

## 11º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2020

### ANÁLISE DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DO ACRILONITRILA BUTADIENO ESTIRENO RECICLADO (ABSr) PARA APLICAÇÕES EM IMPRESSÃO 3D

YASMIM F. FERREIRA<sup>1</sup>, GUILHERME R. MECELIS<sup>2</sup>, CLEITON L. F. DE ASSIS<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Graduanda em Licenciatura em Física, Bolsista do PIBIFSP, IFSP, Câmpus Votuporanga, yasmim.f@aluno.ifsp.edu.br

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia Mecânica, Docente, IFSP, Câmpus Votuporanga, guilherme.mecelis@ifsp.edu.br

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Mecânica, Docente, IFSP, Câmpus Votuporanga, fazolocla@ifsp.edu.br  
Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.03.05.04-7

**RESUMO:** A utilização de polímeros tem crescido significativamente nas últimas décadas. Grande parte dos produtos de consumo são a base de materiais plásticos, tais como embalagens, componentes de automóveis, aeronaves, utensílios etc. As aplicações modernas também envolvem a fabricação de peças por impressão 3D. Uma alternativa para reduzir os efeitos ambientais negativos do uso de plásticos é a reciclagem. Nesse sentido, filamentos poderiam ser produzidos por meio da reciclagem do Acrilonitrila Butadieno Estireno, um dos materiais mais utilizados para impressão 3D. O objetivo desta pesquisa é investigar a resistência mecânica de peças de ABS reciclado, produzidas por Modelagem por Deposição Fundida (FDM), submetidas a ensaios de tração. Três padrões de preenchimento foram utilizados: Concêntrico, Linear (-45°/45°) e Zig-zag (-45°/45°). Valores médios de resistência máxima e tensão de ruptura foram obtidos, e analisados com auxílio da Análise de Variância (ANOVA). Os resultados revelaram que o ABSr apresentou uma resistência máxima 15% menor que o ABS comercial. As tensões de ruptura foram equivalentes na interação dos materiais com os padrões Linear e Zig-Zag. O padrão de preenchimento concêntrico indicou maior resistência mecânica. O ABSr apresentou repetibilidade dos resultados e potencial para uso doméstico da impressão 3D, contribuindo para o uso do material reciclado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Sustentabilidade; Modelagem por deposição fundida; Resistência máxima; Tensão de ruptura; Padrão de preenchimento.

### ANALYSIS OF THE MECHANICAL STRENGTH OF RECYCLED ACRYLONITRILLA BUTADIENE STYRENE (ABSr) FOR 3D PRINTING APPLICATIONS

**ABSTRACT:** The use of polymers has grown significantly in recent decades. Most consumer products are based on plastic materials, such as packaging, automobile parts, aircraft etc. Modern applications also involve manufacturing parts by 3D printing. An alternative to reduce the environmental negative effects of using plastics is recycling. In this way, the filaments can be obtained by recycling Acrylonitrile Butadiene Styrene ABS, one of the most used for 3D printing. This work aims to investigate the maximum strength of recycled ABS parts (ABSr), produced by Fused Deposition Modeling (FDM), submitted to tensile tests. Three filling patterns were used: Concentric, Linear (-45°/45°) and Wiggle (-45°/45°). Average values of maximum strength and rupture stress were obtained, and analyzed using Analysis of Variance (ANOVA). Results indicate that ABSr showed a maximum strength 15% lower than commercial ABS. The rupture stresses were equivalent in the interaction of the materials with the Linear and Zig-Zag patterns. The concentric filling pattern indicated higher maximum strength. ABSr showed repeatability of results and potential for domestic use of 3D printing, contributing to the use of recycled material.

**KEYWORDS:** Sustainability; Fused deposition modeling; Maximum strength; Rupture stress; Filling pattern.

## INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas houve um aumento considerável no consumo global de materiais poliméricos (SANCHEZ; *et al*, 2017). A intensidade do uso desses materiais é devida a sua durabilidade, facilidade em fabricação e diversidade nos processos de produção, e esses produtos são geralmente fabricados por usinagem, moldagem por injeção e mais recentemente por impressão 3D (MOHAMMED; *et al*, 2017).

A impressão 3D é um processo de fabricação por deposição de camadas. A técnica por Modelagem por Deposição Fundida (FDM) ganhou o interesse dos usuários pela simplicidade de maquinário e efeito anisotrópico das peças (RAHIM, ABDULLAH, MD AKIL, 2019; LOVO, FORTULAN, 2016). Embora o uso da manufatura aditiva ofereça menor desperdício de material do que outras técnicas de fabricação, há aspectos ambientais negativos, já que a maioria dos materiais são derivados de petróleo e não são biodegradáveis (MOHAMMED; *et al*, 2017; CHARLES; *et al*, 2019).

É importante avaliar impactos ambientais a longo prazo, e nesse cenário, a reciclagem surge como a opção mais adequada para o reaproveitamento de recursos, reduzindo o descarte dos resíduos plásticos (MOHAMMED; *et al*, 2017; CHARLES; *et al*, 2019).

Diversas pesquisas são desenvolvidas visando compreender a aplicação de materiais reciclados na impressão 3D. Dentre esses materiais o mais comum é o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS), o qual é um polímero não biodegradável, revelando que sua reciclagem e reutilização é essencial para um uso industrial adequado as demandas ambientais (PAKKANEN; *et al*, 2017).

Neste contexto, esta pesquisa propõe o estudo do comportamento mecânico em ensaio de tração de corpos de prova impressos em 3D, utilizando filamentos de ABS nas versões comercial e reciclada. Resistência máxima e tensão de ruptura foram avaliadas com auxílio da Análise de Variância (ANOVA).

## MATERIAL E MÉTODOS

Os corpos de prova foram produzidos pela técnica de Modelagem por Deposição Fundida (FDM), com uma impressora da marca Creality Ender 3. Os parâmetros de deposição foram velocidade de impressão de 30 mm/s, altura da camada de 0,2 mm, espessura da parede de 1,2 mm e preenchimento de 100%. O material polimérico utilizado foi o Acrilonitrila Butadieno Estireno nas versões comercial (ABS) e reciclado (ABSr), para comparação do comportamento mecânico. Três corpos de prova de cada condição foram impressos para realização da análise estatística dos resultados dos ensaios de tração. Os padrões de preenchimento adotados foram Concêntrico, Linear (-45°/45°) e Zig-zag (-45°/45°), conforme ilustrado na Figura 1.

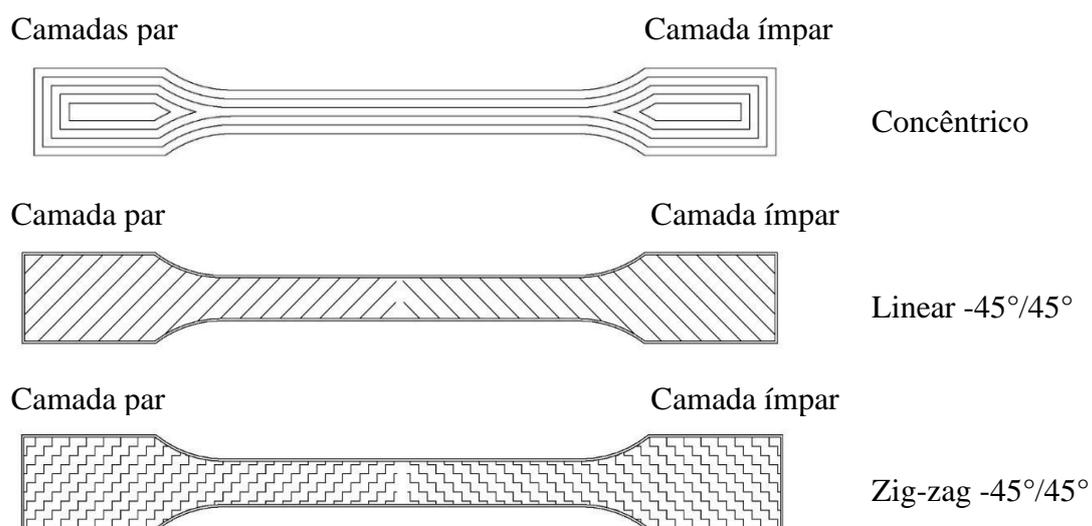


FIGURA 1. Padrões de preenchimento dos corpos de prova dos ensaios de tração.

Para a realização dos ensaios de tração foi utilizada uma máquina de força EMIC, Modelo DL-30000, com capacidade máxima de 30 kN, seguindo a norma ISO 527-1/2:2012, específica para a realização de testes de tração padronizados em materiais poliméricos.

As propriedades mecânicas avaliadas foram tensão máxima e tensão de ruptura. As médias foram calculadas considerando uma confiabilidade de 95%. A Análise de Variância (ANOVA) foi aplicada nos resultados, visando identificar o efeito dos fatores de controle nos dados obtidos nos testes de tração.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Tabela 1 e Tabela 2 apresentam os quadros ANOVA do efeito do material e padrão de preenchimento na tensão máxima e tensão de ruptura dos corpos de prova, respectivamente. Nessa análise, o valor P indica a significância estatística do efeito da variável se menor que 0,05, e o valor F mostra a variância entre os grupos em relação à variância dentro dos grupos. Um valor F maior do que o correspondente ao percentual assumido (0,05) indica que a diferença entre os grupos é maior do que as diferenças dentro dos grupos. De acordo com os resultados, os materiais aplicados nos experimentos de tração foram estatisticamente influentes na tensão máxima ( $P < 0,05$ ), e não apresentaram efeito estatístico na tensão de ruptura ( $P > 0,05$ ). O padrão de preenchimento foi estatisticamente influente em ambas tensões avaliadas, e a interação entre material e padrão de preenchimento foi significativa apenas na tensão de ruptura.

TABELA 1. Quadro ANOVA do efeito do material e padrão de preenchimento na tensão máxima dos corpos de prova submetidos ao ensaio de tração.

Fonte	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F-valor	P-valor
Material	1	84,197	84,197	137,44	0,000
Padrão	2	21,928	10,964	17,90	0,000
Material*Padrão	2	1,502	0,751	1,23	0,328
Erro	12	7,352	0,613		
Total	17	114,979			

TABELA 2. Quadro ANOVA do efeito do material e padrão de preenchimento na tensão de ruptura dos corpos de prova submetidos ao ensaio de tração.

Fonte	Graus de liberdade	Soma dos quadrados	Quadrado médio	F-valor	P-valor
Material	1	1,032	1,032	1,90	0,194
Padrão	2	9,381	4,690	8,61	0,005
Material*Padrão	2	8,298	4,149	7,62	0,007
Erro	12	6,534	0,544		
Total	17	25,245			

A Figura 2 apresenta os gráficos do efeito dos materiais e padrões de preenchimento na tensão máxima. De acordo com os gráficos, o ABSr revelou uma resistência máxima 15% menor quando comparada ao ABS (Figura 2a). O alto índice de fluidez, devido a uma provável redução da massa molecular resultante de um histórico de processamento, que causa a degradação do ABS durante a reciclagem, resultou em menor resistência mecânica quando comparado com sua versão comercial (SALCHER, A. *et al*, 2013). O aumento da temperatura de extrusão poderia diminuir a viscosidade do material, aumentando a mobilidade das moléculas, resultando em melhores propriedades mecânicas para o ABSr (CRESS, *et al*, 2020). Contudo, uma menor temperatura de extrusão resultou em entupimento do bico extrusor da impressora 3D durante os testes de impressão.

Com relação ao padrão de preenchimento, o padrão concêntrico resultou em maior resistência mecânica, efeito inversamente oposto ao do padrão zig-zag (Figura 2b). As linhas de deposição, paralelas ao sentido da força aplicada durante os ensaios de tração, resultou em maior resistência a deformação, enquanto uma distribuição em 45° foi mais sensível a deformação. E nesse sentido, o padrão linear apresentou uma resistência intermediária, o que pode ser explicado por uma distribuição da tensão mais homogênea ao longo das linhas depositadas em cada camada quando comparado ao padrão zig-zag. A interação entre os materiais e os padrões de preenchimento, para a resistência máxima, não foi considerada nas análises por não apresentar efeito estatístico, segundo a ANOVA ( $P > 0,05$ ).

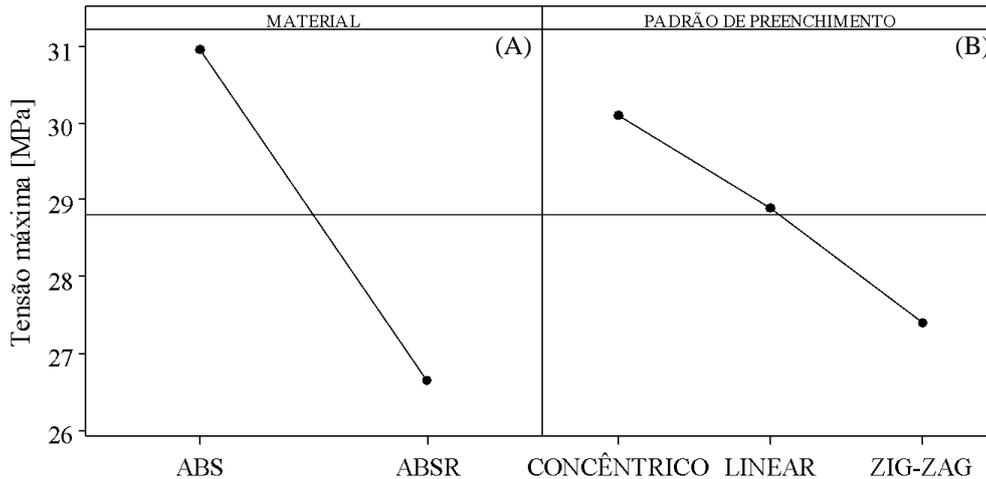


FIGURA 2. Gráficos do efeito dos materiais e padrões de preenchimento na tensão máxima.

A Figura 3 apresenta os gráficos do efeito dos padrões de preenchimento e da interação material-padrão na tensão de ruptura dos corpos de prova. Assim como para a resistência máxima, os padrões de preenchimento apresentaram o mesmo comportamento, indicando que o padrão concêntrico é mais adequado para aplicações em que a resistência mecânica da peça é fator relevante (Figura 3a). Um exemplo seria a construção de esculturas de médio e grande porte, em escala 1:1, ou sistemas mecânicos robóticos que necessitem do uso de materiais com resistência mecânica controlada.

A interação entre os materiais e os padrões de preenchimento, para a tensão de ruptura, indicaram que o ABSr é menos sensível a combinação dos fatores de controle do que o ABS comercial (Figura 3b). A combinação entre o ABS e o padrão concêntrico resultou em maior resistência a ruptura. Apesar disso, a diferença entre os resultados de tensão de ruptura para os materiais, considerando as interações dos fatores de controle, foi de aproximadamente 10%. Dessa forma, apesar da menor resistência à ruptura apresentada pelo ABS reciclado, uma combinação do material com padrões de preenchimento específicos pode resultar em comportamento à ruptura semelhante ao do ABS comercial, conforme observado nas interações de ambos materiais com os padrões linear e zig-zag, favorecendo a aplicação do ABSr em detrimento do ABS nestas condições de fabricação. Este resultado é relevante quando os fatores sustentabilidade e reciclagem são considerados. Além disso, o efeito isotrópico apresentado pelo ABSr proporciona menos dificuldade para o usuário doméstico para escolha do padrão de preenchimento, limitando o processo apenas a aspectos de acabamento e textura da superfície da peça.

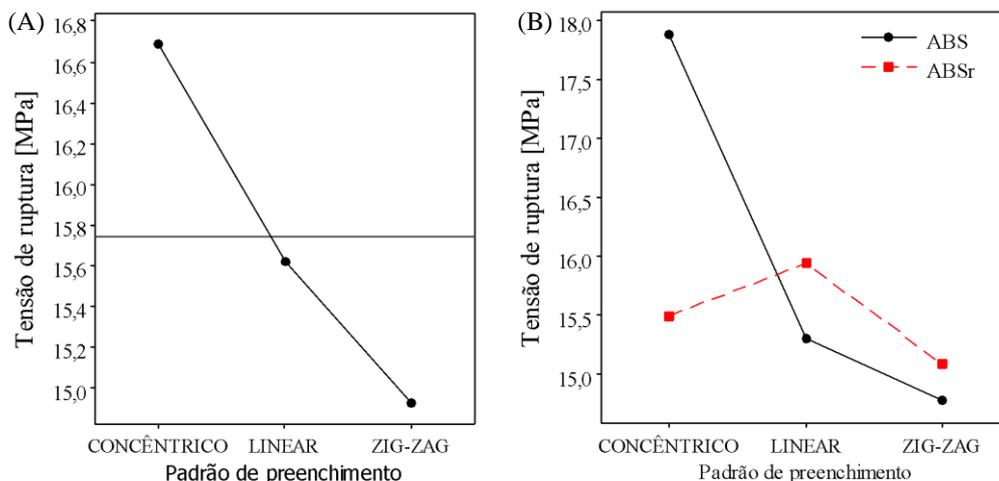


FIGURA 3. Gráficos do efeito dos padrões de preenchimento e da interação material/padrão na tensão de ruptura.

## CONCLUSÕES

Nesta pesquisa, a resistência mecânica de peças produzidas por Modelagem por Deposição Fundida (FDM), com filamentos de ABS comercial e ABS reciclado, foi investigada. Os resultados apontaram uma redução de 15% da resistência máxima do ABSr em comparação ao ABS comercial. Quanto a tensão de ruptura, o ABSr apresentou maior isotropia do comportamento mecânico dos corpos de prova durante os ensaios de tração. Em última análise, os resultados desta pesquisa contribuem para o gerenciamento de resíduos de ABS como plástico reciclável alternativo para uso em aplicações de impressão 3D. E para o usuário doméstico, também contribui para um uso operacional mais prático do ABSr. Na continuidade desta pesquisa serão estudados os efeitos da porosidade e dos padrões de preenchimento no acabamento de peças produzidas com ABS reciclado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as empresas 3DX Filamentos e Print Green 3D pelo apoio ao projeto e doação dos filamentos de ABS comercial e reciclado.

## REFERÊNCIAS

CHARLES, A. *et al.* On the assessment of thermo-mechanical degradability of multi-recycled ABS polymer for 3D printing applications. In: International Conference on Sustainable Design and Manufacturing. Springer, Singapore, 2019. p. 363-373.

CRESS, A. K. *et al.* Effect of recycling on the mechanical behavior and structure of additively manufactured acrylonitrile butadiene styrene (ABS). *Journal of Cleaner Production*, p. 123689, 2020.

LOVO, J. F. P.; FORTULAN, C.A. Estudo de propriedades mecânicas e anisotropia em peças fabricadas por manufatura aditiva tipo FDM. 1 Simpósio de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica EESC/USP-SiPGEM 2016, 2016.

MOHAMMED, M. *et al.* EcoPrinting: investigating the use of 100% recycled acrylonitrile butadiene styrene (ABS) for additive manufacturing. 2017.

PAKKANEN, J. *et al.* About the use of recycled or biodegradable filaments for sustainability of 3D printing. In: International Conference on Sustainable Design and Manufacturing. Springer, Cham, 2017. p. 776-785.

RAHIM, T. N. A. T.; ABDULLAH, Abdul Manaf; MD AKIL, Hazizan. Recent developments in fused deposition modeling-based 3D printing of polymers and their composites. *Polymer Reviews*, v. 59, n. 4, p. 589-624, 2019.

SALCHER, A. *et al.* Utilização de copolímero Acrilonitrila-Butadieno-Estireno (ABS) reciclado no processo de modelagem por fusão e deposição (FDM)T. In: 7º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. Penedo, Itatiaia, RJ. 2013.

SANCHEZ, F. A. C. *et al.* Polymer recycling in an open-source additive manufacturing context: Mechanical issues. *Additive Manufacturing*, v. 17, p. 87-105, 2017.