 2014.

SANTOS JUNIOR, J. B.; MACÊDO, L. A.; CORREA, M. C. F.; SANTOS, P. H.; NETO, W. M. J.; LEITE, M. S.; ARAUJO, P. J. P. Utilização de garrafas PET na confecção de tijolos. **Cadernos de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 1, n. 15, p. 59-66. 2012.

SIGNIFICADO de ductilidade. [S. l.]. Disponível em: <https://www.ecivilnet.com/dicionario/o-que-e-ductilidade.html>. Acesso em: 10 set. 2022.

SILVA, Larissa. AVALIAÇÃO DA DELAMINAÇÃO NA FURAÇÃO DE MATERIAIS COMPÓSITOS REFORÇADOS COM FIBRAS DE CARBONO. **SAEMPRO**, [S. l.], p. 3, 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufv.br/jcec/article/view/2446941603012017016>. Acesso em: 28 dez. 2022.

SOUZA, Gilberto. **Avaliação de critério de falhas de compósitos poliméricos reforçados aplicados a vigas sob carregamento de flexão**. 2003. 109 f. Dissertação (Mestre) - Universidade de São Paulo - USP, [S. l.], 2003. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18135/tde-10042017-130608/publico/Dissert_Souza_GilbertoP_corrigeida.pdf. Acesso em: 24 jun. 2023.