

Otimização de rotas em impressão 3D considerando ilhas e inserção do mais próximo

Route optimization for 3D printing considering islands and nearest insertion

RESUMO

Felipe Negrelli Wolter
fwolter@alunos.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Neri Volpato
nvolpato@utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Ricardo Dutra da Silva
rdutra@dainf.ct.utfpr.edu.br
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

Rodrigo Minetto
rodrigo.minetto@gmail.com
Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil

O tempo de fabricação é importante em um processo de manufatura aditiva e deve ser minimizado a fim de torná-lo mais econômico. O método proposto nesse artigo visa reduzir o tempo de deslocamento em vazio (reposicionamento do cabeçote de deposição) e tem como base a heurística de Inserção do Mais Próximo (Nearest Insertion). A proposta busca reduzir o número de pontos utilizados no cálculo da rota de contornos, reduzindo o custo computacional. A redução de pontos é atingida por meio da atribuição de um único ponto a um conjunto de contornos categorizados como ilhas. O método proposto foi comparado ao anterior e foi observado um ganho significativo (de até 90% em alguns casos) no tempo computacional, mantendo praticamente a mesma distância de deslocamento do bico.

PALAVRAS-CHAVE: Algoritmos. Caixeiros viajantes. Processos de fabricação

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autorial: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



ABSTRACT

The time necessary to fabricate a part is very important in an additive manufacturing process and must be minimized in order to make it more economic. The method proposed in this work seeks to reduce the time spent with head displacements without material deposition (repositioning of the extrusion head) and is based on the Nearest Insertion heuristic. The proposal seeks to reduce the amount of points used in the calculation of the contour strategy, improving the computational cost. The reduction of the number of points is obtained by attributing just one point to a group of contours identified as islands. The proposed method was compared to the previous one and the results obtained showed a significant gain (up to 90%) in the computational time, while keeping almost the same repositioning distance.

KEYWORDS: Algorithms. Travelling salesmen. Manufacturing process



INTRODUÇÃO

A manufatura aditiva (AM), ou impressão 3D, é um processo de fabricação baseado na deposição de material em camadas (Volpato et al.,2019). Cada fatia do modelo gerado pelo software de planejamento de processo é composto por contornos (polígonos fechados) e trechos de preenchimento, normalmente do tipo raster (trajetória zigue-zague) (Weller et al., 2019). Cabe também ao software gerar a ordem na qual cada região da peça será feita, que resulta no trajeto percorrido pelo cabeçote de deposição da máquina. Sendo o processo de AM considerado lento (Volpato et al.,2019), a obtenção de rotas mais eficientes é um fator de contribuição para acelerar o mesmo.

Nesse contexto, o tempo improdutivo devido à rota de reposicionamento do cabeçote deve, sempre que possível, ser minimizado. Tratando-se, porém, de um problema de complexidade exponencial, análogo ao problema do caixeiro viajante (Rosenkrantz et al., 1977), o algoritmo para o cálculo do trajeto deve fornecer, ao mesmo tempo, uma solução boa e que seja obtida em um intervalo curto de tempo.

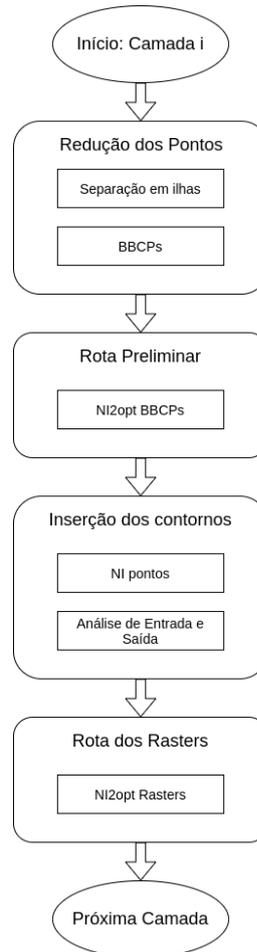
Um método proposto anteriormente por Volpato et al.(2019) denominado NI2opt, trabalha com a heurística de inserção do mais próximo, que consiste em fazer a inserção sucessiva dos elementos mais próximos ao caminho anterior, seguida da heurística 2-opt, que analisa a troca entre 2 elementos, visando a retirada de cruzamentos na rota. Essa proposta apresentou uma melhoria considerável em relação às alternativas estudadas. No entanto, algumas das operações feitas pelo método representavam um grande custo computacional. Em especial, ao realizar a inserção do mais próximo dos contornos, muitas operações eram feitas com pontos muito próximos de um mesmo contorno, não contribuindo para o resultado final. Além disso, os contornos que possuem outros internos a ele, poderiam ser omitidos dos cálculos, pois obrigatoriamente seriam cruzados pela rota ao se dirigir aos contornos de dentro (Weller et al., 2021). Esses procedimentos foram identificados como fator limitante à redução do tempo de processamento do método.

Para atacar este problema, Weller et al. (2021) sugerem a aplicação de um pré-processamento dos dados, uma das bases da proposta discutida neste artigo. Entretanto, a descrição de ilha nele contida difere da definição utilizada nesse trabalho.

MATERIAL E MÉTODOS

O método de ilhas, para solucionar o problema mencionado, separa a análise dos contornos em 3 partes (Figura 1): redução de pontos, rota preliminar e inserção dos contornos. O método proposto foi aplicado somente aos contornos, sendo os trechos de raster otimizados pelo método NI2opt.

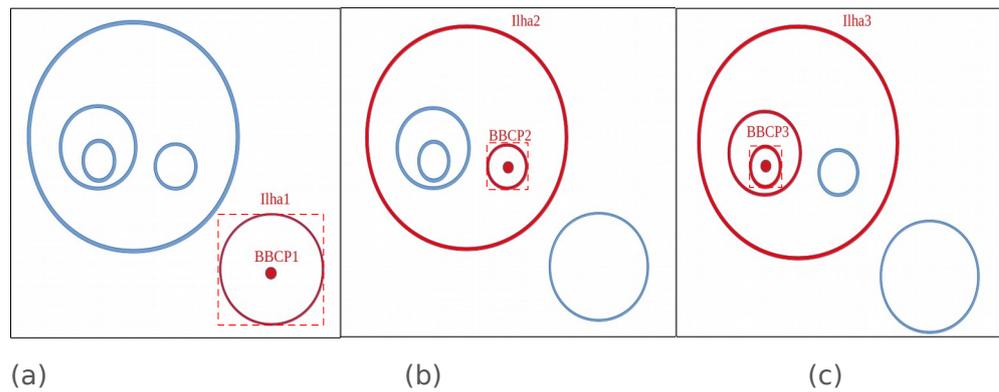
Figura 1 - Fluxograma do método



Fonte: Autoria Própria (2020).

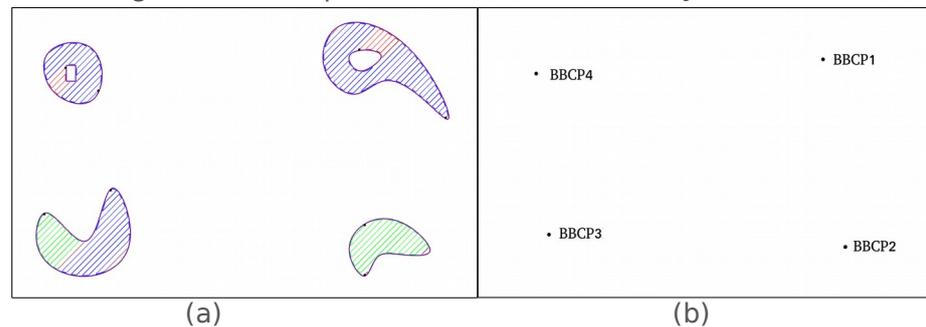
Primeiramente, o conceito de ilha proposto em Weller et al. (2021), onde é definida como um contorno que delimita externamente uma região onde haverá deposição de material, foi alterado. Neste trabalho, uma ilha é definida como o conjunto formado por um contorno que não envolve nenhum outro, chamado de contorno mais interno, e os contornos que o circundam (Figura 2). Conseqüentemente, os contornos em uma ilha apresentam uma relação hierárquica relacionada com os contornos contidos nele. Após identificar as ilhas, o ponto central da caixa delimitadora (*bounding box center point* - BBCP) do contorno mais interno de uma ilha é usado para representá-la. Para a identificação e hierarquia das ilhas, é usado o algoritmo *Point in Polygon* (Hormann, Agathos, 2000). Os BBCPs respectivos de cada ilha estão indicados na Figura 2. Outro exemplo é mostrado na figura 3.

Figura 2 - Exemplo de identificação de ilhas em uma fatia: ilha 1 (a), ilha 2(b) e ilha 3(c) e respectivos BBCPs.



Fonte: Autoria Própria (2020).

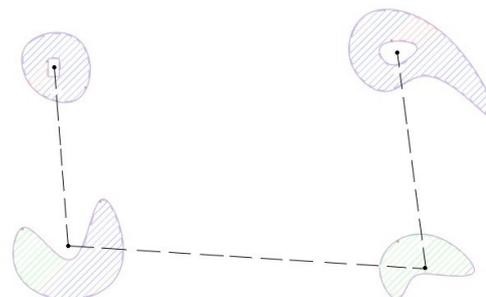
Figura 3 - Exemplo de fatia (a) e identificação dos BBCPs(b)



Fonte: Autoria Própria (2020).

Na etapa da rota preliminar, o algoritmo inicia com uma reta entre dois pontos, que, dependendo da camada, podem ser pontos de raster (o último da camada anterior ou o mais afastado da camada calculada) ou o ponto de limpeza. Pela heurística de inserção do mais próximo (NI) (Rosenkrantz et al. 1977), é inserido o BBCP mais próximo à rota inicial. Ele será fixado na posição que cause o menor distúrbio ao trajeto, gerando uma nova rota que será usada na identificação do elemento a ser inserido na sequência pela NI. Esse procedimento retorna a ordem na qual as ilhas são feitas (Figura 4).

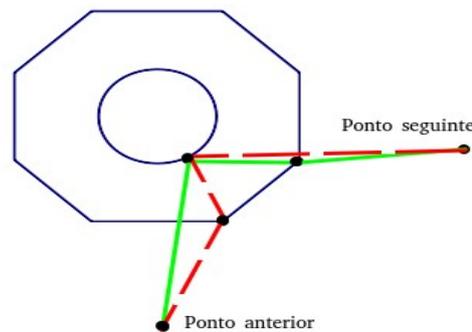
Figura 4 - Rota preliminar



Fonte: Autoria Própria (2020).

Na terceira etapa, é decidido se os contornos serão inseridos na rota de entrada ou de saída da ilha. Para isso, os contornos de cada ilha serão ordenados de acordo com sua posição na hierarquia, utilizando o método *quick sort* (Hoare, 1962). Essa análise é feita a fim de obter um melhor resultado e evitar que haja cruzamentos na rota. Para a inserção do contorno mais interno que deu origem à ilha, aplica-se a NI para identificar o ponto do contorno de menor custo considerando uma rota inicial entre o ponto anterior e o centro da ilha seguinte. Para a inserção do restante dos contornos da ilha, o método considera duas opções: inserir os mesmos na entrada ou na saída da ilha. Para isso, a NI é feito entre o ponto do contorno interno e o último ponto da ilha anterior, para a rota de entrada, e entre o ponto do contorno interno e o centro da ilha seguinte, para a rota de saída (Figura 5). Calcula-se então o deslocamento (custo) das duas alternativas, sendo mantida aquela que apresenta a rota mais curta.

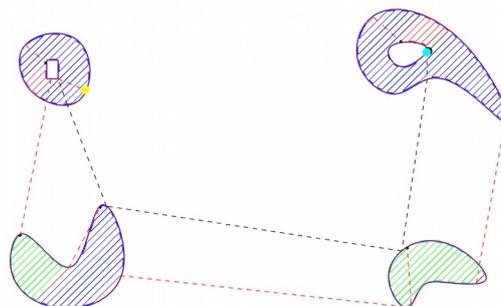
Figura 5 - Rota de entrada (vermelho) e rota de saída (verde), em um caso no qual a rota de saída é mais curta



Fonte: Autoria Própria (2020).

A finalização dessa etapa acontece com a substituição dos BBCPs pelos contornos das ilhas correspondentes, compondo a rota definitiva.

Figura 6 - Rota final



Fonte: Autoria Própria (2020).

A implementação do método foi feita por meio do software de planejamento de processo para impressão 3D RP3 (*Rapid*

Prototyping Process Planning), desenvolvido por alunos da própria universidade no Núcleo de Manufatura Aditiva de Ferramental (NUFER), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

O método foi comparado com o NI2opt no quesito de tempo de processamento e distância de deslocamento sem extrusão do cabeçote. Foram utilizadas as mesmas 8 peças utilizadas no trabalho de Volpato et al. (2019), que foram processadas com espessura de camada 0,1mm (1000 camadas), *gap* 0, ângulo de raster de 45° e sem limpeza do cabeçote (*cleaning*). As geometrias destas peças são de forma tal que o número de contornos e de ilhas não varia ao longo das camadas (geometria 3D obtidas pela extrusão de um perfil 2D ao longo de uma direção).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são mostrados na Tabela 1. As distâncias de deslocamento do cabeçote foram levemente melhores do que as obtidas pelo NI2opt, ganhando em alguns pontos percentuais em todas as peças utilizadas, exceto na peça 2. Este ganho na distância sofre uma variação considerável entre geometrias, o que mostra que o resultado é bastante dependente da peça analisada.

Tabela 1 - Resultados para peças sem limpeza do bico

| peça | contornos/ ilhas por camada | pontos por camada | NI2opt | | NI por ilhas | | | |
|------|--------------------------------------|-------------------------|---------------------|--------------|---------------------|----------|--------------|----------|
| | | | tempo CPU (s) | dist. (m) | tempo CPU (s) | Δ (%) | dist. (m) | Δ (%) |
| 1 | 6/4 (1,50) | 333 | 3,80 | 678,8 | 1,41 | 62,91 | 673,0 | 0,86 |
| 2 | 6/4 (1,50) | 300 | 1,55 | 346,6 | 1,11 | 28,22 | 357,2 | -3,08 |
| 3 | 6/4 (1,50) | 348 | 1,90 | 413,5 | 1,72 | 9,28 | 412,4 | 0,26 |
| 4 | 9/7 (1,28) | 450 | 6,22 | 571,0 | 5,62 | 9,75 | 567,2 | 0,66 |
| 5 | 13/7 (1,86) | 725 | 42,31 | 765,4 | 5,09 | 87,97 | 731,2 | 4,47 |
| 6 | 14/8 (1,75) | 480 | 22,33 | 686,6 | 4,07 | 81,79 | 662,8 | 3,47 |
| 7 | 22/13 (1,69) | 792 | 124,2 | 669,3 | 10,52 | 91,53 | 663,8 | 0,82 |
| 8 | 25/17 (1,47) | 772 | 171,0 | 1119,2 | 17,10 | 90,00 | 1070,5 | 4,36 |

Fonte: Autoria Própria (2020).

O maior ganho (delta), porém, foi no tempo computacional, ou seja, no gasto no processamento do método, que foi muito inferior no método proposto.

Observa-se que os resultados possuem uma correlação significativa com o número de pontos por camada, apresentando, em geral, um ganho maior nas peças em que esse valor é mais elevado.

A razão entre o número de contornos e de ilhas também se mostrou relevante para o resultado, uma vez que, quanto maior esse fator, maior é a proporção de pontos reduzidos.

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos, o método de ilhas atingiu seu objetivo inicial de melhoria do tempo de processamento do NI2opt para obtenção de rotas do cabeçote de deposição para AM, sem comprometer o resultado obtido no critério do deslocamento.

A estratégia apresentada de redução de pontos se mostrou bem eficiente se comparada a do algoritmo anterior, permitindo uma resposta bastante adequada para casos em que a complexidade da geometria é elevada (maior número de pontos e contornos).

AGRADECIMENTOS

Deve-se agradecimento especial ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de iniciação científica concedida ao projeto.

REFERÊNCIAS

HOARE, C.A.R. **Quick Sort**. The Computer Journal, v. 5, ed. 1, p. 10-16, jan. 1962. Disponível em:
<https://doi.org/10.1093/comjnl/5.1.10>. Acesso em: 31 ago. 2020.

HORMANN, K.; AGATHOS, A. **The point in polygon problem for arbitrary polygons**. Computational Geometry, v.20, ed.3, p. 131-144, nov. 2001. Disponível em:
<https://doi.org/10.1137/0206041>. Acesso em: 31 ago. 2020

ROSENKRANTZ, D.J.; STEARNS, R.E.; LEWIS, II, P.M. **An Analysis of Several Heuristics for the Traveling Salesman Problem.**

SIAM Journal on Computing, v. 6, n. 3, p. 563-581, 1977.

Disponível em: <https://doi.org/10.1137/0206041>. Acesso em: 31 ago. 2020.

VOLPATO, N.; GALVÃO, L.C.; NUNES, R.; OGUIDO, K. **Combining Heuristics for Tool-path Optimization in Material Extrusion Additive Manufacturing.** In: Journal of the Operational

Research Society, 2019. Disponível em:

<https://doi.org/10.1080/01605682.2019.1590135>. Acesso em: 31 ago. 2020.

WELLER, T.R.; WELLER, D.R.; RODRIGUES, L.C.A.; VOLPATO, N. **A Framework for Tool-Path Airtime Optimization in Material Extrusion Additive Manufacturing,** 2021.