

14º Congresso de Inovação, Ciência e Tecnologia do IFSP - 2023

ESTUDO DA INFLUÊNCIA DA ALTURA DE CAMADA E DO CORANTE NA RUGOSIDADE LATERAL DE PEÇAS DE ABS PRODUZIDAS POR MANUFATURA ADITIVA

LEONARDO P. DE SOUSA¹, JOSÉ R. CAMILO², KELVIN DOS S. TIENE³,
CLEITON L. F. DE ASSIS⁴

¹ Graduando em Engenharia Elétrica, Bolsista PIBIFSP, IFSP, Câmpus Votuporanga, leonardo.paiva@aluno.ifsp.edu.br.

² Docente do IFSP, Câmpus Votuporanga, jrcamilo@ifsp.edu.br.

³ Graduando em Engenharia Elétrica, IFSP, Câmpus Votuporanga, kelvin.t@ifsp.edu.br.

⁴ Docente do IFSP, Câmpus Votuporanga, fazolocla@ifsp.edu.br.

Área de conhecimento (Tabela CNPq): 3.03.05.04-7 Polímeros, Aplicações.

RESUMO: A manufatura aditiva se faz cada vez mais presente em diversas aplicações do cotidiano, inclusive em projetos de engenharia e produtos variados, visa a otimização de processos e a redução de etapas de fabricação. O Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) é comumente utilizado por proporcionar peças para aplicações estéticas, tribológicas e que demandam adequado acabamento do objeto. A obtenção de peças coloridas com aparência que atendam às necessidades da aplicação, sem a exigência de pós-processamentos, reduz o tempo e custo de fabricação. O objetivo da pesquisa foi avaliar a influência do parâmetro altura de camada e do corante na integridade superficial lateral de peças produzidas por manufatura aditiva, utilizando versões comerciais de filamentos de ABS natural e com diferentes cores. As laterais das peças, produzidas com diferentes cores e alturas de camadas, foram medidas para obtenção da rugosidade Ra, Rq e Rz. Os resultados mostraram que o acréscimo da altura de camada ocasionou o aumento da rugosidade lateral das peças, e a cor não causou mudança significativa na rugosidade lateral. Informações sobre a altura de camada e o acabamento lateral das amostras, produzidas por manufatura aditiva empregando o ABS, podem ajudar pesquisadores e fabricantes de produtos fabricados utilizando impressão 3D.

PALAVRAS-CHAVE: ABS; corante; integridade superficial lateral; impressão 3D; altura de camada.

STUDY OF THE INFLUENCE OF LAYER HEIGHT AND DYE ON THE LATERAL ROUGHNESS OF ABS PARTS PRODUCED BY ADDITIVE MANUFACTURING

ABSTRACT: Additive manufacturing is increasingly present in various everyday applications, including engineering projects and various products, aiming at the optimization of processes and the reduction of manufacturing steps. The Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) is commonly used to provide parts for aesthetic applications, tribological and that require adequate finishing of the object. Obtaining colored parts with appearance that meet the needs of the application, without the requirement of post-processing, reduces manufacturing time and cost. The objective of the research was to evaluate the influence of the layer height parameter and the dye on the lateral surface integrity of parts produced by additive manufacturing, using commercial versions of natural ABS filaments and with different colors. The sides of the pieces, produced with different colors and heights of layers, were measured to obtain the roughness Ra, Rq and Rz. The results showed that the increase of the layer height caused the increase of the lateral roughness of the pieces, and the color did not cause a significant change in the lateral roughness. Information about the layer height and side finish of samples, produced by additive manufacturing employing ABS, can help researchers and manufacturers of products manufactured using 3D printing.

KEYWORDS: ABS; dye; lateral surface integrity; 3D printing; layer height.

INTRODUÇÃO

Segundo Lovo e Fortulan (2016), a prototipagem rápida ou manufatura aditiva tem como princípio básico de funcionamento, um desenho computacional tridimensional que é convertido em elementos triangulares e então dividido em camadas por um software, em seguida a máquina adiciona material camada a camada até formar o produto equivalente ao desenho proposto.

De acordo com Kaur, Singari e Kumar (2021), os parâmetros que são utilizados na fabricação de produtos usando a prototipagem rápida, tais como, a temperatura de extrusão, velocidade de impressão, altura de camada, temperatura da mesa, estrutura e orientação do preenchimento, cor do filamento usado, entre outros influenciam no comportamento mecânico do ABS.

Landi (2003) enfatiza que o polímero ABS é constituído de termopolímeros que são compostos por dois componentes termoplásticos amorfos e um elemento elastomérico.

Neuplast (2020) afirma que os pigmentos por sua vez são complexos químicos divididos em partículas microscópicas que apresentam coloração particular e como objetivo atingir ou/e colorir um produto/material estipulado. De modo geral, as propriedades de migração, poder tintorial, resistência térmica, entre outros são dependentes das características aplicadas pelos pigmentos.

Machado *et al.* (2022) avaliaram a influência da cor do filamento de ABS na integridade superficial na face superior das peças e apresentaram a relação entre as rugosidades Ra, Rq e Rz.

O objetivo do trabalho foi avaliar a influência da altura de camada e da cor do filamento na integridade superficial lateral de corpos de prova produzidos por Manufatura Aditiva. A produção de peças coloridas com aparência adequada e impressas com os parâmetros adequados, sem a necessidade de pós-processamento possibilita maior produtividade e redução do custo de fabricação.

MATERIAL E MÉTODOS

Para a produção dos corpos de prova foi utilizada uma impressora 3D da marca GTMax3D, com as seguintes características: técnica de Modelagem por Deposição Fundida (MDF), área de impressão de 300 x 300 x 500 mm (comprimento x largura x altura), velocidade máxima de impressão de 180 mm/s, espessura da camada de 0,05 à 0,4 mm no eixo XY e de 0,004 mm no eixo Z, diâmetro do bico extrusor com 0,5 mm e com temperatura máxima de 295 °C, diâmetro de filamento do material de 1,75 mm e aquecimento da mesa de até 135 °C.

Foram produzidas cinco amostras para cada filamento de ABS, nas cores: natural, nude, cinza, preto e vermelho (as cores foram nomeadas conforme as nomenclaturas utilizadas pelo fabricante dos filamentos), com alturas de camada de 0,10 mm, 0,20 mm, 0,30 mm e 0,40 mm, totalizando 100 peças. A temperatura da mesa utilizada foi de 120 °C, a temperatura de extrusão de 230 °C, a velocidade de impressão de 30 mm/s e bico extrusor com diâmetro de 0,50 mm.

Todos os corpos de prova possuem a dimensão de 10 mm de comprimento, 10 mm de largura e 20 mm de altura e ambos como padrão de preenchimento concêntrico e preenchimento de 100%. Todas as amostras foram impressas com os filamentos de ABS de um mesmo fabricante.

Para a avaliação da integridade superficial foi utilizado um medidor de rugosidade superficial da marca Mitutoyo, modelo SJ-210 e com resolução de 0,002 µm.

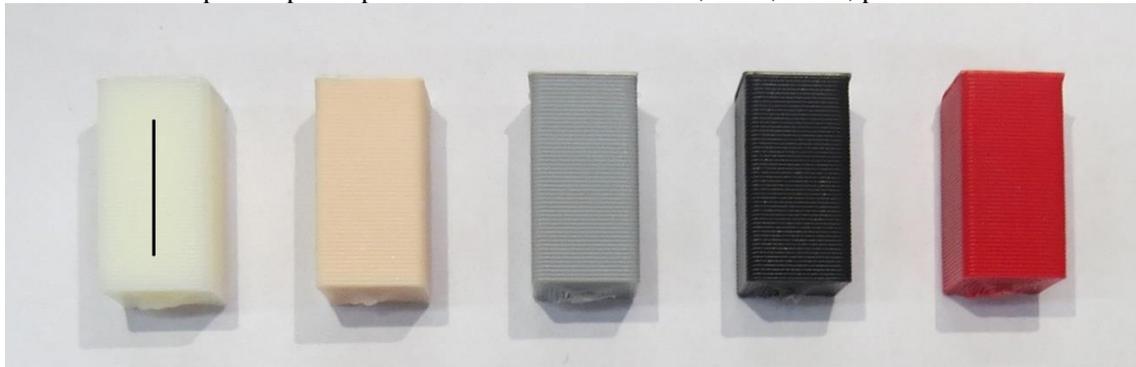
As medições das rugosidades Ra (a qual considera a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas do perfil efetivo em relação à linha média em um comprimento de medição), Rq (a qual representa a raiz quadrada da média da soma dos quadrados dos valores das ordenadas do perfil efetivo em relação à linha média) e Rz (que representa a média aritmética dos valores absolutos das ordenadas dos pontos de maior afastamento, acima e abaixo da linha média) foram realizadas nas quatro laterais de cada corpo de prova. A primeira lateral considerada para medição foi a vista de frente à impressora 3D e as demais laterais adotando o sentido horário ao redor de cada peça. Foram realizadas no total quatrocentas medições e o registro de mil e duzentas rugosidades. Na análise estatística foi considerado o intervalo de confiança de 95%.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dentre as peças produzidas, na Figura 1 foi mostrado uma peça de cada cor abordada no trabalho, fabricada com velocidade de impressão de 30 mm/s, temperatura de extrusão de 230 °C e altura de camada de 0,4 mm. Na Figura 1 encontra-se indicada, com um traço, a região da lateral da peça, na

qual foi realizada a medição das rugosidades Ra, Rq e Rz, para cálculo das médias e respectivos desvios-padrões.

FIGURA 1. Corpos de prova produzidos nas cores natural, nude, cinza, preto e vermelho.



Fonte: Próprios Autores (2023).

Os resultados da rugosidade Ra, a qual considera o cálculo da média para o perfil lateral e o respectivo desvio-padrão, para cada cor e altura de camada, são apresentados no Gráfico 1.

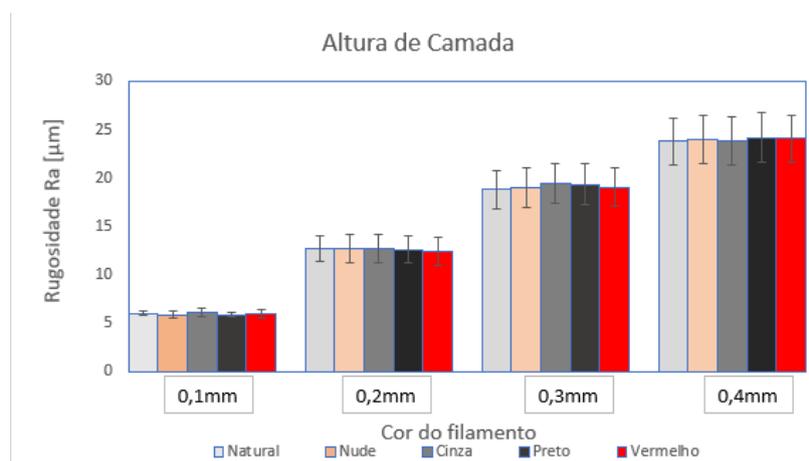


GRÁFICO 1. Resultados obtidos na rugosidade Ra para as diferentes alturas de camada.

Fonte: Próprios Autores (2023).

Os valores médios da rugosidade Ra, para as cores avaliadas, foram próximos dentro da respectiva altura de camada. Nas peças produzidas com altura de camada de 0,1 mm, o menor valor da rugosidade média ocorreu na cor nude (5,891 μm) e o maior valor no vermelho (6,036 μm) e a diferença entre os valores extremos foi de aproximadamente 2,5 %. Nas peças com altura de camada 0,2 mm, o menor valor das rugosidades médias ocorreu no vermelho (12,449 μm) e o maior valor na cor cinza (12,735 μm) e a diferença entre os valores extremos foi de aproximadamente 2,3 %. Nas peças com altura de camada 0,3 mm, o menor valor das rugosidades médias ocorreu no natural (18,842 μm) e o maior valor na cor cinza (19,405 μm) e a diferença entre os valores extremos foi de aproximadamente 3,0 %. Nas peças com altura de camada 0,4 mm, o menor valor das rugosidades médias ocorreu no natural (23,792 μm) e o maior valor no preto (24,200 μm) e a diferença entre os valores extremos foi de aproximadamente 1,7 %. A média da rugosidade Ra, considerando todas as cores, para as alturas de camada: de 0,1 mm foi de 6,003 μm , de 0,2 mm foi de 12,640 μm , de 0,3 mm foi de 19,143 μm e de 0,4 mm foi de 23,996 μm . Sendo assim, considerando a rugosidade média para a altura de camada de 0,1 mm, o valor da rugosidade média para a altura de 0,2 mm foi 2,1 vezes maior, para a altura de 0,3 mm foi 3,2 vezes maior e para a altura 0,4 mm foi 4 vezes maior.

Os resultados da rugosidade Rq, a qual considera o cálculo da média para o perfil lateral e o respectivo desvio-padrão, para cada cor e altura de camada, são apresentados no Gráfico 2.

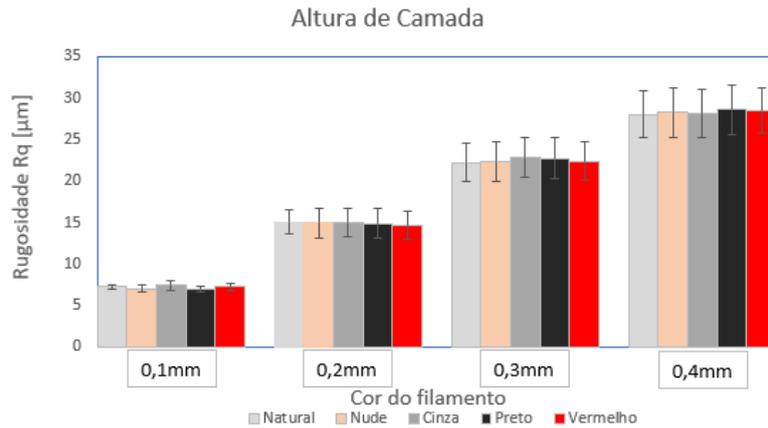


GRÁFICO 2. Resultados obtidos na rugosidade Rq para as diferentes alturas de camada.
Fonte: Próprios Autores (2023).

Os valores médios da rugosidade Rq, para as cores avaliadas, foram próximos dentro da respectiva altura de camada. Nas peças produzidas com altura de camada de 0,1 mm, o menor valor da rugosidade média ocorreu na cor preto (7,045 μm) e o maior valor no cinza (7,410 μm) e a diferença entre os valores extremos foi de aproximadamente 5,2 %. Nas peças com altura de camada 0,2 mm, o menor valor das rugosidades médias ocorreu no vermelho (14,701 μm) e o maior valor na cor cinza (15,402 μm) e a diferença entre os valores extremos foi de aproximadamente 4,8 %. Nas peças com altura de camada 0,3 mm, o menor valor das rugosidades médias ocorreu no natural (22,214 μm) e o maior valor na cor cinza (22,799 μm) e a diferença entre os valores extremos foi de aproximadamente 2,6 %. Nas peças com altura de camada 0,4 mm, o menor valor das rugosidades médias ocorreu no natural (28,031 μm) e o maior valor no preto (28,613 μm) e a diferença entre os valores extremos foi de aproximadamente 2,1 %. A média da rugosidade Rq, considerando todas as cores, para as alturas de camada: de 0,1 mm foi de 7,199 μm, de 0,2 mm foi de 14,923 μm, de 0,3 mm foi de 22,509 e de 0,4 mm foi de 28,325 μm. Sendo assim, considerando a rugosidade média para a altura de camada de 0,1 mm, o valor da rugosidade média para a altura de 0,2 mm foi 2,1 vezes maior, para a altura de 0,3 mm foi 3,1 vezes maior e para a altura 0,4 mm foi 3,9 vezes maior.

Os resultados da rugosidade Rz, a qual considera o cálculo da média para o perfil lateral e o respectivo desvio-padrão, para cada cor e altura de camada, são apresentados no Gráfico 3.

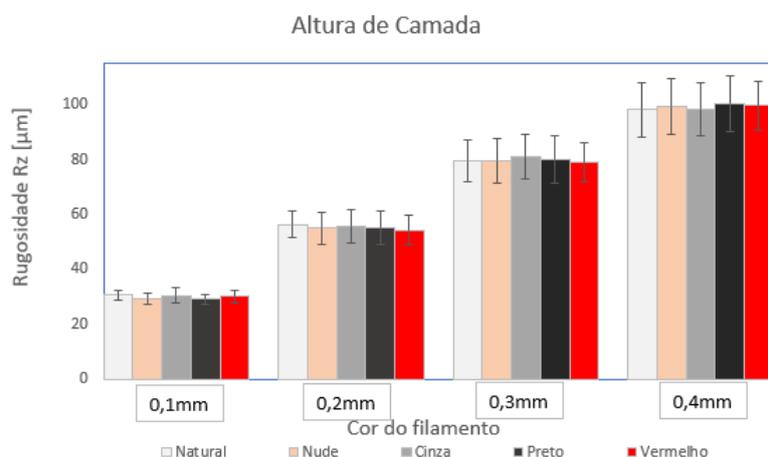


GRÁFICO 3. Resultados obtidos na rugosidade Rz para as diferentes alturas de camada.
Fonte: Próprios Autores (2023).

Os valores médios da rugosidade Rz, para as cores avaliadas, foram próximos dentro da respectiva altura de camada. Nas peças produzidas com altura de camada de 0,1 mm, o menor valor da

rugosidade média ocorreu na cor preto (29,057 μm) e o maior valor no natural (30,619 μm) e a diferença entre os valores extremos foi de aproximadamente 5,4 %. Nas peças com altura de camada 0,2 mm, o menor valor das rugosidades médias ocorreu no vermelho (54,311 μm) e o maior valor na cor natural (56,336 μm) e a diferença entre os valores extremos foi de aproximadamente 3,7 %. Nas peças com altura de camada 0,3 mm, o menor valor das rugosidades médias ocorreu no vermelho (79,055 μm) e o maior valor na cor cinza (81,039 μm) e a diferença entre os valores extremos foi de aproximadamente 2,5 %. Nas peças com altura de camada 0,4 mm, o menor valor das rugosidades médias ocorreu no natural (98,081 μm) e o maior valor no preto (100,289 μm) e a diferença entre os valores extremos foi de aproximadamente 2,3 %. A média da rugosidade Rz, considerando todas as cores, para as alturas de camada: de 0,1 mm foi de 29,942 μm , de 0,2 mm foi de 55,250 μm , de 0,3 mm foi de 79,798 μm e de 0,4 mm foi de 99,082 μm . Sendo assim, considerando a rugosidade média para a altura de camada de 0,1 mm, o valor da rugosidade média para a altura de 0,2 mm foi 1,9 vezes maior, para a altura de 0,3 mm foi 2,7 vezes maior e para a altura 0,4 mm foi 3,3 vezes maior.

Os resultados encontrados para a razão entre os parâmetros Rq e Ra, para cada altura de camada, são mostrados no Gráfico 4.

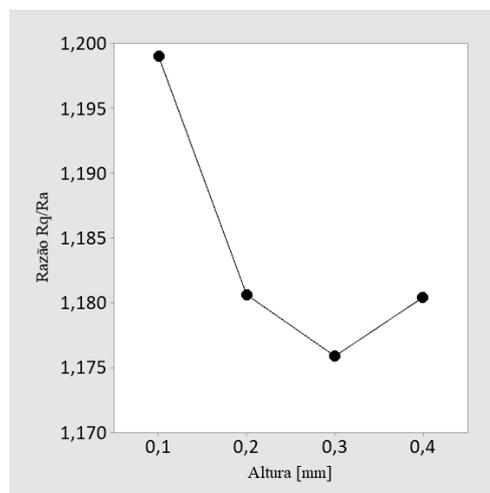


GRÁFICO 4. Relação Rq/Ra para as diferentes alturas de camada.

Fonte: Próprios Autores (2023).

A razão entre Rq e Ra, na altura de camada de 0,1 mm, foi equivalente a aproximadamente 1,2 vezes, ou seja, Rq foi 20 % maior do que Ra. Para as alturas de camadas de 0,2 mm, 0,3 mm e 0,4 mm, Rq foi maior do que Ra em aproximadamente 18 %, 17,5 % e 18 %, respectivamente. Comparando a relação entre Rq e Ra obtido por Machado *et al.* (2022), que encontraram a razão de 1,2 vezes ao estudar a integridade superficial no topo das peças, constata-se que a relação entre as rugosidades no topo da peça foi semelhante ao acabamento lateral das peças para a altura de camada 0,1 mm estudada nesta pesquisa. Para as demais alturas de camada os valores da razão entre as rugosidades apresentaram valores menores que 20 %.

A análise estatística de variância, considerando a confiabilidade de 95 %, indicou que a cor do filamento não interferiu na variação significativa da rugosidade lateral das amostras para uma mesma altura de camada. O mesmo não aconteceu considerando a variável altura de camada, sendo que o acréscimo dos valores da altura de camada ocasionou no aumento significativo dos valores médios das rugosidades Ra, Rq e Rz.

CONCLUSÕES

A altura de camada influenciou na integridade superficial lateral das peças produzidas por manufatura aditiva. Verificou-se a variação proporcional do parâmetro de impressão altura de camada com a rugosidade lateral das amostras produzidas, sendo que a variação da altura de camada na impressão das peças em 2, 3 e 4 vezes, com relação à altura de camada 0,1 mm, ocasionou em rugosidades laterais próximas de 2, 3 e 4 vezes dos valores de Ra e Rq, para as alturas de camadas

correspondentes a 0,2 mm, 0,3mm e 0,4 mm, respectivamente. As rugosidades Rz, com relação à altura de camada de 0,1 mm, apresentou a proporção de 2 vezes, 2,7 vezes e 3,3 vezes para as alturas de camadas 0,2, 0,3 e 0,4 mm, respectivamente.

A cor do filamento não interferiu na variação significativa da rugosidade lateral das amostras para uma mesma altura de camada.

A escolha correta dos parâmetros de impressão e da cor do filamento pode contribuir para a produção de peças com controle de acabamento, geração de superfícies funcionais, otimização de processos e redução de custos produtivos, dispensando a necessidade de pós-processamentos para a obtenção do acabamento desejado na fabricação das peças.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

L.P.S, J.R.C e C.L.F.A contribuíram com a curadoria e análise dos dados. L.P.S, J.R.C e K.S.T procederam com a metodologia e experimentos. L.P.S e J.R.C atuaram na redação do trabalho.

Todos os autores contribuíram com a revisão do trabalho e aprovaram a versão submetida.

AGRADECIMENTOS

Ao IFSP pela bolsa de iniciação científica e a empresa GTMax3D, que doou os materiais para impressão das amostras.

REFERÊNCIAS

KAUR, G.; SINGARI, R. M.; KUMAR, H. A review of fused filament fabrication (FFF): process parameters and their impact on the tribological behavior of polymers (ABS). **Material Today: Proceedings**, 2021.

LANDI, T. R. L. **Estudo do efeito da radiação ionizante por feixe de elétrons sobre o terpolímero Acrilonitrila Butadieno Estireno – ABS**. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Ciências - Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, São Paulo, 2003.

LOVO, J. F. P.; FORTULAN, C. A. Estudo de propriedades mecânicas e anisotropia em peças fabricadas por manufatura aditiva tipo FDM. **1º Simpósio do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica**. São Carlos, 2016.

MACHADO, F. C. Influência da cor do filamento de ABS na integridade superficial de peças fabricadas por fabricação por filamento fundido. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E CIÊNCIAS DOS MATERIAIS**, Águas de Lindóia, 2022, Anais ... Águas de Lindóia: CBECiMat, 2022.

NEUPLAST, C. **Pigmentos para plásticos: como funciona o processo de pigmentação?** [S. l.], 2020. Acesso em 25 ago. 2023. Disponível em: <https://www.neuplast.com.br/blog/pigmentos-para-plasticos-como-funciona-o-processo-de-pigmentacao/>.