

## Melhoria de um método de otimização de rotas em tecnologia de manufatura aditiva

### RESUMO

O processo de fabricação por manufatura aditiva pode ser realizado através de vários princípios de adição. Um dos princípios mais utilizados e difundidos é o de extrusão de material, onde um bico extrusor percorre uma trajetória de deposição, composta de contornos e preenchimentos das áreas de cada camada. A ordem na qual as trajetórias de contorno e preenchimento são depositadas implica diretamente no tempo final de produção. Para diminuir o tempo de produção de peças, algoritmos de otimização de rota podem ser utilizados, visando reduzir os deslocamentos em vazio entre as trajetórias. A proposta deste trabalho é a implementação de um algoritmo que combina as heurísticas de inserção do mais próximo e de 2-opt, além da inclusão de uma nova etapa, denominada liberação de pontos, que visa corrigir problemas que prejudicam a eficiência da rota calculada. Os resultados de testes realizados com oito diferentes peças, mostraram que, em praticamente todos os casos, obteve-se uma redução do tamanho da rota. A redução média da rota do método proposto em relação ao método que envolve apenas as heurísticas citadas foi de aproximadamente 3,5%. Em relação a um método guloso, bastante tradicional e simples, a redução média foi de cerca de 6%, demonstrando que o método proposto gera rotas mais eficientes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Otimização de Rota. Manufatura Aditiva. Algoritmo de Otimização.

**Romulo Ianuch Souza**

[romulo92@hotmail.com](mailto:romulo92@hotmail.com)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, Paraná, Brasil

**Neri Volpato**

[nvolpato@utfpr.edu.br](mailto:nvolpato@utfpr.edu.br)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, Paraná, Brasil

**Rodrigo Minetto**

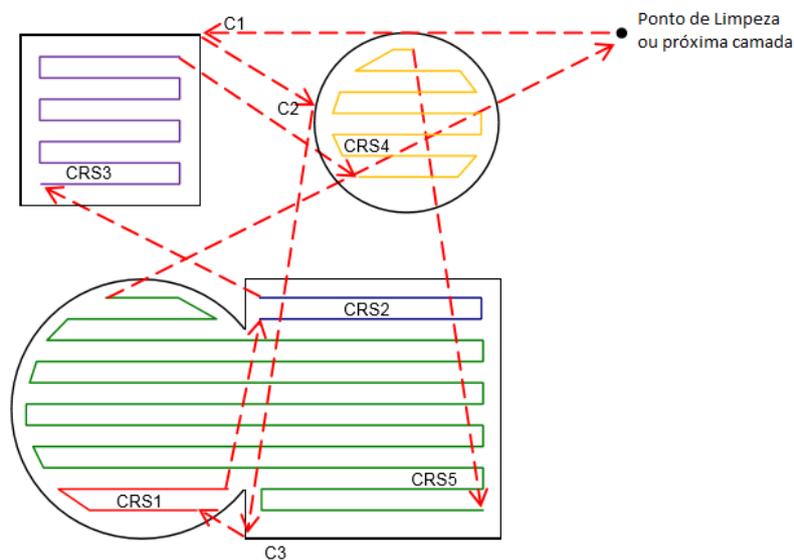
[rodrigo.minetto@gmail.com](mailto:rodrigo.minetto@gmail.com)

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Curitiba, Paraná, Brasil

## 1. INTRODUÇÃO

O problema da otimização de rota é similar ao Problema do Caixeiro Viajante, o qual procura percorrer a menor rota possível de uma sequência de cidades, visitando cada cidade uma única vez (VOLPATO et al, 2015). Para o contexto da otimização de rotas em tecnologia de extrusão de material, o cabeçote de extrusão deve mover-se uma única vez em cada contorno e preenchimento das áreas, formando a menor rota possível. A Figura 1 apresenta um exemplo de rota, onde é possível observar três contornos C (Contour), cinco trechos de preenchimentos CRS (Continuous Raster Segment), a rota de reposicionamento, representada pela linha tracejada em vermelho e o ponto de início ou fim da rota, podendo ser o ponto de limpeza, no qual é realizada a limpeza do bico extrusor ou algum ponto da próxima camada. Na Figura 1, inicialmente o bico extrusor encontra-se no ponto de limpeza, onde segue até o contorno C1, sem depositar material. Ao chegar ao contorno C1, o bico extrusor percorre todo o contorno, depositando o material responsável por formar a peça. Após formar todo o contorno C1, o bico segue para o contorno C2, novamente sem depositar material. O mesmo processo se repete, até que todos os contornos sejam preenchidos. Ao final desse processo, o bico extrusor move-se em direção ao primeiro trecho de preenchimento (CR1), sem depositar material. Então, o bico percorre todo o trecho de preenchimento depositando material. Em seguida, o processo é repetido para todos os outros trechos de preenchimento (CR2, CR3, CR4 e CR5), até que todos os trechos de preenchimento conttenham o material depositado. Ao final do processo, o bico extrusor move-se, novamente sem depositar material, em direção ao ponto de limpeza ou em direção ao primeiro contorno da camada seguinte.

Figura 1 – Exemplo de rota.



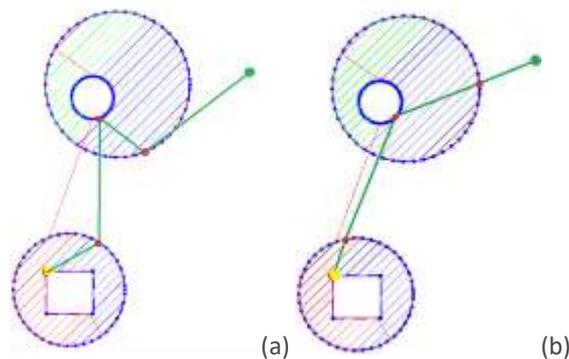
Fonte: Volpato et al (2015)

## 2. METODOLOGIA

Inicialmente, foi implementado um método que envolve as conhecidas heurísticas da inserção do mais próximo, para a criação da rota parcial, e da heurística 2-opt, que visa otimizar a rota trocando pares de segmentos e verificando se a rota inicial é reduzida (VOLPATO et al, 2015). Após a implementação, observou-se que na etapa onde é aplicada a inserção do mais próximo, os pontos dos contornos que formam a rota são escolhidos em definitivo. Essa definição dos pontos é precoce, gerando rotas onde a escolha dos contornos é otimizada, mas a escolha dos pontos de cada contorno pode ser melhorada. Na Figura 2a, é possível observar escolhas equivocadas de pontos de contorno (pontos vermelhos), gerando rotas (linhas em verde) que poderiam ser reduzidas com a escolha de pontos diferentes.

Com o intuito de reduzir a rota, foi aplicada uma nova etapa no processo de otimização. A nova etapa, denominada de liberação de pontos, se baseia na utilização da heurística da inserção do mais próximo novamente, aplicada para pares contíguos de segmentos. Em outras palavras, aplica-se a heurística a cada três pontos da rota. Assim, o objetivo é que a escolha de ponto central, que conecta dois segmentos, torne a soma da distância dois segmentos a menor possível. A Figura 2b apresenta a nova configuração da rota da Figura 2a, após a liberação de pontos.

Figura 2 – Rota gerada antes (a) e depois (b) da liberação de pontos.



Fonte: Autoria própria (2017).

Foram realizados testes para três diferentes métodos, são eles:

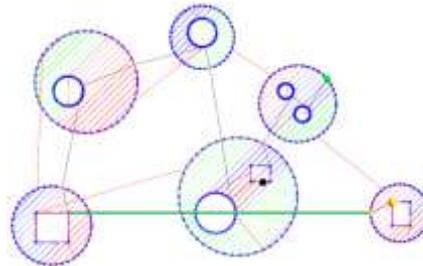
- Método 1: Método Guloso, bastante simples, onde os pontos escolhidos, tanto para contorno como para preenchimento, são os mais próximos.
- Método 2: Método implementado anteriormente, que envolve as heurísticas da inserção do mais próximo e 2-opt.
- Método 3: Método proposto que envolve as heurísticas da inserção do mais próximo e 2-opt, além da etapa de liberação de pontos.

Oito geometrias de peças foram selecionadas para analisar o comportamento dos métodos. Os métodos foram processados considerando que o bico extrusor teria que retornar ao ponto de limpeza ( $N_c$ ) a cada 2 camadas, a cada 10 camadas ou não realizando limpeza ao longo do processo ( $N_c = 400$ ).

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta um exemplo de rota gerada pelo Método 1, onde é possível observar que o fato de simplesmente escolher os pontos mais próximos para a formação da rota pode fazer com que longos saltos sejam necessários no final da rota, como pode ser evidenciado pela linha em verde, destacada na Figura 5.

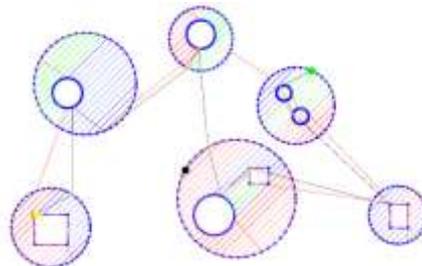
Figura 4 – Rota gerada pelo Método 1.



Fonte: Autoria própria (2017).

A Figura 5 apresenta um exemplo de rota gerada pelo Método 2, onde é possível observar que o longo salto destacado anteriormente no Método 1 é evitado. Entretanto, ocorre o problema citado anteriormente, onde a ordem dos contornos escolhidos é otimizada, mas a escolhas dos pontos poderia ser melhorada através da liberação de pontos.

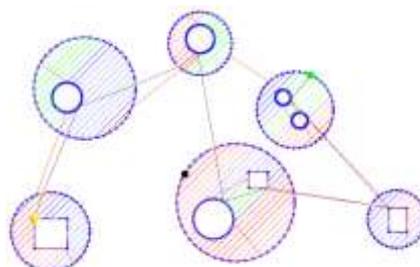
Figura 5 – Rota gerada pelo Método 2.



Fonte: Autoria própria (2017).

A Figura 6 apresenta um exemplo de rota gerada pelo Método 3, onde é aplicada a liberação de pontos. Nesta, é possível observar uma rota mais linear, onde os pontos escolhidos são otimizados.

Figura 6 – Rota gerada pelo Método 3.



Fonte: Autoria própria (2017).

A Tabela 1 apresenta o ganho (redução do comprimento da rota em porcentagem) do Método 3 em relação ao Método 1 e do Método 3 em relação ao Método 2. No que se refere ao ganho médio do Método 3 em relação ao Método 1, ou seja, a média aritmética entre os ganhos para as oito peças com as três diferentes configurações de frequência de limpeza do bico extrusor, foi de aproximadamente 6%. Observa-se que quando o bico extrusor se move até o ponto de limpeza com mais frequência ( $N_c = 2$ ) o Método 3 obteve rotas melhores para todas as oito peças. Quando a frequência diminuiu, ele produziu rotas mais longas para duas peças. Estes dois casos podem estar relacionados a casos particulares de arranjos dos Cs e CRSs que favoreçam uma boa resposta do método guloso. Mas isso é uma situação de entrada não controlada neste método, o que o torna, em geral, menos eficiente.

No que se refere ao ganho (%) do Método 3 em relação ao Método 2, conforme a Tabela 1, o ganho médio foi de aproximadamente 3,5%. Neste caso, o Método 3 gerou rotas mais eficientes para todas as peças testadas, demonstrando a eficiência da etapa de liberação de pontos.

Tabela 1 – Ganho (%) do Método 3 em relação ao Método 1 e Método 2.

Ganho (%) Método 3 em relação ao Método 1	Peça							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$N_c = 2$	2,08	7,49	2,05	3,26	13,07	10,68	10,35	9,69
$N_c = 10$	4,73	20,87	3,20	-0,41	10,13	-1,31	7,36	2,26
$N_c = 400$	5,43	25,48	3,51	-1,41	4,02	-3,65	6,57	0,76
Ganho (%) Método 3 em relação ao Método 2	Peça							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$N_c = 2$	3,38	1,98	1,96	2,70	1,99	4,05	3,32	3,57
$N_c = 10$	3,54	4,81	2,81	1,46	3,92	3,73	4,16	4,07
$N_c = 400$	3,56	6,40	3,04	1,11	4,40	5,66	4,35	4,07

a própria (2017).

#### 4. CONCLUSÃO

Os resultados mostraram que o método proposto gera rotas mais eficientes que a primeira versão implementada onde não se tinha a etapa de liberação de pontos. Mesmo sendo mais caro computacionalmente, pois um passo foi incluído no método, o tempo utilizado para computar as rotas é pequeno em relação ao tempo economizado para a fabricação de peças.

## Improvement of a route optimization method for additive manufacturing technology

### ABSTRACT

The additive manufacturing can be accomplished through several addition principles. One of the most used and widespread principles is the material extrusion, where an extrusion nozzle runs through a deposition trajectory, composed of contours and raster filling segments of the areas of each layer. The order in which the contour and raster trajectories are deposited directly implies the final manufacturing time. To reduce this time, route optimization algorithms can be used to reduce idle displacements between trajectories. The proposal of this work is the implementation of an algorithm that combines the Nearest Insertion and the 2-opt heuristics, besides the inclusion of a new stage, called point release, which aims to correct problems that impair the efficiency of the calculated route. The results of tests performed with eight different objects showed that, in practically all cases, a reduction in the size of the route was obtained. The average route reduction of the proposed method in relation to the method involving only the mentioned heuristics was approximately 3.5%. In relation to a greedy method, quite traditional and simple, the average reduction was around 6%, demonstrating that the proposed method generates more efficient routes.

**KEYWORDS:** Route Optimization. Additive Manufacturing. Optimization Algorithm.

---

## AGRADECIMENTOS

Agradecimentos aos professores orientadores Prof. Neri Volpato, PhD. Prof. Dr. Rodrigo Minetto e Prof. Dr. Ricardo Dutra pelas orientações que auxiliaram no andamento deste trabalho e à Fundação Araucária pelo incentivo financeiro destinado ao projeto.

## REFERÊNCIAS

VOLPATO, N. **Prototipagem rápida**: tecnologias e aplicações. 1. ed. Editora Blucher, 2007.

VOLPATO, N.; GALVAO, L. C. ; NUNES, L. F. ; SCANAVINI, L. G. . **Combining Heuristics for Tool-path Optimization in Additive Manufacturing**. In: Computer-Aided Production Engineering - CAPE Conference, 2015, Edinburgh. Proceedings of the 23rd CAPE Conference. Edinburgh: University of Edinburgh, 2015.

**Recebido:** 31 ago. 2017.

**Aprovado:** 02 out. 2017.

**Como citar:**

SOUZA, R. I. et al. Melhoria de métodos de otimização de rotas em tecnologia de manufatura aditiva. In: SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR, 22., 2017, Londrina. **Anais eletrônicos...** Londrina: UTFPR, 2017. Disponível em: <<https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/index>.

Acesso em: XXX.

**Correspondência:**

Romulo Ianuch Souza  
Rua Cândido Xavier, 632 ap. 101, Bairro Água Verde, Curitiba, Paraná, Brasil.

**Direito autoral:**

Este resumo expandido está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.

