



## ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO POLICARBONATO PARA CONFEÇÃO DE EMBARCAÇÃO DE PEQUENO PORTE

Freitas, M.S.C.<sup>1</sup> – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Campus Zona Oeste - [mylena.scfreitas@gmail.com](mailto:mylena.scfreitas@gmail.com)

Antolin, G.D.C.<sup>1</sup> – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Campus Zona Oeste - [giselecaboclo@yahoo.com.br](mailto:giselecaboclo@yahoo.com.br)

Antolin, M.Q.<sup>1</sup> – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Campus Zona Oeste - [mqantolin@gmail.com](mailto:mqantolin@gmail.com)

**Resumo.** As embarcações do tipo caiaque são operadas para diversas categorias de deslocamento, dentre as principais estão as atividades de lazer, esportes aquáticos, dentre outras. Os materiais utilizados para fabricar estas embarcações precisam oferecer resistência, leveza e durabilidade e são comumente fabricados por compósitos, que normalmente não permitem a visualização marinha. Desta forma, a ideia deste trabalho é projetar um caiaque de policarbonato, do tipo clearboat. Assim, o casco do barco foi simulado computacionalmente com finalidade de verificar a aplicabilidade do em embarcações. Além disso, foram realizadas análises de espectroscopia óptica, de resistência mecânica e de microscopia eletrônica de varredura. Os resultados mostraram que comportamento do policarbonato injetado foi superior ao policarbonato impresso em 3D, em todas as análises. Por último, os resultados obtidos na simulação indicaram que o policarbonato injetado é uma boa escolha para este tipo de fabricação.

**Palavras-Chave:** Policarbonato, Embarcação transparente e simulação computacional.

### 1. INTRODUÇÃO

Ao longo da história, as embarcações do tipo caiaque evoluíram significativamente, tornando-se populares tanto para recreação quanto para competições esportivas (1). Existem várias categorias de caiaques que são projetados de acordo com seus diferentes usos e ambientes a que estarão submetidos. Entre as categorias mais comuns estão: os caiaques de turismo, caiaques de pesca, caiaques de mar e caiaques de expedição.

Cada tipo possui características específicas que influenciam seu desempenho e manobrabilidade em diferentes condições de água. A escolha dos materiais para a construção dessas embarcações é crucial, devendo oferecer resistência, leveza e durabilidade. Os materiais comumente utilizados na construção de caiaques incluem fibra de vidro ou carbono, madeira, polietileno ou insufláveis em PVC ou borracha (2).

Uma inovação notável no design de caiaques é o uso de policarbonato transparente para caiaques de turismo. Este material oferece uma experiência única ao permitir que os remadores observem o fundo do mar e a vida aquática durante a navegação, criando uma conexão mais próxima com o ambiente natural. Além disso, o policarbonato é altamente resistente e leve, garantindo durabilidade e facilidade de transporte.

O policarbonato é um polímero termoplástico, composto por polímero e partículas de carbonatos. Sua composição permite a transmissão interna de luz, de

forma semelhante ao vidro e o seu alto grau de transparência faz com que o material também seja muito utilizado para cobrir ambientes que priorizam a boa iluminação. Ao mesmo tempo o policarbonato é leve e possui maior resistência ao impacto (3).

Neste contexto, este trabalho investiga a utilização do policarbonato na fabricação de um protótipo de caiaque do tipo clearboat (embarcação transparente). Para isso, foram realizadas simulações computacionais utilizando o software FEMAP, que faz uso do Método de Elementos Finitos (MEF) para as análises de tensão e deformação a que estas embarcações estariam sujeitas, além da realização de análises mecânicas, ópticas e morfológicas. A proposta é avaliar a possibilidade de fabricação a partir de dois métodos de fabricação: impressão 3D e injeção. Desta forma, foi possível avaliar a aplicabilidade de cada método de fabricação na construção de um caiaque de turismo transparente.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a comparação das propriedades mecânicas do Policarbonato injetado e impresso em 3D, foram fabricados corpos de prova para a realização de ensaios de tração. Para confecção do corpo de prova do Policarbonato impresso em 3D (figura 1), foram obtidos os desenhos do corpo de prova utilizando o software CAD Solidge Edge, que foi posteriormente levado ao fatiador Cura.

Para a impressão 3D, foi utilizada uma impressora GTMax, utilizando como parâmetros de fabricação 250°C no bico e 120°C na mesa e velocidade 120 mm/s. O preenchimento utilizado foi de 100%. Na produção do corpo de prova do Policarbonato injetado (figura 2), a temperatura de injeção foi de 270°C. Após a produção dos corpos de prova, os mesmos foram preparados para passar nos ensaios de tração e ensaios de dureza, onde suas propriedades mecânicas puderam ser analisadas.

Figura 1: Corpos de prova de Policarbonato Impresso.

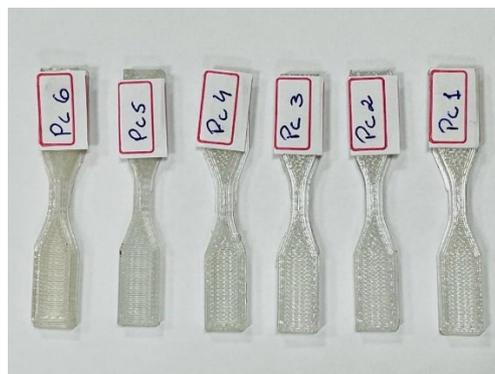


Figura do Autor (2024)

Figura 2: Corpos de prova de Policarbonato Injetado.



Figura do Autor (2024)

## 2.1 Ensaios Mecânicos

O ensaio de tração foi conduzido em uma máquina de ensaio universal, conforme as normas ASTM D638, com velocidade de 150mm/min. Os principais parâmetros analisados nesse ensaio foram: tensão de escoamento, tensão de ruptura, módulo de elasticidade e tensão de força máxima. O ensaio de tração foi realizado em uma Máquina Universal de Ensaio de Tração da EMIC pertencente a Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Campus Zona Oeste (UERJ-ZO).

Em seguida, outros corpos de prova foram submetidos ao ensaio de dureza. O ensaio de dureza foi realizado em um equipamento de Durômetro Shore D da Bareiss, pertencente a Universidade do Estado do Rio de Janeiro – Campus Zona Oeste (UERJ-ZO).

Após os testes mecânicos, foram realizadas análises de transmitância, utilizando um espectrofotômetro e de Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) nas amostras, sendo ambos os equipamentos pertencentes ao Instituto Militar de Engenharia (IME), com o intuito de avaliar a transparência e as propriedades morfológicas dos materiais fabricados por estes dois métodos de fabricação.

Após a realização destes testes, as propriedades mecânicas obtidas foram utilizadas para a simulação computacional, utilizando o software FEMAP. Para esta simulação, foi inserido o material de policarbonato injetado e o peso máximo dos tripulantes na embarcação (dois tripulantes de 80 kg cada).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para os ensaios de tração e dureza podem ser observados na tabela 1 abaixo. Nesta tabela,  $\sigma_{esc}$  é a tensão de escoamento,  $\sigma_r$  é a tensão de ruptura, E é o módulo de elasticidade e  $\sigma_{Max}$  é a tensão máxima.

Tabela 1: Resultados obtidos nos Ensaios Mecânicos de Tração e Dureza

Análises	Policarbonato Impresso	Policarbonato Injetado
$\sigma_{esc}$ (MPa)	22,7 ± 4,8	120,4 ± 32,5
$\sigma_r$ (MPa)	44,8 ± 8,4	196,5 ± 60,8
E (MPa)	226,5 ± 46,5	2532,3 ± 404,4
$\sigma_{Max}$ (MPa)	46,5 ± 7,1	246,2 ± 90,2
Dureza (Shore D)	71,9 ± 0,5	79,23 ± 0,3

Tabela do Autor

A primeira análise que podemos observar, são os testes de dureza não indicaram mudança significativa quando comparadas as amostras fabricadas pelos dois métodos de fabricação. No entanto, as demais propriedades mecânicas do ensaio de tração demonstram valores divergente entre os Policarbonatos.

Com base nos valores dos ensaios, o Policarbonato injetado possui propriedades mecânicas superiores às apresentadas pelo policarbonato impresso em 3D. Uma possibilidade para as diferenças nas propriedades mecânicas apresentadas por estes materiais pode estar relacionada na compactação das camadas de materiais e/ou nas propriedades morfológicas. Para verificar se de fato essa questão poderia estar influenciando os resultados obtidos, foram realizadas análises de MEV das amostras.

#### 3.1 Resultados de MEV

Na figura 1 podemos observar a superfície de fratura para o Policarbonato Injetado. Podemos perceber que esta apresenta uma superfície lisa e uniforme, características de uma fratura do tipo frágil. Algumas ranhuras são observadas na imagem, elas apresentam nervuras radiais, característico de fratura do tipo frágil, que indica início e propagação da trinca, e zonas de cisalhamento (4).

Figura 1: MEV do Policarbonato Injetado

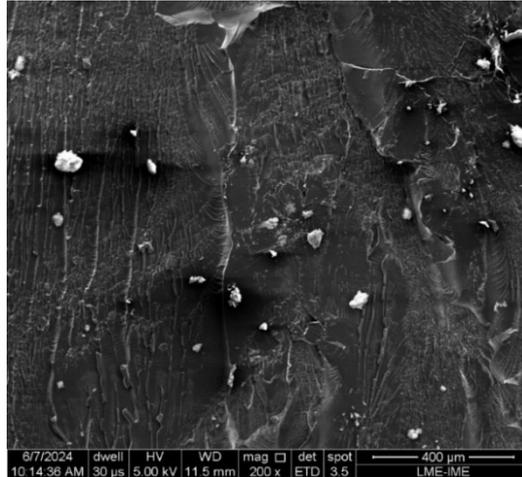


Imagem disponibilizada pelo Instituto Militar de Engenharia

Na figura 2, temos a análise do Policarbonato Impresso em 3D, onde é possível observarmos a falta de uniformidade no preenchimento das amostras, que possuem diversos vazios entre as camadas. De acordo com análise microestrutural obtida via Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV), estas características mostram que o material pode ser mais suscetível a falhas mecânicas, e justificam os valores encontrados nos ensaios de tração, que demonstram que o policarbonato fabricado por injeção tem propriedades mecânicas superiores ao impresso em 3D. Tal característica já foi observada anteriormente por estudos de comportamento mecânico de materiais poliméricos impressos em 3D, os quais indicam que a presença de vazios, falta de coesão entre as camadas, a orientação de construção e o Air Gap (espaço livre), foram os parâmetros que apresentaram maior influência sobre as propriedades do material e contribuem significativamente para a redução da resistência mecânica. (5).

Ainda de acordo com a literatura, as soluções para reduzir a existência de buracos em polímeros impresso em 3D, podem incluir ajustes no processo de impressão como a otimização dos parâmetros como: o tempo de intervalo entre camadas, aumento da densidade de preenchimento, orientação de preenchimento e fatiamento. Além disso inclui considerar a aprimoração do design das peças como alterar a espessura das camadas e o tamanho da peça para reduzir a formação de vazios e garantir uma melhor qualidade e resistência do material (5).

De acordo com Martins (2017), além de afetar as propriedades mecânicas, os vazios atuam como centros espalhadores de luz. Devido ao fato deste trabalho ser voltado para o estudo da fabricação de uma embarcação transparente, necessitando

desta forma que o material utilizado apresente elevada transparência, para verificar se de fato este fenômeno poderia afetar as propriedades ópticas destes materiais, foram realizadas análises de transmitância.

Imagem 2: MEV do Policarbonato Impresso

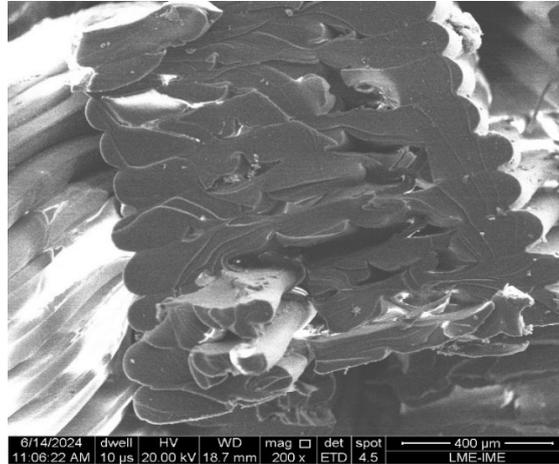


Imagem disponibilizada pelo Instituto Militar de Engenharia

### 3.2 - Resultados de transmitância

Conforme podemos observar no gráfico 1, as amostras de policarbonato injetado demonstraram um comportamento muito superior àquele apresentado pelo material impresso em 3D, uma vez que podemos observar que sua transmissão variou entre 70 a 85 % para comprimentos de onda acima de 390 nm, enquanto o policarbonato impresso em 3D, exibiu transmissão próxima a 30%, nesta mesma faixa.

Podemos observar que ambos os materiais apresentam um corte abrupto de absorção na região de 390 nm, o que indica uma baixa concentração de defeitos no interior da banda proibida do material.

Desta forma, a diferença dos valores observadas no gráfico 1, deve ser presença de maior número de defeitos e vazios nas amostras impressas em 3D. O resultado desse processo de fabricação camada a camada é que diminui a transparência e a qualidade óptica do material.

O mesmo comportamento foi observado por (6) que analisou amostras de um estudo comparativo entre PETG e PLA para Impressão 3D.

Os resultados acima, demonstram que o policarbonato injetado é um material adequado para ser utilizado em embarcações transparentes, uma vez que este possui elevada transparência, enquanto o material impresso em 3D precisa ter as suas

propriedades otimizadas, através da alteração dos parâmetros de fabricação, para ser usado nesta aplicação.

Uma das sugestões para a melhoria das propriedades do policarbonato impresso em 3D é alterar a densidade de preenchimento e a orientação das camadas durante o processo de impressão, além de variar a velocidade de preenchimento, que conforme abordado na literatura (5), promove uma melhor coesão entre as camadas e reduz a formação de vazios, o que torna o material mais transparente.

Gráfico 1: Resultado de Transmitância

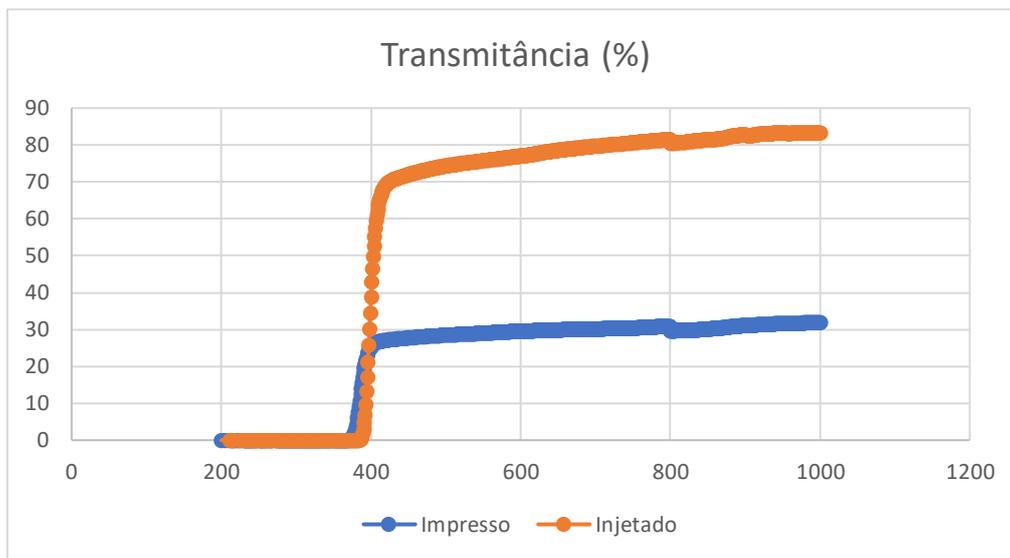


Gráfico do Autor

### 3.3- Resultados de Simulação Computacional

Como o policarbonato injetado apresentou melhores propriedades que o policarbonato impresso em 3D, realizamos as simulações computacionais apenas no primeiro. Os resultados obtidos na simulação indicaram que o policarbonato injetado é uma boa escolha para este tipo de fabricação pois os valores da tensão de Von Mises encontradas foram 8,9MPa, valor bem menor que a tensão de escoamento do material é de 75MPa.

Figura 3: Simulação Computacional do Caiaque de Turismo de Policarbonato Injetado

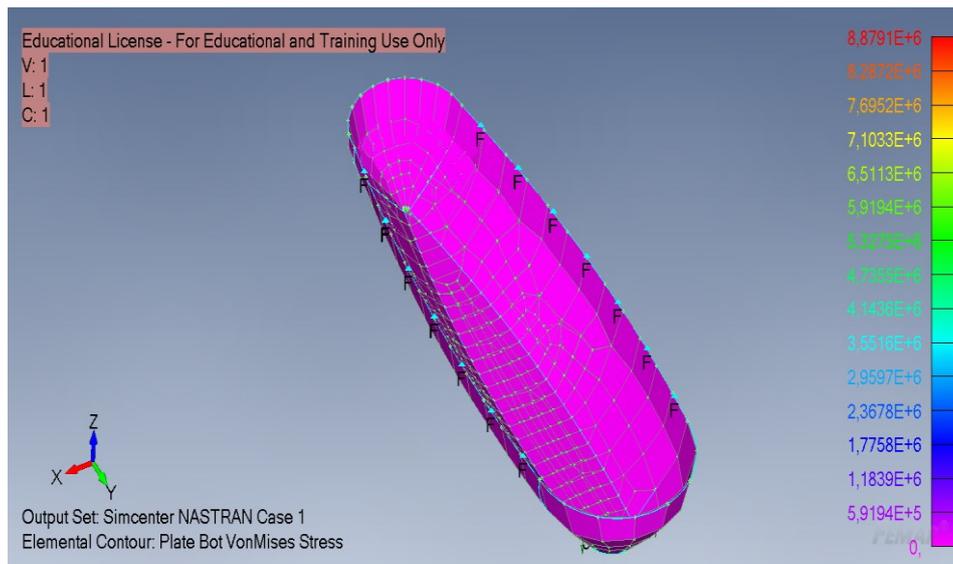


Figura do Autor

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados apresentados neste estudo demonstram a viabilidade do uso de policarbonato na fabricação de caiaques transparentes, com destaque para o material injetado em comparação ao impresso em 3D. A pesquisa utilizou aspectos mecânicos, ópticos e de simulação computacional, oferecendo uma compreensão abrangente das propriedades e do desempenho do policarbonato para essa finalidade.

O policarbonato injetado apresentou propriedades mecânicas significativamente superiores em comparação ao policarbonato impresso em 3D. Os testes de tração revelaram maiores valores de tensão de escoamento, tensão de ruptura, módulo de elasticidade e tensão máxima no material injetado, tornando-o mais adequado para suportar as cargas e esforços que o caiaque enfrentaria durante o uso.

Em relação as propriedades ópticas, o policarbonato injetado também demonstrou melhor performance em termos de transparência. As análises de transmitância mostraram que o material injetado possui uma maior capacidade de transmissão de luz, essencial para a função de uma embarcação transparente. A baixa qualidade óptica do policarbonato impresso em 3D foi atribuída à presença de vazios e falta de coesão entre as camadas, comuns nesse tipo de fabricação.

Os resultados observados nas análises mecânicas e ópticas podem ser justificados pelas imagens de MEV das amostras, que mostraram a presença de defeitos, tais como falhas de preenchimento, nas amostras impressas em 3D.

Os resultados das simulações computacionais reforçaram a adequação do policarbonato injetado para a construção de caiaques. A tensão de Von Mises observada foi significativamente inferior à tensão de escoamento do material, indicando que o policarbonato injetado suportaria as condições operacionais sem risco de falha estrutural.

Com base nos resultados obtidos, conclui-se que o policarbonato injetado é a melhor escolha para a fabricação de caiaques transparentes, oferecendo resistência mecânica, transparência superior e confiabilidade estrutural. O material impresso em 3D, embora ainda promissor, requer melhorias nos parâmetros de fabricação para alcançar um desempenho comparável.

## **5. AGRADECIMENTOS**

Agradecemos ao CNPq pelo apoio financeiro e ao Instituto Militar de Engenharia pelas análises de MEV e transmitância.

## **6. RERÊNCIAS**

- [1] MARCHI, K. B.; MEZZADRI, F. M. História da Canoagem e do Rafting. In: SIMPÓSIO NACIONAL DE HISTÓRIA, 22., 2003, João Pessoa: UFPR, 2003 p. 1 - 4.
- [2] FERREIRA, A. D.; GONÇALVES, C. X.; BRANCO, V. D. Utilização De Materiais Poliméricos E Compósitos Na Produção De Caiaques. 38 p. Monografia, Faculdade de Engenharia Universidade do Porto, Porto, 2012
- [3] BALSAMO, A.; CABRAL B.; SANFELICE, R. Estudo Comparativo Entre Materiais A Base De Vidro E Policarbonato Em Projetos De Superfícies Transparentes. Minas Gerais, v. 4, n.3, p. 327-345, out./dez. 2019
- [4] FORTES, S. M.; CURY, S. E. V.; CURY, M. D. P. N.; MOTA, D.; BATISTA, R.; FARIA, M. I. S. T. Conteúdo digital para aprendizagem de análise e interpretação de falhas mecânicas. Cadernos UniFOA, Volta Redonda, v. 7, n. 1 Esp, p. 300, 2012. DOI: 10.47385/cadunifoa.v7.n1 Esp.2117. Disponível em: <https://unifoa.emnuvens.com.br/cadernos/article/view/2117>. Acesso em: 21 ago. 2024.

[5] MARTINS, T. S. Influência Dos Parâmetros De Fabrico Nas Propriedades Mecânicas De Peças Obtidas Por Impressão 3D Com Um Único Material. 2017. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa, 2017.

[6] 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. revista Matéria, Rio de Janeiro, v.23, n.4, p. 1- 28, 2018. jan./mar. 2018. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rmat/a/dpWDvBJzSXYtzbKnJdDqHVg/?format=pdf> Acesso em: 20 ago. 2024.

## STUDY OF THE USE OF POLYCARBONATE FOR MANUFACTURE OF SMALL VESSELS

### ABSTRACT

**Summary.** *Kayak-type vessels are operated for different categories of travel, among the main ones are leisure activities, water sports, among others. The materials used to manufacture these vessels need to offer strength, lightness and durability and are commonly made from composites, which normally do not allow marine visualization. Therefore, the idea of this work is to design a polycarbonate kayak, of the clearboat type. Thus, the boat's hull was computationally simulated to verify its applicability on vessels. In addition, optical spectroscopy, mechanical resistance and scanning electron microscopy analyzes were carried out. The results showed that the behavior of the injected polycarbonate was superior to that of the 3D printed polycarbonate, in all analyses. Finally, the results obtained in the simulation indicated that injected polycarbonate is a good choice for this type of manufacturing.*

**Keywords:** Polycarbonate, Kayak, Simulation