

IDENTIFICAÇÃO DE REGIÕES SEM PREENCHIMENTO NA DEPOSIÇÃO ZIGUE-ZAGUE EM IMPRESSÃO 3D

Arthur Fenili da Silva¹, Ricardo Dutra da Silva²
, Rodrigo Minetto³, Neri Volpato⁴

RESUMO: A tecnologia de impressão 3D/manufatura aditiva por extrusão de material deposita filamento seguindo uma trajetória em padrão zigue-zague. Essa deposição pode apresentar áreas sem preenchimento, que causam vulnerabilidade no produto final. A identificação dessas áreas é importante para auxiliar no desenvolvimento de estratégias e otimizações que minimizem o problema. O trabalho proposto calcula os polígonos da espessura dos filamentos e dos contornos, e com auxílio de operações matemáticas torna-se possível encontrar os espaços sem preenchimento na peça. O objetivo deste trabalho é determinar essas áreas realizando operações entre o polígono da área total a ser preenchida e os polígonos estimados dos filamentos dados por uma deposição zigue-zague. O método foi implementado em C++ no sistema de planejamento de processo RP3, do NUFER (Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental) da UTFPR. As informações resultantes do processo de fatiamento e preenchimento do RP3, como camadas, contornos e *rasters*, são utilizadas para gerar os polígonos da área estimada de preenchimento e da área ideal de preenchimento. A diferença entre os mesmos determina os polígonos que delimitam regiões com falta de preenchimento. A implementação no RP3 permite visualizar os polígonos dos filamentos, contornos e também os polígonos das regiões sem preenchimento ao final do processo. Além de facilitar a visualização, o método proposto permite o desenvolvimento futuro de estratégias para minimização de regiões sem preenchimento em geometrias.


Palavras-chave: preenchimento zigue-zague. falta de preenchimento. operações de polígonos

1 INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva, ou também conhecida como impressão 3D, é um processo de fabricação que ocorre por meio adição sucessiva de material na forma de camadas, a partir de informações obtidas diretamente de uma representação geométrica computacional 3D do objeto a ser impresso. Esse processo aditivo permite fabricar componentes físicos utilizando diferentes tipos de materiais, formas e a partir de diversos princípios (VOLPATO, 2017).

Uma das estratégias mais utilizadas para a deposição do material é o preenchimento do tipo *raster*, que consiste em deslocamentos lineares paralelos alternados, gerando uma trajetória tipo zigue-zague. No entanto, essa estratégia de deposição pode apresentar áreas sem preenchimento, isto é, regiões onde não ocorre a deposição de material, um problema que causa vulnerabilidade no produto final obtido pela impressão 3D.

¹  Engenharia de Computação, UTFPR; ✉ arthurfenili@alunos.utfpr.edu.br.

²  DAINF, UTFPR; ✉ rdsilva@utfpr.edu.br.

³  DAINF, UTFPR; ✉ rminetto@utfpr.edu.br.

⁴  DAMEC, UTFPR; ✉ nvolpato@utfpr.edu.br.

A identificação das áreas sem preenchimento é importante para auxiliar no desenvolvimento de estratégias e otimizações que minimizem o problema. O trabalho proposto tem como objetivo determinar as áreas sem preenchimento de uma peça, utilizando do cálculo dos polígonos da espessura do *raster* e dos contornos, e com o auxílio de operações matemáticas entre o polígono da área total a ser preenchida e os polígonos estimados de preenchimento.

2 METODOLOGIA

O método foi implementado em linguagem C++ no sistema de planejamento de processo RP3 (*Rapid Prototyping Process Planning*), desenvolvido no NUFER (Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental) da UTFPR.

2.1 Cálculo e Geração dos Polígonos

As informações resultantes do processo de fatiamento (MINETTO et al., 2017) e de preenchimento do RP3, como camadas, contornos e *rasters* da peça, juntamente com as larguras dos filamentos definidas pelo usuário na interface do RP3, são utilizadas como dados de entrada para o método. Com base nessas informações e com o auxílio de funções da biblioteca *Clipper* (JOHNSON, 2024), é realizado um *offset*, que é o processo de criação de curvas paralelas a uma distância especificada da curva de origem, gerando os polígonos que simulam a largura da deposição dos contornos e dos *rasters*.

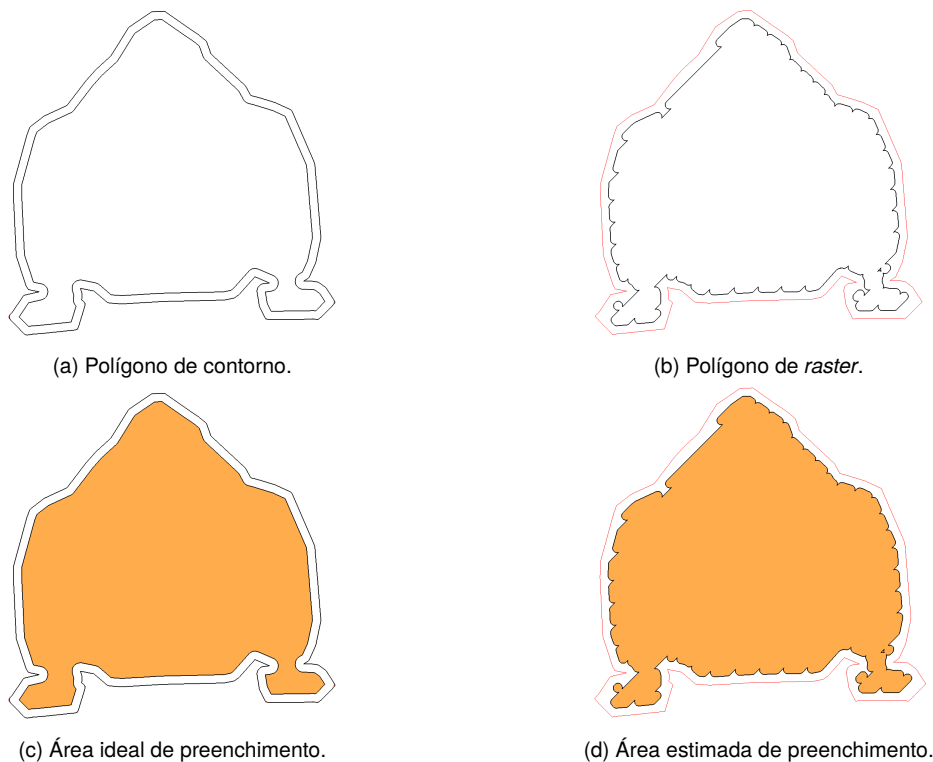


Figura 1 – Comparação entre polígonos de contornos e *rasters*. Fonte: Autoria própria.

Os polígonos de contornos (Figura 1a) delimitam a área total do objeto a ser impresso, isto é, determinam a área ideal de preenchimento, representada na Figura 1c. Por outro lado, os polígonos de *rasters* (Figura 1b) representam onde a máquina vai realizar a deposição, ou seja, representam a área estimada de preenchimento, que pode ser vista na Figura 1d.

2.2 Subtração de Polígonos

Para realizar a subtração de polígonos, utilizou-se a função de diferença da biblioteca *Clipper*, conforme ilustrado na Figura 2, onde a área de cor laranja é subtraída da área de cor azul, resultando na área de cor verde. A função recebe como entrada dois polígonos e retorna um vetor de polígonos como saída.

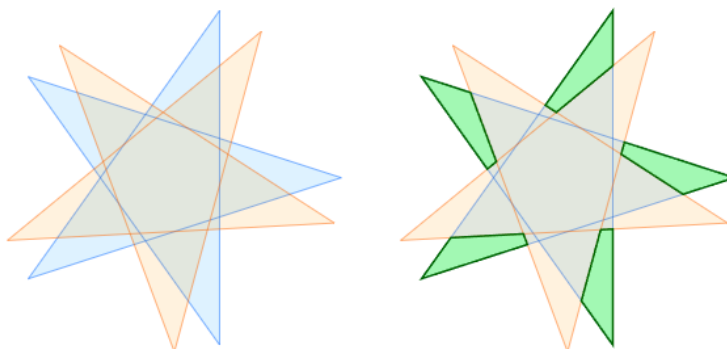


Figura 2 – Operação de diferença entre polígonos. Fonte: <https://angusj.com/clipper2/Docs/Units/Clipper/Functions/Difference.htm>

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As peças utilizadas para os experimentos no presente artigo estão dispostas na Figura 3.

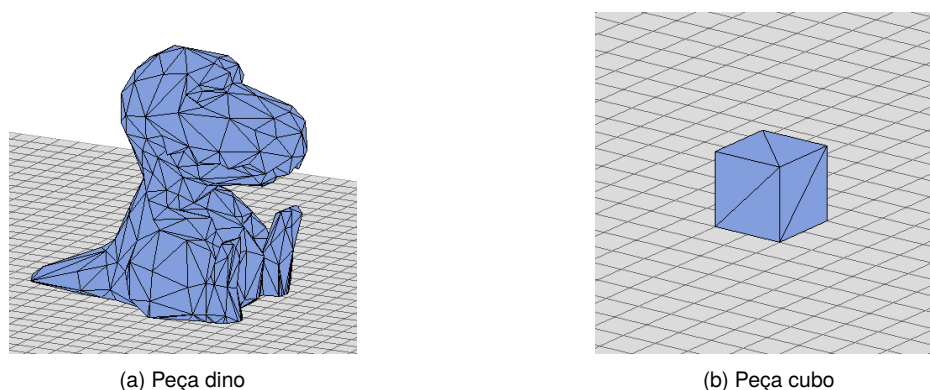


Figura 3 – Peças utilizadas. Fonte: Autoria própria.

A implementação gráfica dos polígonos permite a visualização da área estimada de deposição de material na peça, como pode ser visto na Figura 4.

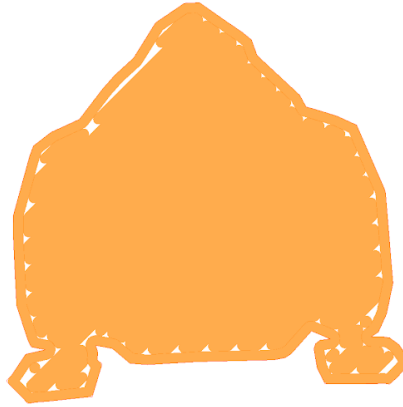
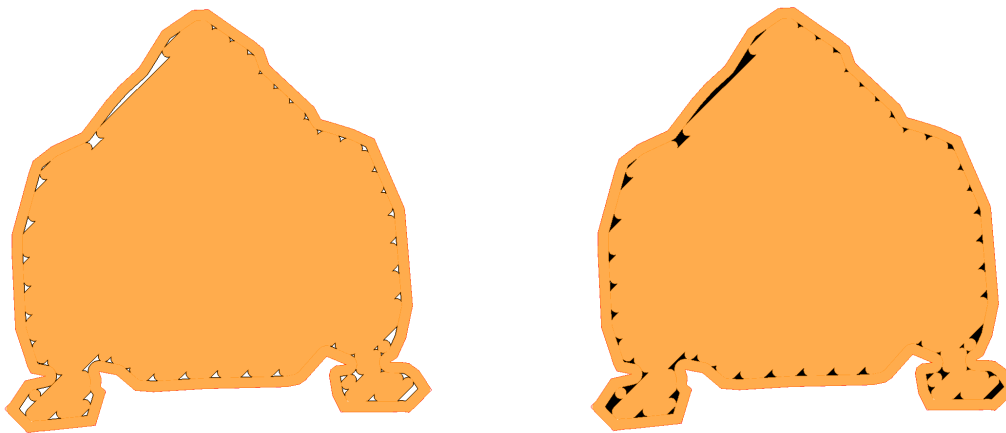


Figura 4 – Visualização da área estimada de deposição.
Fonte: Autoria própria.

Ao realizar a diferença entre a área delimitada pelos polígonos de contorno e a área coberta pelos polígonos de *rasters*, obtêm-se os polígonos que delimitam as regiões sem preenchimento da peça, apresentados na Figura 5.

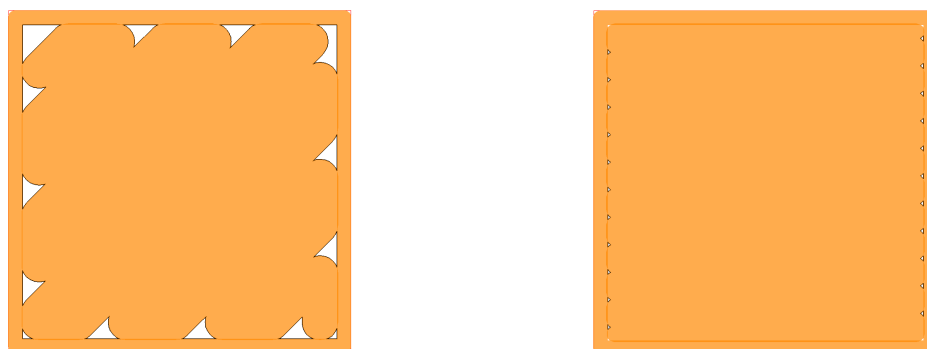


(a) Polígonos dos espaços sem preenchimento.

(b) Área estimada sem preenchimento.

Figura 5 – Determinação das áreas sem preenchimento. Fonte: Autoria própria.

As regiões sem preenchimento podem ocorrer devido à angulação dos cantos da peça ou pela falta de espaço para criação de um novo trecho de *raster* em função da geometria do contorno. Em alguns casos é possível minimizar este problema ajustando os parâmetros de impressão, como a largura do filamento, o ângulo de deposição do *raster*, entre outros. A Figura 6 ilustra a simulação de preenchimento de uma mesma peça com dois conjuntos de parâmetros diferentes, na Figura 6a, com largura de filamento de 1 mm e ângulo de raster de 45°, os espaços sem preenchimento são visivelmente maiores, enquanto na Figura 6b, com a largura diminuída para 0.4 mm e o ângulo de raster de 0°, esses espaços foram minimizados.



(a) Largura de filamento de 1 mm e ângulo de *raster* de 45°. (b) Largura de filamento de 0.4 mm e ângulo de *raster* de 0°.

Figura 6 – Comparação entre uma mesma peça com diferentes parâmetros de impressão.
Fonte: Autoria própria.

Com a determinação dos polígonos correspondentes aos espaços sem preenchimento, é possível calcular tanto a área de cada espaço individualmente como também a área total sem deposição em uma camada, permitindo assim o desenvolvimento de estratégias para identificar o melhor conjunto de parâmetros de impressão para uma determinada peça.

Nos casos em que não é possível minimizar significativamente as áreas sem preenchimento ou quando é preciso um maior rigor na produção, estratégias de otimização tornam-se necessárias para diminuir este problema. Sendo assim, este trabalho permite o início do desenvolvimento dessas otimizações.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho apresenta uma metodologia para a identificação de áreas sem preenchimento em peças fabricadas por impressão 3D por extrusão de material utilizando a estratégia de preenchimento tipo *raster*. O método desenvolvido facilita a visualização do preenchimento da peça durante o processo de planejamento, permitindo ao usuário analisar e tomar decisões baseadas nas áreas observadas antes de iniciar a impressão. Além disso, o método proposto abre caminho para o desenvolvimento futuro de estratégias de otimização, voltadas a minimização dos espaços sem preenchimento.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos professores Ricardo Dutra da Silva, Rodrigo Minetto e Neri Volpato pelos ensinamentos e orientações durante o desenvolvimento das atividades, e também ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de iniciação tecnológica.

REFERÊNCIAS

JOHNSON, Angus. **Clipper2 - Polygon Clipping and Offsetting Library**. [S.l.: s.n.], 2024.
<https://www.angusj.com/clipper2/Docs/Overview.htm>.

MINETTO, Rodrigo et al. An optimal algorithm for 3D triangle mesh slicing. **Computer-Aided Design**, v. 92, p. 1–10, 2017. ISSN 0010-4485. DOI:
<https://doi.org/10.1016/j.cad.2017.07.001>. Disponível em: [↗](#).

VOLPATO, Neri. **Manufatura aditiva; Tecnologias e Aplicações da Impressão 3D**. São Paulo: Editora Blucher, 2017.