

# UMA OTIMIZAÇÃO DA ESTRATÉGIA DE PREENCHIMENTO DO PROCESSO FDM

## **Neri Volpato**

Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Departamento Acadêmico de Mecânica (DAMEC), Núcleo de Prototipagem e Ferramental (NUFER), Av. Sete de Setembro, 3165, CEP 80230-901 Curitiba-PR, nvolpato@utfpr.edu.br

## **José Aguiomar Foggiatto**

UTFPR, DAMEC, NUFER, Av. Sete de Setembro, 3165, CEP 80230-901 Curitiba-PR, foggiatto@utfpr.edu.br

## **Marcos Vinicius Alves de Lima**

UTFPR, DAMEC, NUFER, Av. Sete de Setembro, 3165, CEP 80230-901 Curitiba-PR, marcosval@gmail.com

## **Tiago Manczak**

UTFPR, DAMEC, NUFER, Av. Sete de Setembro, 3165, CEP 80230-901 Curitiba-PR, tiagomanczak@gmail.com

**Resumo** - A tecnologia de Prototipagem Rápida (RP, Rapid Prototyping) é caracterizada como um processo de fabricação por adição de sucessivas camadas planas de material. Uma das tecnologias disponíveis, denominada FDM (Fused Deposition Modeling), adiciona um filamento de material polimérico por meio de um cabeçote extrusor. Esta tecnologia utiliza um programa de planejamento de processo para realizar o fatiamento do sólido (geração das camadas), cálculo de suporte e a determinação da estratégia de preenchimento das camadas. Apesar de cada tecnologia dispor de um programa dedicado, um sistema denominado de RP<sup>3</sup> (Rapid Prototyping Process Planning) vem sendo desenvolvido com o objetivo de se ter mais flexibilidade para a realização de estudos visando o melhoramento de processo. Da observação do processo FDM, constatou-se a existência de movimentos ociosos na trajetória do cabeçote de extrusão do filamento. Com base nestas observações iniciais, foi desenvolvida uma metodologia baseada na Teoria do Caixeiro Viajante, buscando a otimização do processo, sendo estas implementadas no sistema RP<sup>3</sup>. Este trabalho apresenta a proposta e a implementação de um algoritmo para a redução do tempo ocioso do cabeçote de extrusão, bem como, apresenta os resultados obtidos, verificando-se a viabilidade de se otimizar o processo FDM.

**Palavras-chave:** prototipagem rápida, manufatura por camada, FDM

## **1. INTRODUÇÃO**

A tecnologia de Prototipagem Rápida (RP, *Rapid Prototyping*) pode ser caracterizada como sendo um processo de fabricação por adição de sucessivas camadas planas de material, diferenciando-se dos processos tradicionais que envolvem principalmente a remoção de material. A geometria da peça a ser

fabricada é obtida diretamente de um modelo geométrico 3D do CAD (*Computer Aided Design*), que é “fatiado” eletronicamente gerando os contornos 2D de cada camada<sup>(1)</sup>.

Há várias tecnologias de RP no mercado que utilizam distintos meios de adição de material, mas todas são baseadas no mesmo princípio de manufatura por camada. Uma das tecnologias disponíveis é denominada de Modelagem por Fusão e Deposição (FDM, *Fused Deposition Modeling*). No processo FDM, o material polimérico é adicionado por meio de um cabeçote extrusor, sendo que há um cabeçote para o material da peça e um para o material de suporte (Figura 1).

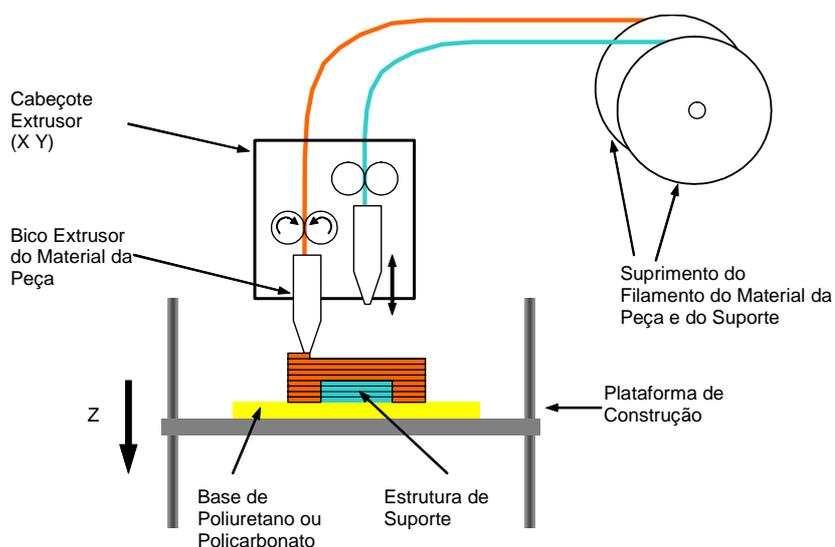


Figura 1. Princípio de funcionamento do processo FDM da Stratasys, Inc.<sup>(1)</sup>

Apesar do nome associado a RP, o tempo de fabricação é um fator importante, pois nem sempre o processo é efetivamente rápido. Isto é particularmente importante para o processo FDM, que está entre os mais lentos (um único bico para preencher toda a área de cada camada da peça). A estratégia de preenchimento deste processo consiste em depositar inicialmente o perímetro de cada camada, denominado de contorno, e posteriormente, a área delimitada por este perímetro é geralmente preenchida com uma trajetória em zig-zag, denominada de *raster*. Contudo, na maioria das vezes, mesmo para geometrias pouco complexas, não há possibilidade de preencher toda a área da camada de forma contínua (único *raster*), o que resulta na formação de vários trechos de *raster* (Figura 2).

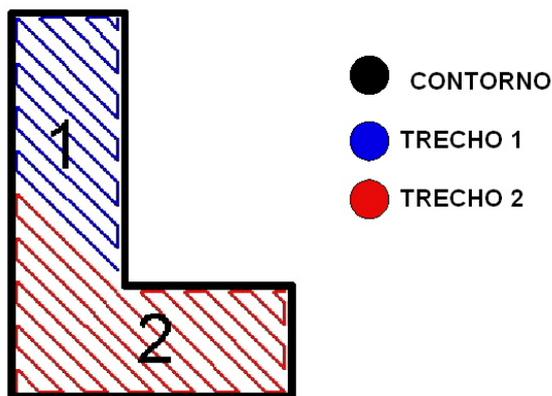


Figura 2. Contorno e os trechos 1 e 2 formados em uma camada

Observando-se a trajetória realizada pelo cabeçote extrusor da máquina FDM 2000, ao produzir cada camada de uma peça, verificou-se a possibilidade de reduzir as distâncias percorridas pelo mesmo. O programa comercial não gera o caminho percorrido pelo bico extrusor objetivando a minimização das distâncias entre “saltos” (início e fim de um trecho de deposição). Se isso fosse observado, permitiria uma redução do tempo de produção e, conseqüentemente, do custo do protótipo. Para este estudo, um algoritmo, baseado na teoria do Caixeiro Viajante<sup>(2)</sup>, foi desenvolvido e implementado no programa RP<sup>3</sup> (*Rapid Prototyping Process Planning*). O RP<sup>3</sup> é um aplicativo para planejamento de processo de RP que vem sendo desenvolvido no Núcleo de Prototipagem e Ferramental (NUFER) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Este visa aumentar a flexibilidade no planejamento de processo da tecnologia FDM, quando comparado ao permitido pelo programa proprietário da Stratasys<sup>(3)</sup>.

## **2. OTIMIZAÇÃO DE TRAJETÓRIA**

Vários estudos podem ser encontrados na literatura propondo a redução de deslocamentos em vazio em processos de fabricação. Dois destes, Tang e Pang<sup>(4)</sup> e Caixeiro Viajante<sup>(2)</sup>, são destacados a seguir, pois foram utilizados como base para a proposta do trabalho. Em um estudo, realizado por Tang e Pang<sup>(4)</sup>, foi proposto um algoritmo para solucionar um problema de otimização da trajetória do laser, observado no processo de RP conhecido como Manufatura Laminar de Objetos (LOM, *Laminated Object Manufacturing*). Este estudo está relacionado à otimização do caminho percorrido pelo feixe de laser para obtenção de vários contornos fechados que podem estar presentes em uma camada. O caminho do laser é descrito por uma seqüência de contornos fechados, onde o laser deve percorrer cada um exatamente uma vez. Um tempo significativo pode ser perdido durante o deslocamento do laser entre o ponto final de um contorno e o ponto inicial do próximo contorno. Para a situação descrita acima, foi dada a denominação de MLJ (*Minimization of Lengths of Jumps*), ou seja, minimização das distâncias entre saltos, onde os saltos se referem ao movimento não cortante do laser, entre um contorno e outro. Os autores propuseram um algoritmo chamado de Máxima Intersecção Linear, ou simplesmente MLI (*Maximum Linear Intersection*) para solucionar o problema MLJ. O algoritmo consiste em encontrar uma reta que intercepte o número máximo possível de contornos existentes em uma camada<sup>(4)</sup>, com isso, é possível ordenar os contornos viabilizando a redução da distância dos saltos.

Um problema que objetiva reduzir o tempo e os gastos de um representante comercial para cobrir um determinado número de cidades de uma região é conhecido como Caixeiro Viajante<sup>(2)</sup>. Esta teoria é utilizada para a determinação de um caminho ótimo, priorizando a menor distância, para um determinado percurso, sendo este, composto por algumas restrições como a necessidade de se passar por todos os pontos (cidades) estabelecidos, sem possibilidade de repetição dos pontos<sup>(2)</sup>. A solução completa deste problema para um número maior de pontos de parada é bastante onerosa computacionalmente. No entanto, uma simplificação pode ser utilizada para a sua aplicação, permitindo o seu uso na otimização da estratégia de deposição no processo FDM.

## **3. DESENVOLVIMENTO DA PROPOSTA DE OTIMIZAÇÃO**

### **3.1 - Levantamento da situação atual**

Através da observação dos movimentos do bico extrusor da máquina FDM 2000 durante o processo de deposição, determinou-se às características principais das trajetórias. A partir disto, foi realizado um estudo sobre a seqüência em que a máquina realiza o preenchimento de cada camada das peças, procurando identificar a existência de uma seqüência lógica no processo de manufatura. Para tal tarefa, foi utilizada uma peça modelada no formato “W”, pois foi constatado que com esta geometria o programa de planejamento do processo utiliza 4 trechos de *raster* para realizar o preenchimento de cada camada (Figura 3).

Foi verificado que existe uma lógica organizacional no intervalo de quatro camadas, que se repetem ao longo da peça. Tais camadas são fabricadas com um ângulo determinado pelo usuário, tal ângulo varia no decorrer destas quatro camadas. Existe esta intercalação dos ângulos do *raster* por camada, alternando de acordo com a geometria. Esta lógica, possivelmente, é utilizada para que haja maior resistência na peça.

Foi constatado que a ordem aleatória dos trechos de *rasters* é gerada tanto no programa proprietário *INSIGHT* da Stratasys, quanto pelo RP<sup>3</sup>. Sendo que o último utiliza o algoritmo proposto por Volpato<sup>(5)</sup>.

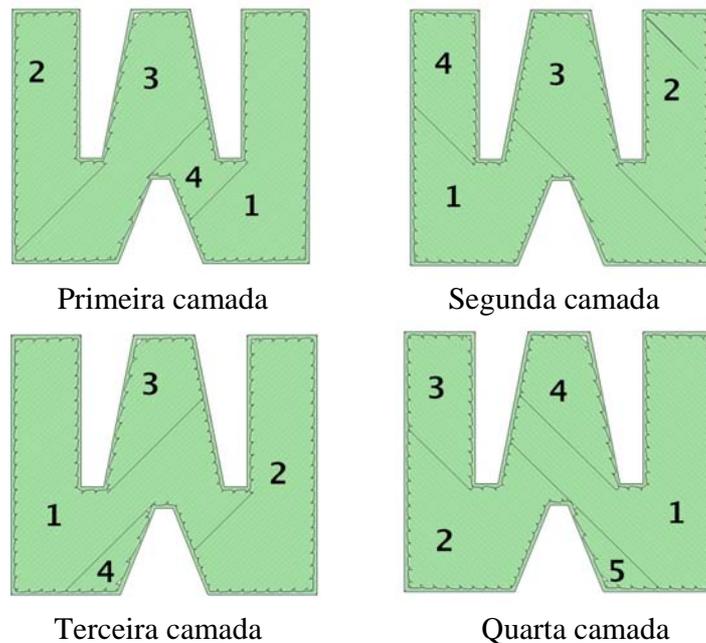


Figura 3. Sequência para preenchimento de quatro camadas

### 3.2. Proposta

Percebe-se que o processo de fabricação dos trechos de *raster* em cada camada poderia ser realizado com uma seqüência otimizada. Para isto, busca-se minimizar a distância dos saltos entre os trechos de deposição, ou seja, a distância percorrida pelo cabeçote a partir do fim de um trecho até o início do próximo trecho de *raster*.

Através da Figura 4, pode-se notar esta distribuição dos trechos de *raster* entre as camadas e que não existe uma lógica de menor distância entre o primeiro ponto de contorno (Pa) e o ponto inicial de *raster* do primeiro trecho. Percebeu-se que o primeiro trecho de *raster* não está definido de forma a minimizar a distância até o ponto de contorno. Sabendo-se onde é localizado o ponto inicial do contorno, é verificado qual o ponto de início de *raster* mais próximo e este passa a ser o primeiro trecho de *raster*.

Com essa proposta, poderíamos evitar a movimentação ociosa do cabeçote, onde o mesmo executaria o mínimo de movimentos dentro do envelope. Na Figura 4, é possível ver a trajetória ociosa percorrida atualmente pelo cabeçote. Inicialmente, o cabeçote se desloca até o primeiro ponto de contorno Pa, onde executa a deposição do contorno da camada, retornando ao ponto Pa. Em seguida, se desloca para o ponto inicial de *raster* P1, que faz o preenchimento do primeiro trecho de *raster* até o ponto final P1'. O próximo trajeto em vazio é até o ponto de início do próximo trecho de *raster* P2, e assim sucessivamente. A Figura 5 mostra como poderá ser o deslocamento do cabeçote com a otimização proposta. A trajetória será realizada minimizando as distâncias em vazio entre os pontos, fazendo com que o tempo ocioso do cabeçote seja menor. A mesma otimização será realizada com a peça denominada “ilhas”, que teve o intuito de verificar a otimização implementada entre geometrias

individuais e com ilhas, possibilitado a verificação do tempo de produção de vários contornos e seus respectivos trechos de *rasters*. Assim, utilizando geometrias distintas, existe a possibilidade de uma precisão maior no estudo de otimização.

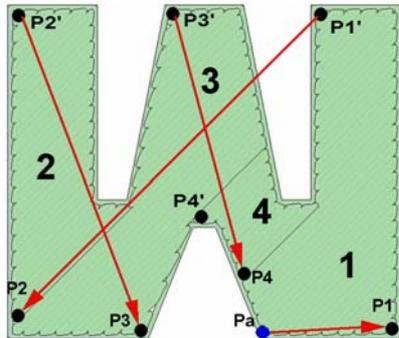


Figura 4. Trajetória atual

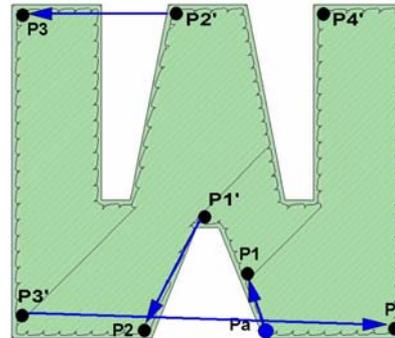


Figura 5. Trajetória otimizada

### 3.3. Desenvolvimento do algoritmo para otimização da trajetória no processo FDM

Utilizando a modelagem matemática de grafos e os fundamentos da teoria do caixeiro viajante, foi possível elaborar uma estratégia para otimização da trajetória no processo FDM. No caso estudado, visou-se à redução das distâncias dos pontos de forma individual, onde a trajetória entre cada ponto será minimizada. Tal trajeto será iniciado no vértice “A”, percorrendo todos os pontos e podendo terminar no mesmo vértice como mostrado na Figura 6.

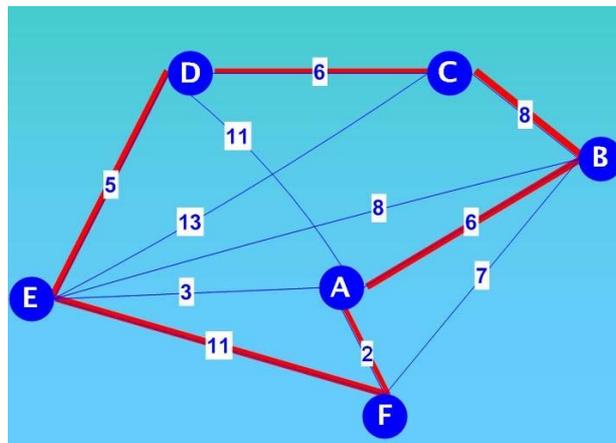


Figura 6. Trajetória utilizada no caixeiro viajante

A partir do estudo do problema foi possível modelar tanto os contornos como os trechos de *raster* como vértices, ou nós, de um grafo. O contorno é uma trajetória fechada, com um ponto de início que logicamente é o mesmo ponto de final. Assim, sua modelagem para vértice de um grafo é apenas um ponto, exatamente como um nó padrão de um grafo.

O *raster*, porém, por se tratar de uma trajetória aberta, possui pontos de início e fim diferentes. Sendo assim, o nó que representa o *raster* possui um ponto de entrada e outro de saída.

Para se determinar a trajetória com a menor distância, é necessário então definir a distância entre os nós (Equação 1). No caso de geometrias com mais de um contorno, a distância entre contornos é entre seus respectivos pontos de início. Assim, basta lançar mão da fórmula para cálculo da distância entre dois pontos no plano.

$$d = \sqrt{(x1 - x2)^2 + (y1 - y2)^2} \quad (1)$$

Porém, no caso dos *rasters*, a determinação torna-se ligeiramente complexa por existirem dois pontos. Desta forma, utiliza-se o conceito de distância entre um ponto e um *raster*. Dado um ponto P1(x1,y1) e um *raster* R, com pontos extremos Pr(xr,yr) e Pr'(xr',yr'), calculam-se as distâncias entre P1 e os dois pontos extremos (Pr e Pr') do *raster* R utilizando a Equação 1. A menor distância calculada é definida como distância do ponto P1 ao *raster*, e o ponto que está mais próximo de P1 é definido como ponto de entrada, ou ponto de início do *raster*.

Com o modelo matemático definido é possível, aplicando-se um algoritmo simples, reduzir a trajetória percorrida entre as deposições de uma camada. Dada uma camada com todos os contornos e trechos de *raster* já definidos, o algoritmo é executado:

1. O primeiro contorno definido no fatiamento é dado como contorno atual e recebe ordem 1;
2. Calcula-se a distância entre o contorno atual e todos demais contornos da fatia que ainda não foram ordenados;
3. O contorno mais próximo é definido com uma ordem acima do atual e passa a ser o contorno atual;
4. Os passos 2 e 3 são repetidos até que todos os contornos sejam ordenados;
5. O ponto de início do último contorno ordenado é então definido como ponto atual;
6. Calculam-se as distâncias entre o ponto atual e todos os trechos de *raster* ainda não ordenados;
7. O *raster* mais próximo recebe então uma ordem acima do *raster* atual (o *raster* recebe ordem 1 caso seja o primeiro a ser ordenado);
8. O ponto que definiu a menor distância do trecho de *raster* mais próximo passa a ser o início de deposição do *raster*.
9. O outro ponto extremo do *raster* (ponto final) é definido como ponto atual;
10. Repetem-se os pontos 7, 8 e 9 até que todos os *rasters* sejam ordenados.

O resultado da aplicação do algoritmo de ordenação é exemplificado para a peça “ilhas”, na Figura 7. E a Figura 8 demonstra o modelo matemático (grafo) utilizado para determinar a otimização da peça “ilhas”. Em ambas as figuras são possíveis verificar a minimização das distâncias percorridas entre contornos e entre *rasters*.

O mesmo algoritmo é aplicado tanto para a base da peça, com material de suporte, como para as camadas do material principal. Além da otimização da trajetória proposta, o RP<sup>3</sup> possibilita um pequeno ganho de material em relação ao *INSIGHT*, na base da peça. Isso se deve ao fato de que são considerados os contornos internos da camada mais inferior da peça para cálculo da área da base, o que não é feito automaticamente pelo *INSIGHT*. Apesar do ganho de material, há o surgimento de mais trechos de *raster* nas camadas de base, o que pode comprometer o tempo de deposição destas.

## 4. ESTUDO DE CASOS

### 4.1. Peça “Ilhas”

Após a modelagem 3D em CAD o algoritmo foi aplicado ao programa RP<sup>3</sup>. Com isso foi possível realizar a comparação do arquivo produzido pelo *INSIGHT* V3.3 e o novo arquivo gerado a partir do programa RP<sup>3</sup>, com a otimização das trajetórias implementadas.

Quatro camadas foram processadas e os arquivos sml foram enviados para a máquina FDM 2000 através do programa *INSIGHT*. Através do programa se obteve o tempo de produção das peças e com o auxílio de um cronômetro o tempo de cada camada foi registrado. Em seguida, os arquivos sml otimizados foram enviados para a máquina. O tempo total e individual de cada camada também foi

cronometrado. Os tempos para a peça “Ilhas” produzida pelo *INSIGHT* e pelo  $RP^3$  estão mostrados na Tabela 1.

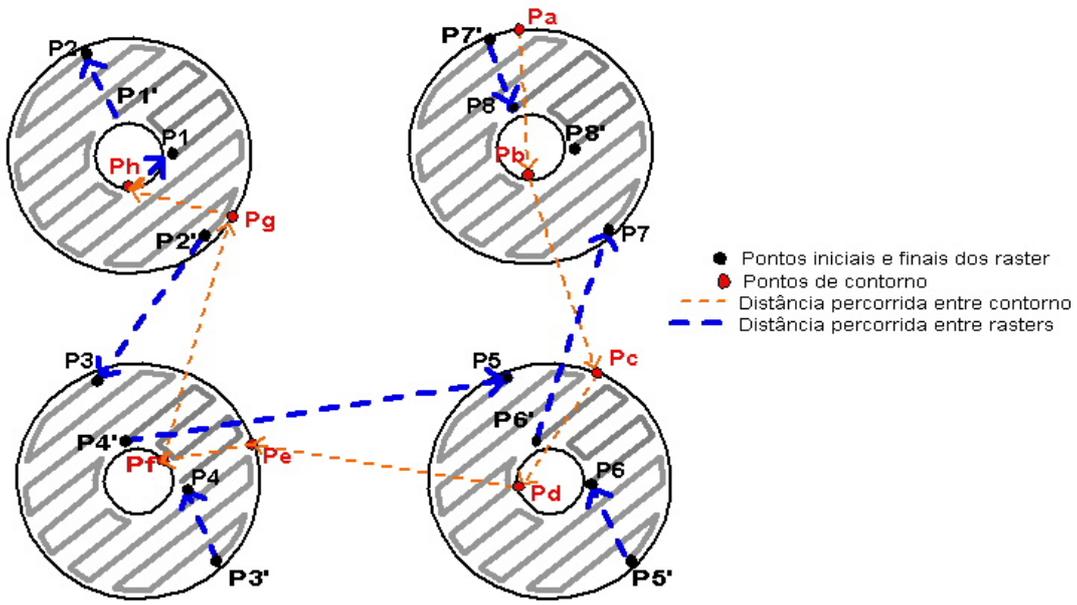


Figura 7. Otimização da trajetória da peça “ilhas”

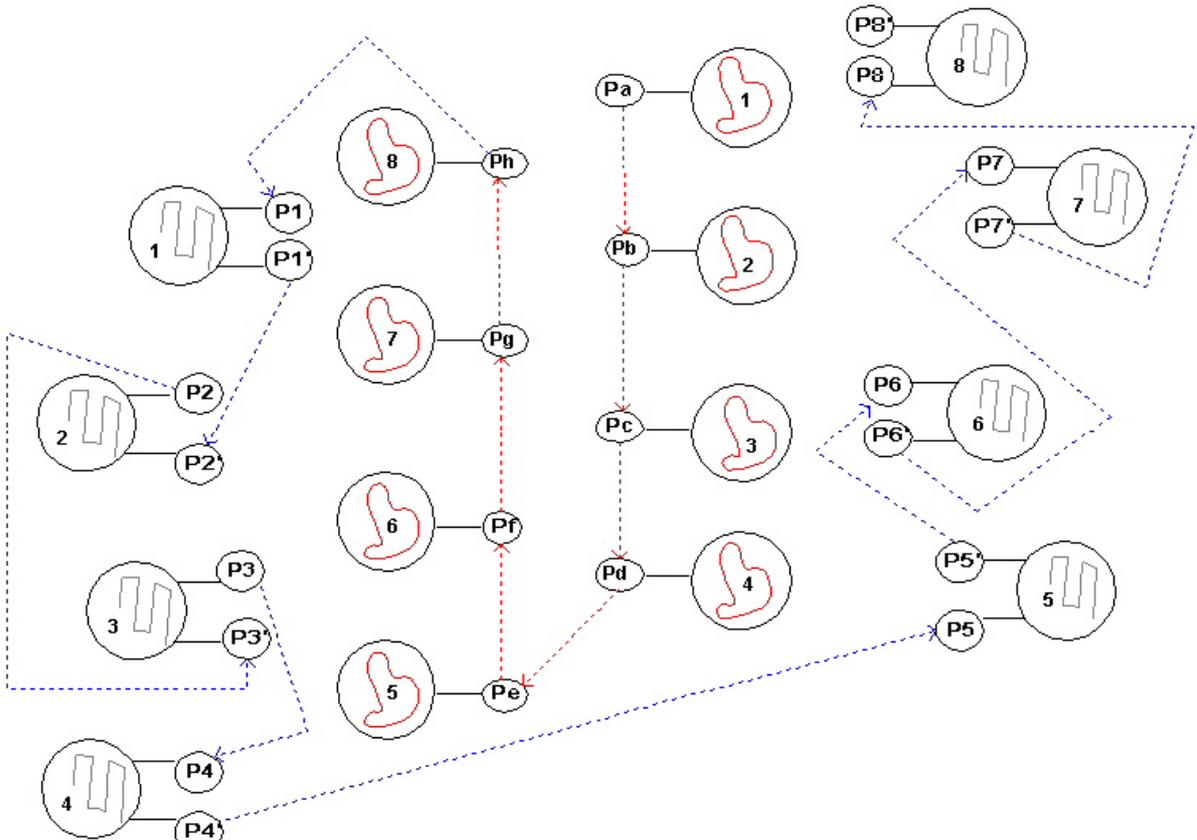


Figura 8. Modelo matemático (grafo) da otimização da peça “ilhas”

Tabela 1. Tempos obtidos na produção da peça “Ilhas”

Material	Camadas	Tempo de produção (em minutos)		Economia de tempo (em percentual)
		INSIGHT	RP <sup>3</sup>	
Suporte	1 <sup>a</sup>	00:46,1	00:47,4	-2,84%
	2 <sup>a</sup>	00:34,8	00:35,4	-1,67%
	3 <sup>a</sup>	00:33,4	00:34,0	-1,71%
	4 <sup>a</sup>	00:33,6	00:34,5	-2,65%
	5 <sup>a</sup>	01:55,0	01:30,2	21,61%
Peça	1 <sup>a</sup>	01:45,5	01:23,4	20,97%
	2 <sup>a</sup>	01:38,7	01:26,4	12,44%
	3 <sup>a</sup>	01:41,1	01:26,1	14,85%
	4 <sup>a</sup>	01:41,9	01:26,6	14,98%
	TOTAL	11:10,2	09:44,0	12,86%

#### 4.2. Peça “W”

Foi enviada a peça “W” para a máquina, também com 4 camadas, e obtiveram-se os tempos na produção de cada camada do protótipo, como mostrado na Tabela 2:

Tabela 2. Tempos obtidos na produção da peça “W”

Material	Camadas	Tempo de produção (em minutos)		Economia de tempo (em percentual)
		INSIGHT	RP <sup>3</sup>	
Suporte	1 <sup>a</sup>	00:34,8	00:33,2	4,49%
	2 <sup>a</sup>	00:23,0	00:22,8	1,09%
	3 <sup>a</sup>	00:24,7	00:24,6	0,28%
	4 <sup>a</sup>	00:24,6	00:23,3	5,05%
	5 <sup>a</sup>	01:20,4	01:06,3	17,47%
Peça	1 <sup>a</sup>	01:16,2	01:10,5	7,49%
	2 <sup>a</sup>	01:16,1	01:09,3	8,94%
	3 <sup>a</sup>	01:17,3	01:08,8	10,97%
	4 <sup>a</sup>	01:16,9	01:11,0	7,66%
	TOTAL	08:13,9	07:29,8	8,92%

#### 4.3. Discussão do estudo de caso

Verificando os tempos adquiridos com a peça “Ilhas”, pode-se notar que existiu o aumento do tempo de produção nas quatro primeiras camadas de suporte. Esse fato é explicado pelo algoritmo que foi implementado no RP<sup>3</sup>, que realiza um recorte nas áreas de suporte onde não existe deposição de material, como mostrado na Figura 9. Com este recorte, houve uma economia de material de suporte nessas regiões, mas um acréscimo de tempo relativamente pequeno nas quatro primeiras camadas de suporte, devido ao surgimento de mais trechos de *raster*. Porém, na quinta camada, a otimização gerou uma economia de tempo de 21,61%, recuperando o tempo gasto nas primeiras camadas e otimizando o tempo total do suporte.

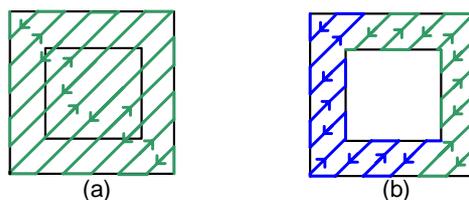


Figura 9. Camada de suporte de uma peça com “ilha” do *INSIGHT* (a) e do *RP<sup>3</sup>* (b)

Analisando o tempo das camadas de material da peça, observou-se uma economia de tempo total de aproximadamente 12,86% no tempo de fabricação do protótipo.

Da análise dos resultados obtidos com a peça “W”, pôde-se verificar que os tempos das primeiras quatro camadas de suporte, realizadas pelo programa *RP<sup>3</sup>*, apresentaram uma pequena diminuição com relação as demais camadas. O tempo não sofreu maiores reduções pelo fato de que as camadas de suporte foram produzidas com trechos limitados de *raster*, impossibilitando uma melhor otimização.

Nota-se também que a primeira camada de suporte teve um tempo maior que as demais. Este fato resulta da velocidade menor de deslocamento do cabeçote, provavelmente como sendo um parâmetro para melhora a adesão entre o ABS P-400 e o poliuretano. Já as camadas adjacentes, por serem depositadas sobre o mesmo material, possuem uma maior aderência, conseqüentemente não necessitam da redução de velocidade na movimentação do cabeçote para depositá-las. Porém, quando analisada a última camada de suporte, observou-se uma diminuição no tempo elevada, com relação à do *INSIGHT*, de aproximadamente 17,47%. Essa diminuição deveu-se ao fato da quinta camada ser a mais refinada, possibilitando, por conter mais trechos, uma melhor otimização na ordenação dos mesmos.

O tempo de produção das camadas de material foi otimizado em 8,76%, totalizando uma redução no tempo total de produção do protótipo de 8,92%, quando comparado ao tempo obtido pelo programa *INSIGHT*. Com a análise da economia obtida observa-se uma maior eficiência do algoritmo em peças com vários contornos.

## 5. CONCLUSÃO

Do estudo do processo de prototipagem rápida FDM 2000, verificou-se que as trajetórias realizadas pelo bico extrusor da máquina não apresentam uma aparente distribuição otimizada. Através do estudo do critério utilizado pela fabricante da tecnologia (Stratasys) para o preenchimento de cada camada de uma peça, foi possível elaborar uma estratégia para viabilizar a otimização do preenchimento. Esta estratégia, baseada na Teoria do Caixeiro Viajante, foi implementada no programa *RP<sup>3</sup>* e integrada ao processo de prototipagem rápida para a obtenção de menores tempos na fabricação dos protótipos. A redução do tempo depende da forma geométrica da peça, sendo mais acentuada para geometrias que gerem um maior número de trecho de *raster*.

Não foi detectada nenhuma deformação ou empenamento nas peças produzidas com a nova estratégia. Esta análise foi realizada devido à suspeita de que a nova estratégia poderia interferir nessa característica, pelo fato do possível acúmulo de calor em determinadas regiões. No entanto, esta constatação precisa ser verificada em estudos futuros para peças com diferentes formas geométricas para se poder confirmar o resultado. Adicionalmente, outros algoritmos de otimização estão sendo estudados, incluindo o de planejar a orientação dos filamentos nas camadas de forma a aumentar a resistência mecânica do protótipo em determinadas direções.

## 6. REFERÊNCIAS

1. VOLPATO, N., Os Principais Processos de Prototipagem Rápida. In: Edgar Blücher. **Prototipagem Rápida – Tecnologias e Aplicações**, São Paulo, 2006, p. 55-100.

2. GERSTING, J. L. **Fundamentos Matemáticos para a Ciência da Computação**, 5a. ed., Rio de Janeiro: LTC Editora, 2004, 616 p.
3. Volpato, N., Oliveira, J. S. A. de, Souza, T. R. de, 2005, “A Process Planning Applicative for Rapid Prototyping Technology”, **Annals of the 18th International Congress of Mechanical Engineering COBEM**, November, Ouro Preto, Brazil. CD-ROM.
4. TANG, K. and PANG, A., Optimal Connection of Loops in Laminated Object Manufacturing, **Computer Aided Design**, n. 35, p. 1011-1022, 2003.
5. VOLPATO, N.; MANCZAK, T.; OLIVEIRA, J.; MENEZES, R. e BONACIN, M., Avanços em um Aplicativo para o Planejamento de Processo de Prototipagem Rápida, **Anais do IV CONEM**, Recife – PE, 2006. CD-ROM.

## ONE OPTIMIZATION OF THE FDM FILLING STRATEGY

### **Neri Volpato**

Federal University of Technology - Paraná (UTFPR), Department of Mechanical Engineering (DAMEC), Prototyping and Tooling Group (NUFER), Av. Sete de Setembro, 3165, CEP 80230-901 Curitiba-PR, nvolpato@utfpr.edu.br

### **José Aguiomar Foggiatto**

UTFPR, DAMEC, NUFER, Av. Sete de Setembro, 3165, CEP 80230-901 Curitiba-PR, foggiatto@utfpr.edu.br

### **Marcos Vinicius Alves de Lima**

UTFPR, DAMEC, NUFER, Av. Sete de Setembro, 3165, CEP 80230-901 Curitiba-PR, marcosval@gmail.com

### **Tiago Manczak**

UTFPR, DAMEC, NUFER, Av. Sete de Setembro, 3165, CEP 80230-901 Curitiba-PR, tiagomanczak@gmail.com

**Abstract** – *The Rapid Prototyping (RP) technology is characterized as a layer manufacturing process, adding successive flat layers of material. One of the available technologies, called FDM (Fused Deposition Modeling), adds a filament of polymeric material by an extrusion head. All RP technology need a process planning software to slice the 3D solid, to calculate support and to define the layer filling strategy. Although each technology makes use of a dedicated software, a system called RP<sup>3</sup> (Rapid Prototyping Process Planning) has been developed, aiming to allow more flexibility in the studies related to process improvement. It was observed in the FDM process the existence of idle movements in the extrusion head path. Based on that, a methodology has been developed based on the Theory of the Travelling Teller aiming to improve the process. This methodology was implemented in the RP<sup>3</sup> system. This paper presents this proposal and its implementation and the results show that it is feasible to optimize the FDM process.*

**Keywords:** *rapid prototyping, layer manufacturing, FDM*