

## Avaliação do PETG para utilização em embarcações transparentes

*Mauricio Quelhas Antolin<sup>1</sup>*

*Gisele Duarte Caboclo Antolin<sup>2</sup>*

*Paula de Castro Brasil<sup>2</sup>*

*Marcelo Musci Zaib<sup>2</sup>*

*Giancarlo Cordeiro da Costa<sup>2</sup>*

*José Vinicius Azevedo da Silva<sup>2</sup>*

**Resumo:** A impressão 3d tem sido utilizada nos mais diversos setores, empregando uma vasta variabilidade de materiais. Um dos materiais mais utilizados nesta técnica, é o Polietileno Tereftalato Glicol (PETG), um polímero que possui alta transparência. Em virtude desta propriedade, este trabalho pretende avaliar a possibilidade de utilização do PETG na fabricação de protótipos dos chamados “clear boats”, que consistem em embarcações de pequeno porte, transparentes, que tem sido utilizada em países tropicais, para aumentar a interação de passageiros com a natureza. Os resultados demonstram que a fabricação destes protótipos é viável, uma vez que o material apresentou as características requeridas para esta aplicação (elevada transparência e resistência mecânica). Além disto, foram realizadas simulações computacionais utilizando o Método de Elementos Finitos (MEF), que mostrou que a embarcação é capaz de resistir aos carregamentos estáticos e dinâmicos a que estas embarcações normalmente estão sujeitas.

Palavras-chaves: Simulação computacional; Impressão 3D; Clear Boat

## PETG evaluation for use in transparent vessels

**Abstract:** 3d printing has been used in the most diverse sectors, using a wide variety of materials. One of the most used materials in this technique is the Polyethylene Terephthalate Glycol (PETG), a polymer that has high transparency. Due to this property, this work intends to evaluate the possibility of using PETG in the manufacture of prototypes of the so-called “clear boats”, which consist of small, transparent vessels, which have been used in tropical countries, to increase passenger interaction with nature. The results demonstrate that the manufacture of these prototypes is feasible, since the material presented the required characteristics for this application (high transparency and mechanical resistance). In addition, computer simulations were carried out using the Finite Element Method (FEM), which showed that the vessel is capable of withstanding the static and dynamic loads to which these vessels are normally subject.

Keywords: Computer simulation; 3D printing; clean boat

1 Universidade do Estado do Rio de Janeiro, e-mail: <[mauricioantolin@uezo.edu.br](mailto:mauricioantolin@uezo.edu.br)> <<http://orcid.org/0000-0002-1887-1694>>.

2 Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

## INTRODUÇÃO

O setor naval brasileiro vem crescendo cada dia mais na área de embarcações de pequeno porte. Com 75% das embarcações sendo modelos de até 26 pés, o Brasil se aproxima de alcançar o principal mercado náutico do mundo, os Estados Unidos, onde 95% de sua frota é constituída de barcos de pequeno porte (SPNP, 2022).

Os materiais utilizados na construção de embarcações de pequeno porte vem sendo alvo de novas tecnologias e estudos, o que vem alterando a gama de materiais disponíveis no mercado. Desta forma, se em tempos passados existia uma predominância de embarcações feitas de madeira e aço, com o passar do tempo foi se mostrando novos materiais tecnológicos capazes de atender as exigências do mercado.

Por volta da década de 90, foi patenteado nos Estados Unidos, a embarcação do tipo clear boat, que é uma embarcação feita totalmente com material transparente, proporcionando aos tripulantes da embarcação uma melhor visualização e interação com sistemas marinhos (RHENEY, et al., 1991).

Ademais, conforme apontado por Oliveira (2007), a atividade turística tem crescido de forma abrupta em áreas naturais nos últimos anos, o que pode acarretar inúmeros impactos ambientais. O estudo das relações entre o desenvolvimento turístico e sustentabilidade ambiental visa a compreensão do processo evolutivo do turismo e as questões ambientais decorrentes desta prática. Desta forma, a utilização de embarcações transparentes poderia melhorar inúmeras questões relacionadas ao ecoturismo, uma vez que permite maior interação dos turistas com as espécies marinhas de uma forma interativa e menos agressiva.

Contudo, a despeito da sua grande potencialidade, estas embarcações ainda não são muito utilizadas fora do México. Desta forma, temos a possibilidade de novos estudos desta tecnologia para outros países, como o Brasil, que tem uma grande demanda de visitantes e turistas pelo seu litoral.

Nestas embarcações, o material comumente utilizado é o acrílico ou policarbonato, devido às suas características mecânicas e ópticas (SENAVIRATHNA, et al., 2022; RHENEY, 1991.). No entanto, dada a vasta gama de materiais poliméricos disponíveis no mercado, é possível se propor outros materiais para esta aplicação.

O Polietileno Tereftalato Glicol mais conhecido como PTEG, é um termoplástico adaptado do famoso plástico PET, porém esse material é mais resistente, durável e indicado para aplicações de altas temperaturas sem perder suas propriedades mecânicas e características ópticas. A adição do Glicol durante o processo de polimerização, resulta em um material mais transparente (devido à sua baixa cristalinidade), rígido e é mais fácil de ser trabalhado que o PET convencional (SANTANA, et al., 2018; DURALEK, et al., 2019).

Por ter ótimas características, o PTEG é utilizado em variados setores da engenharia e outros, sendo utilizado em projetos em que necessite ser parafusado, exposto ao calor de maneira que não fique esbranquiçado nem quebradiço, pode ser utilizado em proteção de máquinas, equipamentos de segurança industrial como máscaras, produtos médicos e farmacêuticos, equipamentos de refrigeração, moldagem e protótipos industriais, impressão 3d entre outras. Além disso, por ser um material termoplástico, após a formação, pode ser fundido e novamente reprocessado, o que atende ao quesito da sustentabilidade (SANTOS, et al., 2018).

Além disto, este material é um dos mais utilizados na impressão 3d, em diversos setores da indústria. Isto faz com que este material emergja como um forte candidato para esta aplicação.

Somado a isto, é reportado na literatura que placas de PETG possuem resistência ao impacto até 20 vezes maior que placas de acrílico de mesma espessura (HUNG, 2017). E em relação ao policarbonato é

importante destacar que as temperaturas utilizadas para a extrusão do PETG são significativamente menores, o que facilita seu processo de fabricação via impressão 3d.

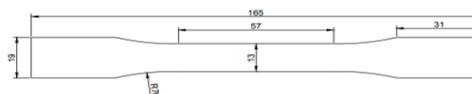
Desta forma, visto que, passados mais de trinta anos do depósito da patente, não foram encontradas nas principais bases de dados científicos (*Scopus e Science direct*) nenhuma pesquisa voltada para encontrar novos materiais para esta aplicação e dada a crescente evolução experimentada pelos materiais poliméricos neste período, o objetivo deste trabalho foi propor e avaliar a aplicabilidade do PETG no design de embarcações do tipo “clear boat”.

## METODOLOGIA

Para este trabalho foram confeccionados corpos de prova para a realização de ensaios de tração, com as medidas especificadas na Figura 1. Os corpos de prova utilizados neste estudo foram projetados no software autocad, de acordo com a norma ASTM D638 (tipo I) e posteriormente enviados para a impressora 3d.

Os corpos de prova usados neste trabalho foram fabricados via impressão 3d utilizando como material o PETG, com diferentes parâmetros de preenchimento), utilizando a técnica FDM em uma impressora GTmax 3D modelo H5, aliado ao fatiador simplify 3D. Em resumo, esse modo de impressão 3D derrete um filamento do material escolhido, que no caso desse projeto foi o PETG, e o coloca sobre uma mesa aquecida no formato do arquivo de CAD que foi enviado a impressora (SZYKIEDANS, et al., 2017). Esse filamento derretido vai sendo colocado camada por camada, até que se chegue ao objeto final. Os parâmetros utilizados para impressão destas peças foram: velocidade de extrusão: 90 mm/s, temperatura de extrusão: 250°C e preenchimento: variado de 0%, 20%, 40%, 60%, 80% e 100%. A figura 2 mostra uma imagem de alguns destes corpos de prova.

Figura 1. Desenho em CAD da amostra para ensaio de tração.



Fonte: Os autores (2022)

Figura 2. Corpos de prova de PETG impressos em 3d.



Fonte: Os autores (2022)

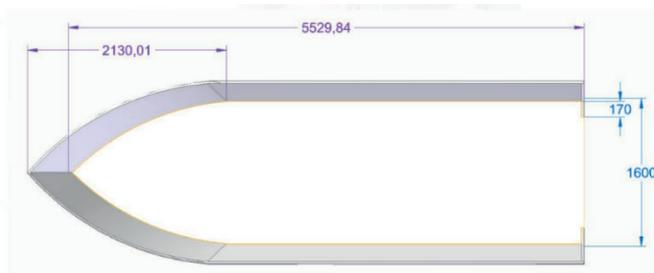
Os ensaios de tração foram realizados pela TECPOL do Instituto Politécnico do Estado do Rio de Janeiro (IPRJ) seguindo a norma ASTM D638 (tipo I) com velocidade de teste de 5mm/min.

Além disso, foram fabricadas via impressão 3d, placas retangulares com as seguintes medidas: (largura

x comprimento x espessura) 25x75x1 mm, para a realização de análises de fotoespectroscopia. As medidas de fotoespectroscopia foram realizadas em um equipamento modelo Cary 5000, da Varian, pertencente ao Instituto Militar de Engenharia (IME).

Para a etapa de simulação computacional, foi obtido o desenho da embarcação no Software Solid Edge Student, que foi posteriormente importado para o software de processamento FEMAP (*Finite Element Analysis*), conforme mostra a figura 3, onde as propriedades do mesmo, tal como o material que compõe a estrutura (PTEG), as suas dimensões e as forças atuantes no sistema foram inseridas. Em relação as forças atuantes neste sistema foram utilizadas um peso de 3430 N, que corresponderia ao peso de 5 tripulantes na embarcação, com 70 kg cada, além do motor, com peso igual a 490 N. Por último, foram realizados no FEMAP a análise estática, a análise dos modos de vibração do sistema e testes de convergência para determinação da frequência de oscilação do sistema.

Figura 3. Desenho em AUTOCAD da embarcação (cotas em mm).

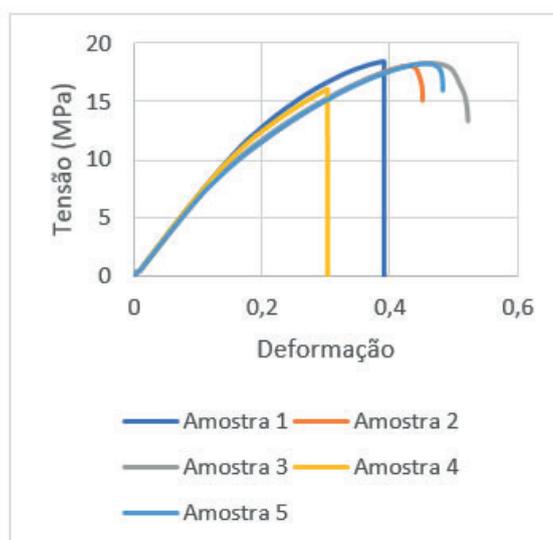


Fonte: Os autores (2022)

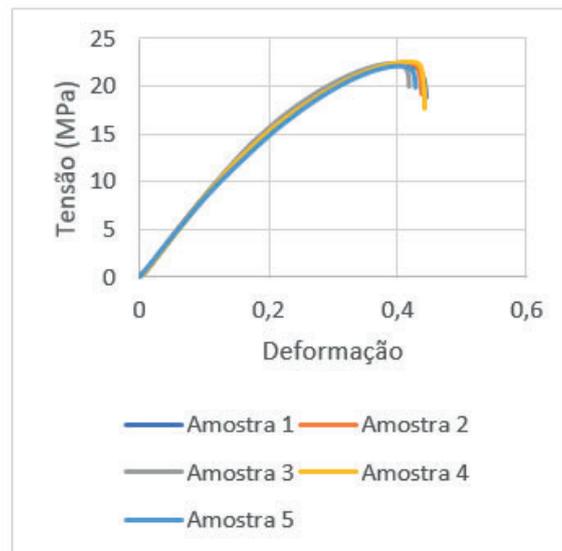
## RESULTADOS

A partir dos ensaios de tração foram obtidos os gráficos das figuras 4, que mostram os resultados obtidos para os corpos de prova com diferentes tipos de preenchimento (0 a 100%). Estes resultados aparecem sumarizados na Tabela 1:

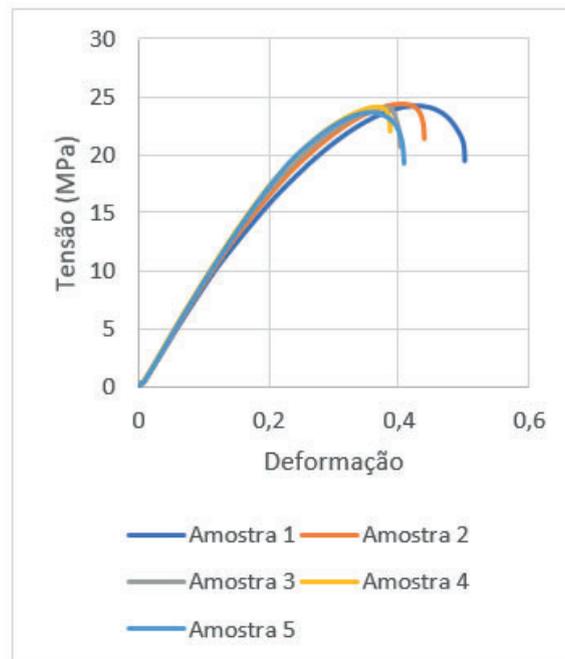
Figura 4. Gráficos obtidos via ensaio de tração.



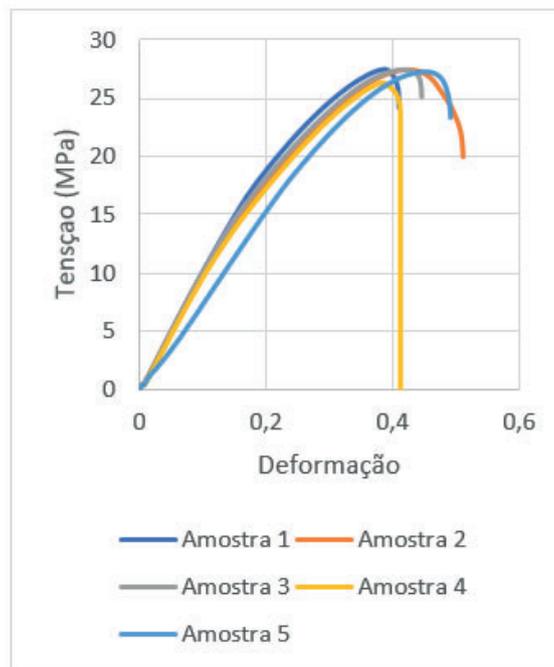
(a) Amostras com 0% de preenchimento



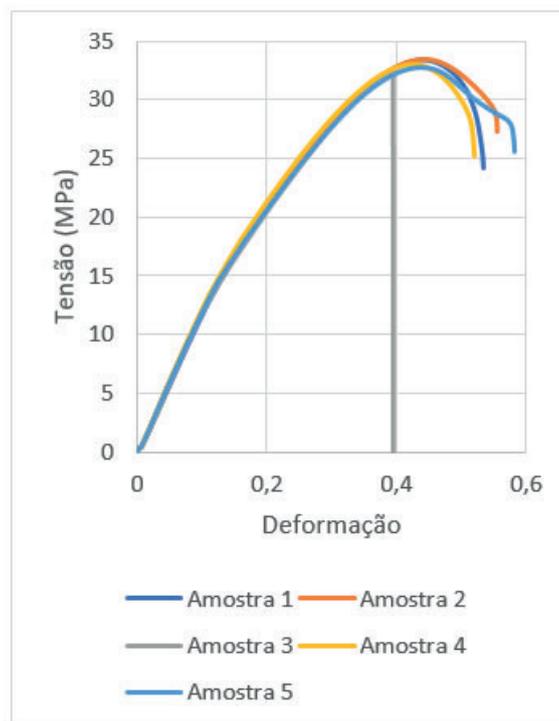
(b) Amostras com 20% de preenchimento



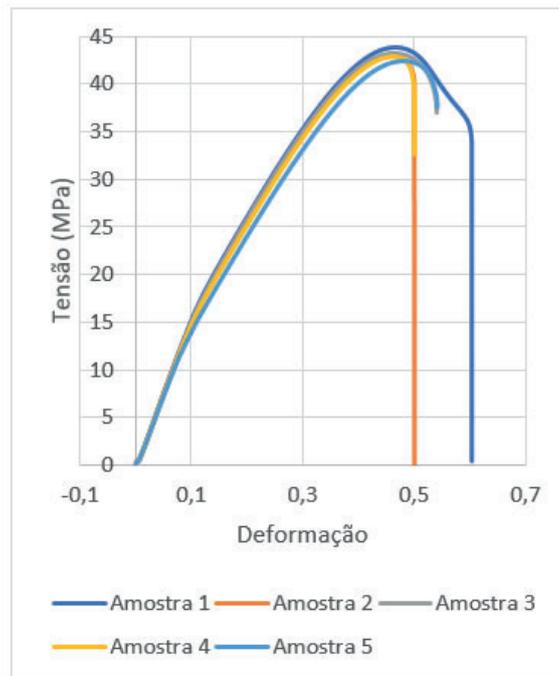
(c) amostras com 40% de preenchimento



(d) amostras com 60% de preenchimento



(e) amostras com 80% de preenchimento



(f) amostras com 100% de preenchimento  
 Fonte: Os autores (2022)

Tabela 1. Resultados obtidos no ensaio de tração.

Preenchimento.	$\sigma_e$ (MPa)	E (GPa)	$\sigma_{max}$ (MPa)
0%	16,35	6,80	18,09
20%	28,46	8,26	21,68
40%	19,57	8,70	23,90
60%	22,98	9,10	27,10
80%	32,14	11,60	22,04
100%	41,98	12,60	42,58

Fonte: Os autores (2022)

Conforme pode ser observado, os valores de tensão de escoamento, o módulo de elasticidade e de tensão máxima foram crescendo gradativamente ao aumentar o preenchimento da amostra, o que está em concordância com os resultados da literatura (PIROG, et al., 2021). Esse fato ocorre porque ao aumentarmos o preenchimento da amostra, aumentamos a resistência mecânica mediante aos esforços aplicados, isto ocorre porque quanto maior o preenchimento, maior é a quantidade de material utilizada na impressão do material, o que aumenta a sua massa e consequentemente a sua resistência mecânica (KUMAR, et al., 2021).

Comparando os valores encontrados neste trabalho, com os valores reportados por Kumar et al. (2021), que usaram em seu trabalho temperatura de extrusão de , e variaram o preenchimento das amostras de 25 a 100%, observamos que os autores encontraram resultados próximos aos encontrados em nosso trabalho, o que garante que em termos de resistência mecânica, os parâmetros utilizados neste trabalho são adequados.

A influência da temperatura de extrusão na resistência mecânica de peça fabricadas por impressão 3d

foi analisada por Zekavat, et al. (2018), que estudou o efeito da temperatura de impressão em peças fabricadas via FDM através de tomografia computadorizada. Zekavat, et al. (2018) observou que, as peças impressas em temperaturas mais baixas tinham maiores lacunas de ar, o que provocou uma diminuição de sua resistência. Isso significa que, para peças mais resistentes, as temperaturas de impressão mais altas são ideais.

A análise dos gráficos da Figura 4 também nos permite observar que é notório o efeito do aumento do preenchimento no aumento da ductilidade das amostras. De acordo com Sousa (2002), o aumento da porcentagem de preenchimento gera uma maior capacidade de deformação, devido a maior aderência entre as camadas. Fernandez-Vicente, et al. (2016), correlacionaram esta característica a capacidade das fibras de preenchimento de se deformar e absorver o estresse antes a uma ruptura nas ligações entre as diferentes fibras aumenta à medida que a densidade também aumenta.

## ANÁLISE DE SUPERFÍCIE DE FRATURAS

Nas figuras 5 aparecem dispostas as análises de fratura para as amostras de 0 e 100%. Analisando as imagens podemos observar que elas apresentam uma fratura dúctil, isso concorda com os resultados obtidos nos ensaios de tração que revelam o caráter dúctil das amostras. Conforme apontado por Benjamin (2018) na maioria dos polímeros termoplásticos costuma ser observada fratura dúctil, isto se deve a reorientação e alongamento das macromoléculas semelhantes a fios que permitem alta deformação no material.

Figura 5. Superfície de fratura das amostras (a) de 0% de preenchimento e (b) de 80% de preenchimento.



Figura (a)

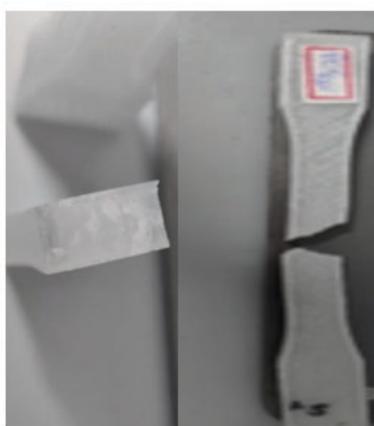


Figura (b) Fonte: Os autores (2022)

## CARACTERIZAÇÃO ÓPTICA DAS AMOSTRAS

Conforme apresentado no gráfico da figura 6, podemos observar que a amostra que obteve maior transparência foi a que possuía 80% de preenchimento. Tal resultado foi surpreendente, tendo em vista que o que era esperado era que a maior transparência seria encontrada na amostra com menor preenchimento. Contudo ZUBEL et al., (2016), identificaram que tanto valores muito altos e muito baixos de preenchimento resultavam na redução de transparência das peças. Os autores justificaram os resultados citando que quando a taxa de preenchimento era muito baixa, não havia material suficiente depositado pelo para preencher todo o volume de impressão exigido. E quando a taxa de preenchimento era muito alta, o preenchimento causava excesso de material nas paredes do objeto, prejudicando a precisão dimensional e dificultando a operação da impressora.

É reportado na literatura, valores de transparência entre 73 e 92%, que variam em função das condições de processamento do material. À despeito disto, neste trabalho encontramos valores mais baixos de transparência para todos os valores de preenchimento utilizados (Santana et al. 2018; Focke et al., 2019), o que mostra que o processamento e pós processamento das amostras devem ser ajustados de forma a gerar melhores resultados desta propriedade.

Existem várias técnicas que geram um aumento da transparência das amostras de PETG. Durante o processamento, é usual a redução da velocidade de impressão e redução da altura da camada, o controle do vazio entre as camadas e a temperatura de extrusão (PEREIRA, 2018).

De acordo com ZUBEL, et al. (2016), a redução da velocidade de impressão está ligada à taxa de transferência de calor do bico para a amostra. Quando a velocidade de impressão é baixa, as áreas adjacentes ao filamento que está sendo depositado têm mais tempo para aquecer, o que melhora a fusão dos filamentos adjacentes, minimizando a formação de vazios na peça.

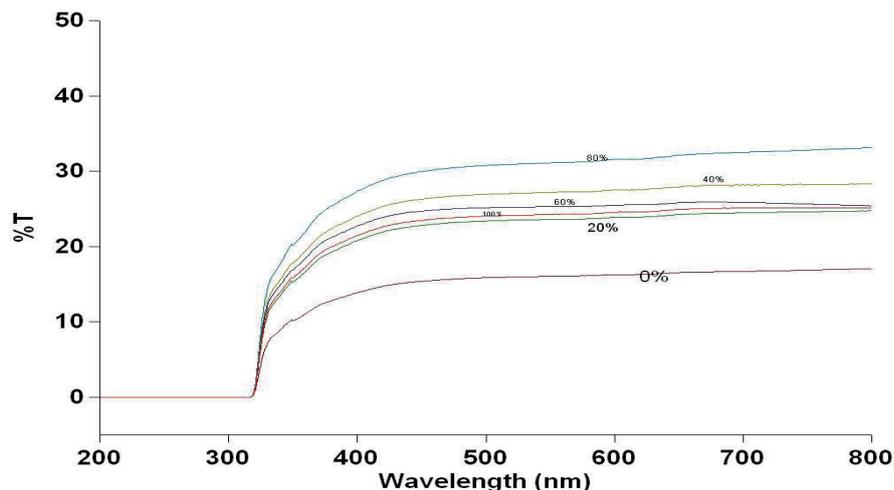
Em relação a quantidade de vazios, estes diminuem a transparência das peças, através da redução da homogeneidade do material, causando espalhamento da luz (PEREIRA, 2018)

Após a fabricação, pode-se realizar tratamentos com reagentes químicos específicos de forma a melhorar as propriedades ópticas das amostras (PETROV, et al., 2021).

Desta forma, faz-se necessário que para aplicações que envolvam elevada transparência, uma das rotas acima seja adota, de forma a obtermos melhores resultados para a transparência das amostras.

Comparando os resultados da tabela 1 com os resultados de transmitância mostrados na figura 6, pode-se dizer que o corpo de prova que se mostrou mais eficiente foi o com 80% de preenchimento. Tendo em vista que tal amostra conta com o maior nível de transparência e um dos maiores valores de resistência.

Figura 6. Gráfico de transmitância das amostras

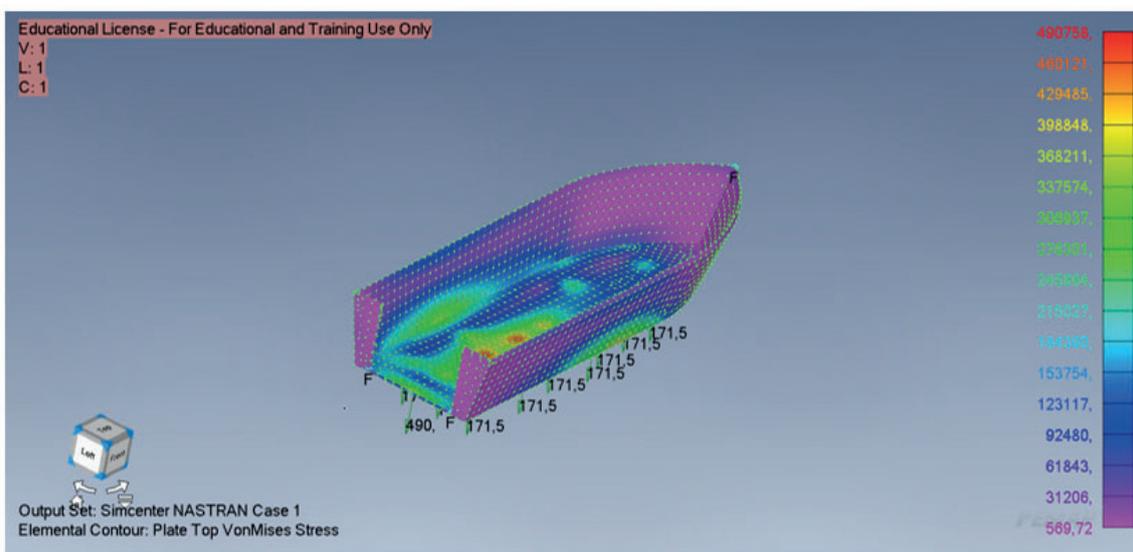


Fonte: Os autores (2022)

## SIMULAÇÕES COMPUTACIONAIS

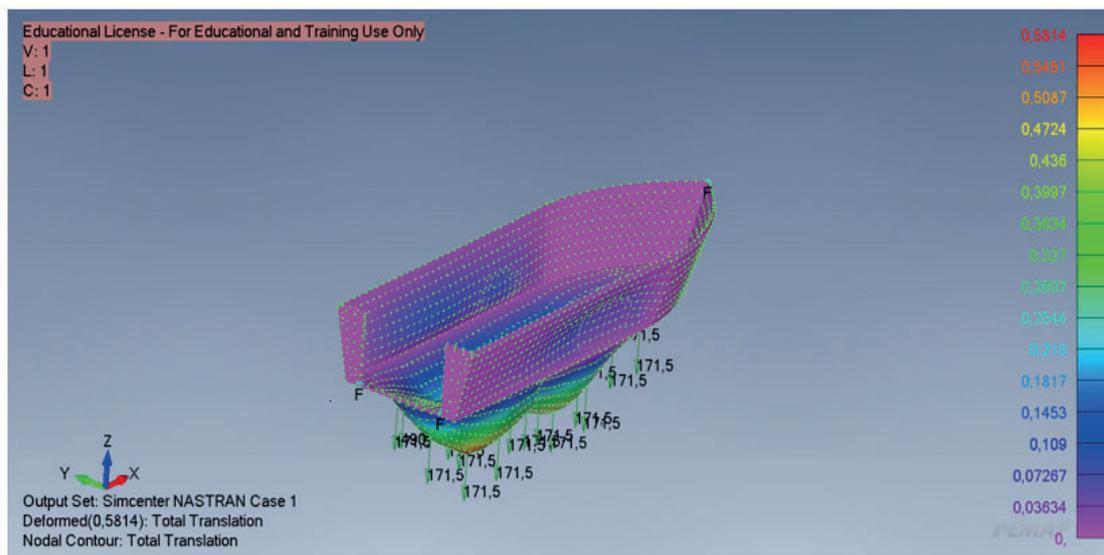
Os resultados obtidos para as simulações computacionais são mostrados nas Figuras 7 e 8. Nestas análises foram utilizadas as propriedades mecânicas obtidas no ensaio de tração para a amostra com 80%. A partir destas análises foi feita a Tabela 2, que mostram os resultados obtidos nas simulações. Na Tabela 2 pode ser observado que o valores de tensão encontrado no projeto, a tensão de von Mises é inferior ao valor da tensão de escoamento encontrado no ensaio de tração para a amostra com 80% de preenchimento, o que nos garante a confiabilidade deste projeto.

Figura 7. Resultado da tensão de Von Mises.



Fonte: Os autores (2022)

Figura 8. Translação total sofrida pela embarcação.



Fonte: Os autores (2022)

Tabela 2 - Resultados de tensão, deformação, modo de vibração da embarcação.

Tensão de Von Mises	0,49 MPa
Deformação	0,58
Frequência de vibração 1	50, 59 Hz
Frequência de vibração 2	54,88 Hz

Fonte: Os autores (2022)

Conforme observado anteriormente, a estrutura foi submetida a duas forças: ao peso dos tripulantes da embarcação e ao peso do motor. A existência das forças associadas ao motor e ao condutor do veículo geram na estrutura esforços de flexão e torção que ocasionam vibrações estruturais, que precisam ser estudadas para que o projeto não venha sofrer falhas catastróficas.

Uma das principais preocupações em projetos de embarcações, diz respeito à frequência de oscilação do motor (MOLINER, 2014), que para este tipo de embarcação, tem frequência de oscilação situada na faixa de 60 a 100 Hz. Para que não ocorra o fenômeno de ressonância, é necessário que a frequência de oscilação do sistema esteja fora desta faixa.

Para realizar esta verificação, foi realizada a análise dos modos de vibração do sistema (análise modal) e um teste de convergência de forma a obter a frequência de oscilação deste sistema de forma mais confiável.

Para isto, foi realizada uma análise modal que verificou dois modos normais de vibração para este sistema, em 50, 59 Hz e 54,88 Hz (Tabela 2). Desta forma os valores de oscilação do sistema não estão dentro da faixa de vibração do motor, o que nos indica que não ocorreram falhas catastróficas neste projeto oriundas das oscilações impostas pelo motor.

Além disso, foi realizado teste de convergência através da variação do tamanho dos elementos na simulação computacional de 0,0045 a 0,0015 m, contudo a frequência de oscilação do sistema não apresentou alteração significativa, o que mostra que podemos trabalhar com o tamanho de elemento de 0,0015 m, sem perda na qualidade dos resultados.

## CONCLUSÃO

A pesquisa e o emprego de novos materiais de engenharia são de fundamental importância para a preservação dos ambientes marinhos. Com isso, a necessidade de se avaliar novos materiais para embarcações devem ser consideradas. Os resultados deste trabalho mostraram que o PETG possui excelentes propriedades mecânicas e ópticas, que são compatíveis com as exigências requeridas para esta aplicação,

Além disso, a simulação computacional da embarcação do tipo clear boat mostra-se um projeto confiável, visto que as tensões aos quais este projeto estará submetido são inferiores ao valor da tensão de escoamento do material e os valores das frequências de oscilação do projeto estão fora da faixa em que ocorreria ressonância.

Além disso, foi observado que para a obtenção de melhores resultados das propriedades ópticas os parâmetros de processamento e o emprego de pós processamento devem ser analisadas.

## REFERÊNCIAS

- BANJANIN, B.; VLADIĆ, G.; PÁL, M.; BALOŠ, S.; DRAMIĆANIN, M.; RACKOV, M.; KNEŽEVIĆ, I. Consistency analysis of mechanical properties of elements produced by FDM additive manufacturing technology. *Matéria*, v. 23, n. 4, 2018.
- CORRÊA, A. C. Setor Pesqueiro e Náutico em Pauta. 2002. Disponível em: <<https://www.avozdonavegante.com.br/post/barcos-de-pequeno-porte-dominam-mercado-n%C3%A1utico-brasileiro>>
- FERNANDES, J. F. M. Estudo da Influência de Parâmetros de Impressão 3D nas Propriedades Mecânicas do PLA. **Dissertação** (Engenharia Mecânica) - Instituto Superior Técnico da Universidade de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2016.
- FOCKE, W.W.; JOSEPH, S.; GRIMBEEK, J.; SUMMERS, G., J.; KRETZSCHMAR, B. Mechanical properties or ternary blends of ABS+HIPS+PETG. *Polymer Plastics Technology and Engineering*, v. 48, n. 8, p. 814-820, Jul. 2009. DOI: <<https://doi.org/10.1080/03602550902994862>>
- HUNG, C. T. **Estampagem Incremental em Polímeros PETG e PVC**. Dissertação (Engenharia Mecânica). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2017.
- KUMAR, K. S.; SOUNDARARAJAN, R.; SHANTHOSH G.; SARAVANAKUMAR, P.; RATTESH, M. Augmenting effect of infill density and annealing on Mechanical properties of PETG and CFPETG composites fabricated by FDM. *Materials Today: Proceedings*, v. 45, p. 2186–2191, 2020.
- LATKO-DURATEK, P.; DYDEK, K.; BOCZKOWSKA, A. Thermal, Rheological and Mechanical Properties of PETG/rPETG Blends. *Journal of Polymers and the Environment*, v. 27, p. 2600–2606 (2019). <<https://doi.org/10.1007/s10924-019-01544-6>>
- MOLINER, L. **Estudo do comportamento vibratório de uma embarcação em escala reduzida**. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO. (ENGENHARIA NAVAL) - Universidade Federal de Santa Catarina. 2014
- MORGAN A. J. L.; JOSE, L. H. S.; JAMIESON, W. D.; WYMANT, J. M.; SONG, B.; STEPHENS, P.; BARROW, D. A.; CASTELL, O. K. Simple and versatile 3D printed microfluidics using fused filament fabrication. *PLoS ONE*, v. 11, n. 4, p. 1–17, 2016. DOI: <<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152023>>

- OLIVEIRA, D. G. R. Impactos da visitação turística sobre animais em áreas naturais. **Trabalho de conclusão de curso**. (Turismo) - Universidade de Brasília, 2007.
- PEREIRA, C. P. Avaliação de propriedades ópticas de placas em poliéster (PETG) fabricadas em impressoras 3D de código aberto. **Dissertação** (Engenharia Mecânica). Universidade Federal de Santa Catarina. 2018.
- PETROV P.; AGZAMOVA, D.; PUSTOVALOV, V.; ZHIKHAREVA E.; SAPRYKIN, B.; CHMUTIN I.; SHMAKOVA, N. Research into the effect of the 3D-printing mode on changing the properties of PETG transparent plastic. ESAFORM 2021. 24th Conference on Material forming. **Anais**. Bélgica, 2021
- PIROG, A.; PIONHIEVICZ, J. P.; FERREIRA, A. M. Influência das porcentagens de preenchimento na resistência à tração de corpos de prova impressos na manufatura aditiva utilizando PETG. **Trabalho de Conclusão de Curso**. Sociedade Educacional de Santa Catarina, Santa Catarina. 2021.
- RHENEY, W. E. United State Patent. Patent Number: 5.000.106. Data da Patente: 19 de março de 1991.
- SANTANA, L.; ALVES, J.L.; SABINO NETTO, A.C.; MERLINI, C. Estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D através de caracterização térmica, química e mecânica. **Matéria**, v. 23, n. 4, 2018. DOI: <<https://doi.org/10.1590/S1517-707620180004.0601>>
- SANTOS, L. M.; ROCHA, D. S. G. M; CARNEIRO, M. L.; LUZ M. P. Tipos de polímeros utilizados como matéria prima no método de manufatura aditiva por FDM: Uma abordagem Conceitual. In: XXXVIII Encontro Nacional De Engenharia De Producao. **Anais**. Maceió, Alagoas, Brasil, 2018.
- SENAVIRATHNA, G. R. U.; GALAPPATHTHI U. I. K.; RANJAN, M. T. T. A review of end-life management options for marine structures: State of the art, industrial voids, research gaps and strategies for Sustainability. **Cleaner Engineering and Technology**. v. 8, June 2022, DOI: <<https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100489>>
- SOUSA, J. G. Q. Efeito dos parâmetros de impressão 3d na resistência à tração de peças impressas com filamento abs. **Trabalho de Conclusão de Curso** (Engenharia Mecânica) Universidade Federal do Ceará, Ceará, 2022.
- SZYKIEDANS, K.; CREDO, W.; OSIŃSKI, D. Selected mechanical properties of PETG 3-D prints. **Procedia Engineering**, v. 177, p. 455-461, Mar. 2017
- ZEKAVAT, A. R.; JANSSON, A.; LARSSON, J.; PEJRYD, L. Investigating the effect of fabrication temperature on mechanical properties of fused deposition modeling parts using X-ray computed tomography. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**. 100, p. 287–296, 2019. DOI: <<https://doi.org/10.1007/s00170-018-2664-8>>.
- ZUBEL, M. G.; FASANO, A.; WOYESSA, G; SUGDEN, K.; RASMUSSEN, H. K.; BANG. O. 3D-printed PMMA Preform for Hollow-core POF Drawing. Internacional Conference on Plastic Optical Fibers, **Anais**, p. 295-300, 2016.