



SEI-SICITE 2021

Pesquisa e Extensão para um mundo em transformação

# Melhorias no algoritmo de deposição segmentada para impressão 3D de meio poroso

## *Improvements in the algorithm for segmented deposition to 3D print porous media*

Heitor Tonel Ventura (orientado)\*, Neri Volpato (orientador)†,

Felipe Gonçalves Di Nisio‡

### RESUMO

A impressão 3D de meios porosos usando a proposta de deposição segmentada oferece um diferencial em termos de estrutura porosa que pode ser obtida. O algoritmo de deposição segmentada previamente implementado no software RP3 do NUFER/UTFPR apresenta algumas deficiências relacionadas à falta de simetria do preenchimento e comprimento inadequados de trechos grossos nas bordas da camada. Também foi observada a oportunidade de aplicar um desalinhamento de rasters porosos e rasters contínuos entre camadas. Este trabalho apresenta a implementação de um novo algoritmo que corrige essas falhas. Os resultados demonstraram que a performance se manteve similar ao algoritmo anterior e os problemas observados foram corrigidos. Conclui-se que o novo algoritmo atende melhor a impressão de meios porosos com a estratégia de deposição segmentada.

**Palavras-chave:** Manufatura aditiva, Meios porosos, Algoritmos

### ABSTRACT

The 3D printing of porous media using the segmented deposition proposal offers a differential in terms of the porous structure that can be obtained. The segmented deposition algorithm previously implemented in NUFER/UTFPR's RP3 software presents some deficiencies related to the lack of symmetry of the filling and inadequate length of thick sections at the borders of the layer. The opportunity to apply a misalignment of porous rasters and continuous rasters between layers was also noted. This work presents the implementation of a new algorithm that corrects these flaws. The results showed that the performance remained similar to the previous algorithm and the observed problems were fixed. It is concluded that the new algorithm better serves the printing of porous media with the segmented deposition strategy.

**Keywords:** Additive manufacturing, Porous media, Algorithms

## 1 INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva (AM), ou impressão 3D, é um processo de fabricação a partir da adição sucessiva de material na forma de camadas obtidas por meio de uma representação computacional normalmente originária de um sistema CAD (*computed-aided design*) (VOLPATO, 2017, p. 17). A AM pode ser utilizada para a geração de meios porosos (MP) - estruturas sólidas que possuem espaços vazios que permitem a

\* Bacharelado em Sistemas de Informação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; [heitorventura@alunos.utfpr.edu.br](mailto:heitorventura@alunos.utfpr.edu.br)

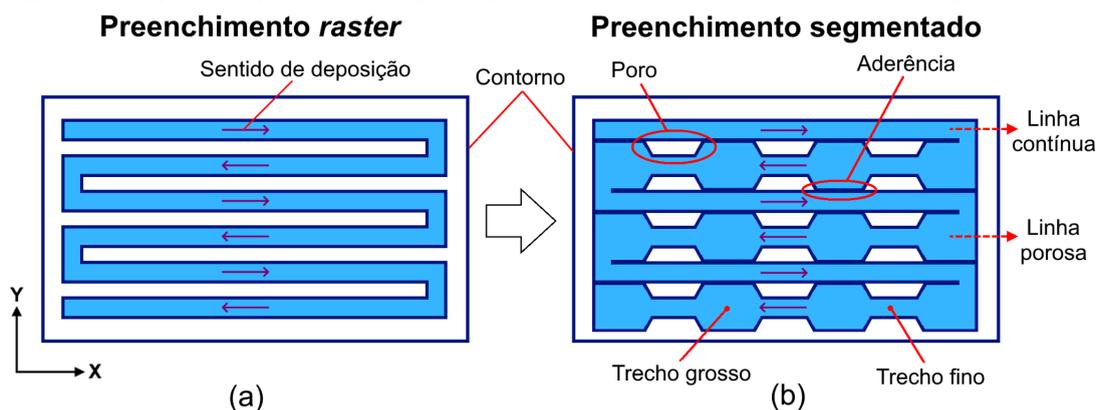
† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba; [nvolpato@utfpr.edu.br](mailto:nvolpato@utfpr.edu.br)

‡ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; [felipenisio@alunos.utfpr.edu.br](mailto:felipenisio@alunos.utfpr.edu.br)

passagem de fluidos (NIELD; BEJAN (2013) Apud FUKUDA; VOLPATO; NISIO (2020)) - com grande potencial para planejar a estrutura porosa.

Em um trabalho anterior, Fukuda, Volpato e Di Nisio (2020), apresentaram um algoritmo capaz de realizar preenchimento segmentado e este foi implementado no software RP3 (*Rapid Prototyping Process Planning*), programa de planejamento de processo de AM em desenvolvimento pelo Núcleo de Manufatura Aditiva e Ferramental (NUFER). Esse algoritmo funciona a partir de uma adaptação do preenchimento de tipo *raster* (Fig. 1a), que forma um padrão constituído de linhas paralelas que se alternam de sentido de deposição (trajetória em zigue-zague). O algoritmo proposto alterna entre linhas denominadas de contínuas e linhas definidas como porosas. As primeiras possuem uma parametrização única, o que deposita uma linha contínua, enquanto as segundas alternam entre trechos grossos e finos. Ao lado dos trechos grossos ocorre a aderência com a linha contínua adjacente, enquanto na região dos trechos finos são gerados os poros. Uma representação da estratégia pode ser observada na Fig. 1b.

Figura 1 – Representação da estratégia de preenchimento raster tradicional (a) e segmentada (b)



Fonte: Adaptado de Di Nisio, Fukuda e Volpato (2021)

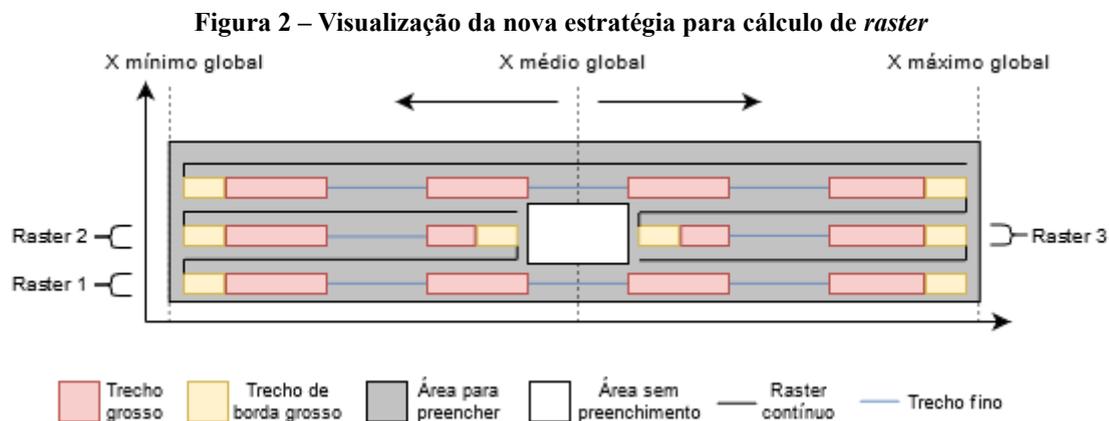
Os resultados obtidos com este algoritmo nos estudos de Fukuda, Volpato e Di Nisio (2020) e Di Nisio, Fukuda e Volpato (2021) foram satisfatórios para situações particulares, mas apresentaram algumas lacunas. Um problema observado foi a formação assimétrica dos trechos longos e trechos finos nas peças (principalmente em geometrias circulares). Na estratégia definida anteriormente, os trechos de *raster* são definidos a partir de um ponto X global mínimo à esquerda da peça. A partir dele as distâncias são iterativamente incrementadas no eixo X (já que os *rasters* são horizontais) e os segmentos são formados. Porém, essa tática resultava em sobras adicionadas somente a um lado do *raster*. Por causa disso, alterações em parâmetros que teoricamente implicariam num aumento de porosidade ou permeabilidade da superfície poderiam causar o efeito oposto, resultado da má distribuição de poros. Outro problema percebido foi que o algoritmo não considerava um tamanho de segmento mínimo, resultando em segmentos grossos de espessura muito pequena no início ou fim dos *rasters*, apresentando poros muito próximos das bordas da camada impressa. Um terceiro aspecto abordado foi a possibilidade de gerar desalinhamentos de *rasters*, onde as camadas alternam a posição dos *rasters* porosos com os *rasters* contínuos, permitindo uma nova forma de alteração das estruturas porosas obtidas.

Com base nisso, esse estudo tem por objetivo propor melhorias para o algoritmo para planejamento de processo de impressão 3D proposto em Fukuda, Volpato, Di Nisio (2020) que solucionem problemas acima citados, mantendo a geração de meios porosos e aumentando os possíveis usos para ele de forma que este se torne uma ferramenta mais geral e mais aplicável.

## 2 MÉTODO

O novo algoritmo foi desenvolvido a partir de uma reorganização das operações executadas no algoritmo antigo. Para abordar a assimetria dos trechos, foi necessário determinar previamente o ponto médio da geometria que está sendo analisada. A partir desse ponto, é traçado uma linha de simetria vertical para determinar dois lados diferentes para análise. Como os *rasters* serão linhas sempre com ângulo  $0^\circ$  (resultado da lógica de Faust (2019)) essa linha será perpendicular a eles. O cálculo dos pontos é feito no *raster* em ambos os lados criados a partir da linha de simetria, sendo que a estratégia percorre a partir do meio até a borda da esquerda ou direita, dependendo do lado analisado.

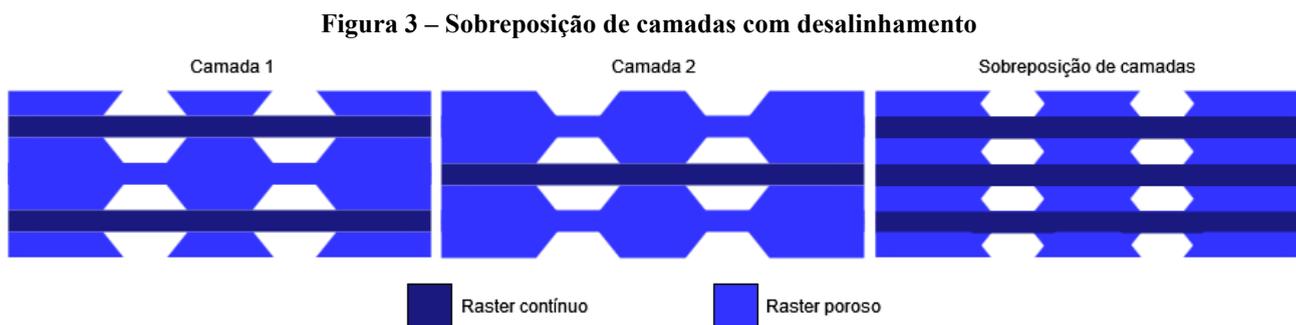
O problema de tamanho de segmento mínimo também é abordado neste momento. Para resolvê-lo, foi adicionado um novo parâmetro chamado Trecho de borda grosso (*Border Segments Length*), que garante um tamanho mínimo de trecho segmentado no início de um *raster* poroso. O comprimento informado neste parâmetro é adicionado tanto no início quanto no fim da análise de uma metade. A estratégia pode ser observada na Fig. 2.



Fonte: Autoria própria (2021).

Pode-se perceber que existem três casos possíveis para um *raster* poroso: ou ele está totalmente à esquerda do X médio global (*raster* 2), totalmente à direita (*raster* 3) do X médio global ou a linha vertical de X médio cruza pelo *raster* (*raster* 1). No último caso, o algoritmo irá dividir o *raster* pelo X médio global em dois trechos menores e executará para cada uma delas uma rotina que iterativamente adiciona pontos intercalando trechos grossos e trechos finos de acordo com os parâmetros recebidos. No primeiro e no segundo caso, uma das rotinas chamadas para um dos lados será vazia e portanto nenhum ponto será adicionado, porém no outro irá executar a rotina de adição de pontos normalmente, a partir do ponto inicial do *raster* recebido. Por causa disso, a lógica funciona para obter os pontos de divisa entre trecho grosso e trecho fino corretamente.

Para obter o resultado com *rasters* desalinhados, foi criado um parâmetro chamado *Misaligned Segmented Lines*, que inverte os *rasters* porosos com os *rasters* segmentados nas camadas de número par. Dessa forma, uma camada terá seu sucessor e seu antecessor com linhas contínuas e linhas porosas no espaço em que a camada atual terá linhas porosas e linhas contínuas respectivamente. O método pode ser visualizado na Fig. 3.



**Fonte: Autoria própria (2021).**

Para observar os efeitos da otimização da simetria no preenchimento, um sólido de seção circular (com diâmetro de 25,4 mm) será processado no programa, gerando prévias da disposição dos trechos na camada com e sem a simetria implementada. Serão utilizados três diferentes valores de comprimento de trecho fino para que a distribuição dos poros com dimensões variadas seja comparada.

Procurando analisar as melhorias geradas no preenchimento com borda, amostras circulares serão impressas com apenas uma camada, uma contendo comprimento mínimo de trecho de borda e outra não. As amostras são impressas em material PLA (poliácido láctico), da marca 3D Lab, em uma impressora 3D do modelo Anet A8. As amostras serão observadas em um microscópio digital USB e fotografadas na região próxima ao contorno da peça.

Outras duas amostras também serão impressas com 5 camadas cada: uma com e outra sem a aplicação do *Misaligned Segmented Lines*. Estas amostras serão fotografadas no microscópio na sua região central, procurando observar diferenças na formação dos poros das duas camadas.

### 3 RESULTADOS

Os resultados da simetria, dentro da visualização do software RP3, podem ser observados na Fig. 4. Foi verificado nas peças testadas que houve simetria entre os *rasters* no sentido que eles percorrem (simetria vertical na Fig. 4). É visto que não há garantia de simetria no sentido perpendicular aos *rasters* (simetria horizontal na Fig. 4) pois nenhuma mudança foi proposta a respeito do algoritmo de formação de *rasters*, que são gerados da direita para a esquerda com base em parâmetros de largura e espaçamento entre eles na geometria apresentada. Caso a formação dos *rasters* se iniciasse no centro da peça (seguindo a mesma lógica da simetria vertical) e seguisse até os cantos da camada, isso poderia ser corrigido.

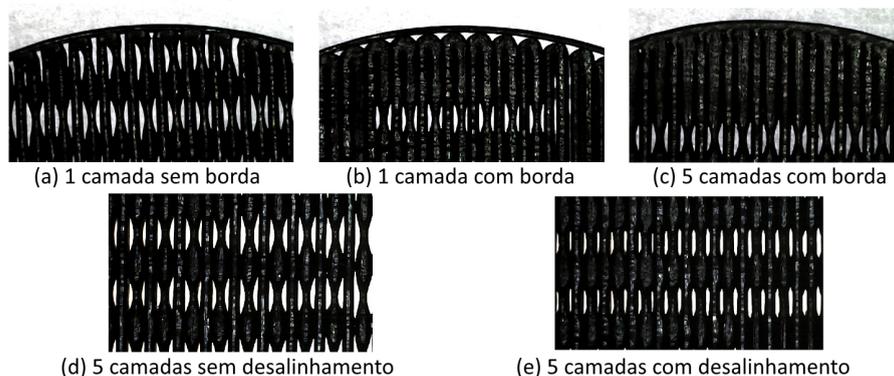
**Figura 4 – Comparação do resultado da simetria com diferentes comprimentos do trecho fino**

Tamanhos de trecho fino	1,5 mm	2 mm	3 mm
Sem simetria			
Com simetria			

Fonte: Autoria própria (2021).

Foi observado também que uma distância mínima de borda foi respeitada. Estes apresentaram também uma melhora significativa. Na Fig. 5 pode-se observar uma comparação dos resultados de uma amostra impressa com uma camada sem tamanho mínimo de borda (a), outra com um tamanho mínimo de borda (b) e uma terceira com tamanho mínimo e múltiplas camadas alinhadas (c). O problema de poros maiores que o esperado nas bordas foi resolvido. Nota-se que, mesmo com a adição do comprimento de borda são formados pequenos vazios indesejados próximos ao contorno, mas os mesmos são corrigidos à medida que mais camadas são adicionadas (como mostrado na imagem da amostra com 5 camadas e com comprimento mínimo de borda).

**Figura 5 – Comparação do resultado obtidos com borda mínima e desalinhamento**



Fonte: Autoria própria (2021).



Os resultados obtidos no desalinhamento de *raster* entre camadas podem ser observados também na Fig. 5. Como as camadas estão desalinhadas (Fig. 5e), o poro final observado parece ter tamanho reduzido, já que a luz do microscópio que permite sua visualização atravessa, basicamente, a interseção de poros de camadas distintas. É visto também que os poros em (e) apresentam também uma maior simetria em seu formato quando comparados aos poros em (d). O desalinhamento também se mostrou condizente com o modelo teórico apresentado na Fig. 3.

#### 4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos se mostraram condizentes com os modelos teóricos e adequados para resolver os problemas propostos. O problema inicial de simetria e de poros muito próximos da borda foram resolvidos e outros tipos de sólidos, como cilindros, passaram a apresentar resultados melhores e mais controlados, com uma distribuição de poros mais estável. O desalinhamento de *rasters* entre camadas trouxe mais uma ferramenta para o desenvolvimento e estudo em cima dessa estratégia, permitindo a formação de uma estrutura porosa diferente. O novo algoritmo apresentado é, no momento atual, o algoritmo padrão do RP3 para a realização de preenchimento por deposição segmentada, substituindo a estratégia antiga. Pode-se concluir que o algoritmo foi aprimorado e mais versatilidade foi adicionada no uso do *software*.

#### AGRADECIMENTOS

Aos Profs. Ricardo Dutra e Rodrigo Minetto que auxiliaram com sugestões para o desenvolvimento do projeto. Ao orientador Prof. Neri Volpato pela escolha para a participação nesse projeto. Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo auxílio financeiro concedido.

#### REFERÊNCIAS

- VOLPATO, Neri (Editor). **Manufatura aditiva: tecnologias e aplicações da impressão 3D**. 1. ed. São Paulo: Blucher. 2017.
- FUKUDA, Fabio Seiti; VOLPATO, Neri; DI NISIO, Felipe Gonçalves. **Algoritmo para preenchimento poroso em impressão 3D através de deposição segmentada**. SICITE - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2020.
- DI NISIO, Felipe Gonçalves; FUKUDA, Fabio Seiti; VOLPATO, Neri. **Obtenção de meios porosos por manufatura aditiva através de estratégia de preenchimento segmentado**. COBEF - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2021.
- FAUST, Ricardo Casagrande. **Método paralelo de cálculo da trajetória de preenchimento em zigue-zague para manufatura aditiva**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.