

# DESENVOLVIMENTO DE FILTRO DE AR POR IMPRESSÃO 3D ATRAVÉS DE MODELAGEM POR DEPOSIÇÃO DE MATERIAL FUNDIDO (FDM)

**Camila Colombari Bomfim**

UNIFRAN, BRAZIL, [colombari.camila@gmail.com](mailto:colombari.camila@gmail.com)

**Eduardo José Nassar**

UNIFRAN, BRAZIL, [ejnassar@gmail.com](mailto:ejnassar@gmail.com)

## INTRODUÇÃO

A prototipagem rápida é um processo que foi concebido para a produção rápida de peças, visando a concepção de protótipos e a materialização de projetos tridimensionais. Essa tecnologia vem provendo redução de tempo e custo em suas aplicações, e possui como principal recurso a possibilidade de construir estruturas geométricas e formas físicas complexas, que não podem ser construídas pelas tecnologias convencionais de fabricação (VOLPATO, 2007).

Considerando a possibilidade de construir formas geométricas complexas, os objetivos deste trabalho são: modelar um protótipo de filtro de ar em um *software* CAD 3D; construir o filtro através impressão 3D FDM, utilizando uma impressora modelo *Ender 3* e filamentos de ácido polilático (PLA) como matéria prima; estudar possíveis estruturas de preenchimento interno do filtro através dos parâmetros de densidade, geometria e entrelaçamento das camadas de preenchimento; por fim, estudar a influência da espessura do filtro no fluxo de ar.

A construção dos filtros indica que a passagem de ar é possível através dos orifícios do protótipo. Para validar a passagem de ar através do filtro, foi realizado um teste de fluxo de ar.

## REFERENCIAL TEÓRICO

Mello et. al. (2006) divide as tecnologias de prototipagem rápida em duas categorias: métodos com remoção de material e métodos com adição de material. No primeiro caso, o material é removido de um bloco de matéria prima, que é gradualmente reduzido, para gerar uma réplica do modelo 3D. No segundo caso, camadas de pequena espessura são construídas umas sobre as outras para a formação de uma peça sólida, que é uma cópia do modelo tridimensional.

A fabricação de objetos a partir de adição de material em forma de camadas planas e sucessivas é executada por tecnologias de manufatura aditiva, que têm em comum a possibilidade de construção de geometrias complexas, sem a necessidade de utilização de qualquer outro tipo de ferramenta de construção (VOLPATO, 2007).

Nos processos de manufatura aditiva, a concepção do modelo tridimensional é feita utilizando um *software* de desenho assistido

por computador (CAD). O modelo tridimensional projetado é convertido pelo *software* CAD em um formato padrão, denominado STL (*Standard Tecelation Language*), que aproxima as superfícies do modelo a ser construído para faces triangulares, criando uma representação facetada da geometria da peça (JACOB, 1999).

O modelo convertido em STL é, então, decomposto em várias camadas bidimensionais, paralelas à plataforma de construção, com o auxílio de um *software* fatiador, que emula o ambiente de construção da máquina de prototipagem rápida. A informação é transferida para o equipamento de prototipagem responsável pela construção do objeto, onde as camadas são reproduzidas até o objeto ser completamente construído (PANDEY et al., 2003).

Dentre as técnicas de manufatura aditiva, o método de modelagem por deposição fundida (FDM) utiliza filamentos de polímeros como matéria-prima, e consiste em adicioná-los em camadas na forma de um filamento extrudado e aquecido, em estado semilíquido. A construção é realizada através do cabeçote de extrusão, que se move no plano x-y sobre uma plataforma. Finalizada a deposição de uma camada, a plataforma ou o cabeçote de extrusão move-se no eixo z a uma distância equivalente à espessura da camada (VOLPATO, 2007).

A impressão 3D FDM é considerada sustentável devido à possibilidade de utilização de matérias primas biodegradáveis (como o PLA) e à redução de material desperdiçado na construção do objeto. Essa tecnologia teve sua utilização ampliada nos últimos anos, não somente como método de prototipagem, mas também como método de fabricação de objetos para uso imediato, possibilitando a personalização de artigos de acordo com a necessidade do indivíduo, pois viabiliza uma enormidade de densidades e estruturas internas de preenchimento dos objetos quando comparados a peças fundidas ou moldadas (HAUSMAN; HORNE, 2014).

## METODOLOGIA

Os modelos tridimensionais dos elementos filtrantes a serem utilizados durante os testes foram desenhados e dimensionados utilizando a ferramenta CAD *online* e gratuita *Tinkercad*®, pertencente

à *Autodesk*®. Para encaixe no sistema de teste de fluxo de ar, os elementos filtrantes possuem diâmetro de sessenta milímetros.

Após a modelagem no *Tinkercad*®, o objeto 3D foi convertido para o formato STL para inserção no *software* fatiador *Ultimaker Cura*®, versão 4.8.0, de acesso gratuito, onde foram inseridos os parâmetros utilizados na construção dos protótipos. Nove configurações distintas foram elaboradas, variando a quantidade de camadas internas, as geometrias de preenchimento da estrutura interna e as suas densidades de preenchimento, em porcentagem.

Na primeira configuração, o filtro foi dividido em três camadas de mesma espessura, todas utilizando geometria de preenchimento triangular; as camadas externas possuem densidade de preenchimento de trinta por cento, e a camada interna de sessenta por cento.

A segunda configuração elaborada possui três camadas de mesma espessura, todas utilizando geometria de preenchimento triangular; as camadas externas possuem densidade de preenchimento de sessenta por cento, e a camada interna de oitenta por cento.

Na terceira configuração, o filtro foi dividido em três camadas de mesma espessura, todas utilizando geometria de preenchimento triangular; as camadas externas possuem densidade de preenchimento de oitenta por cento, e a camada interna de 95 por cento.

A quarta configuração de estudo possui três camadas de mesma espessura, sendo uma camada externa construída com a geometria quarto cubico e densidade de quinze por cento, a camada central com geometria de preenchimento triangular e densidade de cinquenta por cento e a última camada com geometria de preenchimento linear e densidade de 65 por cento.

Na quinta configuração, o filtro foi dividido em quatro camadas. A primeira e a terceira camada possuem a mesma espessura, geometria triangular de preenchimento interno e densidade de preenchimento de oitenta por cento. A segunda e a quarta camada possuem mesma espessura e geometria de preenchimento linear, sendo as densidades de 65 e setenta por cento.

A sexta configuração possui quatro camadas. A primeira e a terceira camada possuem mesma espessura, geometria de preenchimento interno triangular e densidade de preenchimento de quarenta por cento. A segunda e a quarta camada possuem a mesma

espessura e geometria de preenchimento linear, sendo as densidades de 65 e setenta por cento, respectivamente.

Na sétima configuração, o filtro foi dividido em três camadas de mesma espessura, sendo que a primeira e a terceira iguais possuem geometria de preenchimento interno triangular e densidade de preenchimento de 75 por cento. A camada central possui geometria de preenchimento interno linear e densidade de sessenta por cento.

A oitava configuração de preenchimento elaborada para o filtro possui três camadas de mesma espessura, sendo que a primeira e a terceira possuem geometria de preenchimento interno triangular e densidade de preenchimento de 80 por cento, enquanto a camada central possui geometria de preenchimento interno linear e densidade de 75 por cento.

Na nona configuração, o filtro foi dividido em três camadas de mesma espessura, todas utilizando geometria de preenchimento linear; as camadas externas possuem densidade de preenchimento de 75 por cento, e a camada interna de 85 por cento.

Para o estudo da influência da espessura do filtro no fluxo de ar, foram dimensionados três filtros com espessuras diferentes: 1,5 milímetros, três milímetros e cinco milímetros. Cada configuração foi construída nas três espessuras de estudo, totalizando 27 protótipos para teste.

Após a seleção dos parâmetros de impressão no *software* fatiador, tem-se como resultado o arquivo de impressão 3D, no formato GCODE, que é decodificado pelo equipamento de manufatura aditiva, já com o número de camadas de impressão delimitado pelo processo de fatiamento e percursos a serem percorridos pelo cabeçote de impressão.

A construção foi feita em impressora 3D FDM, modelo *Ender 3*. Para cada configuração, foi construído um protótipo em PLA HT na cor branca. A temperatura do bico extrusor e da base aquecida da impressora foram ajustadas para, respectivamente, 235°C e 80°C.

Para a realização dos testes de fluxo de ar, foi construído um sistema que gera um fluxo de ar contínuo, de acordo com a NBR 13698, contendo uma fonte de ar comprimido (compressor), um fluxímetro para aferição da vazão de entrada no sistema, um suporte para o filtro, um manômetro diferencial (digital) e um segundo fluxímetro

para aferição da vazão de saída do sistema. Os itens descritos foram conectados por mangueiras flexíveis.

O teste de fluxo de ar foi realizado utilizando vazão constante de catorze litros por minuto, e os dados obtidos foram coletados após três minutos do início da realização do ensaio com cada elemento filtrante. Foram realizados vinte e oito testes: um teste em vazio para ser utilizado como referência inicial, e um teste para cada um dos vinte e sete elementos filtrantes construídos. A área útil de realização do ensaio possui diâmetro de 32,22 milímetros.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O teste em vazio realizado no início do experimento foi utilizado como referencial para realização dos demais testes: as leituras nos fluxímetros de entrada e saída foram iguais a catorze litros por minuto, indicando a ausência de vazamentos de ar no sistema. A leitura indicada no manômetro diferencial foi de 0,01 kPa.

Não houve diferença de leitura relevante entre as diferentes espessuras de uma mesma configuração de filtro, portanto, conclui-se que as espessuras estudadas não influenciam na passagem do fluxo de ar através do elemento filtrante, apenas as configurações de preenchimento interno.

Os ensaios realizados com os filtros que possuem configurações nomeadas de um a oito indicaram vazão de catorze litros por minuto em ambos os fluxímetros, apontando a passagem do ar através destes protótipos. O teste com a configuração número nove indicou vazão de catorze litros por minuto no fluxímetro de entrada, e zero litros por minuto no fluxímetro de saída, ou seja, a nona configuração não permite a passagem do fluxo de ar e, portanto, não deve ser utilizada como elemento filtrante.

O manômetro diferencial mede a diferença entre a pressão de entrada no filtro e de saída no filtro. As médias das leituras obtidas no manômetro diferencial são: 0,25 kPa para primeira configuração; 0,26 kPa para a segunda configuração; 0,46 kPa para terceira configuração; 0,25 kPa para a quarta configuração; 0,36 kPa para a quinta configuração; 0,27 kPa para a sexta configuração; 0,27 kPa para a sétima configuração e, por fim, 0,27 kPa para a oitava configuração de preenchimento interno.

Os valores encontrados nas leituras dos manômetros deverão ser utilizados como referência para a determinação da vida útil do filtro e do tempo de troca, a depender da sua aplicação. Tendo em vista que o tamanho dos poros de cada filtro também é variável, a escolha de qual configuração ser utilizada também depende diretamente da aplicação desejada.

## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A realização dos testes de fluxo de ar indica que a passagem de ar é possível através dos orifícios do elemento filtrante construído. Ou seja, os procedimentos experimentais realizados indicam a possibilidade de desenvolvimento e construção de um filtro de ar utilizando manufatura aditiva, visto que a sistematização das configurações possíveis de impressão 3D dos filtros, através da superposição de camadas de preenchimento interno, criará as barreiras físicas para as partículas.

Para esta finalidade, é possível controlar os seguintes parâmetros de impressão: geometria de preenchimento interno, posicionamento das estruturas de preenchimento interno a partir de um referencial, densidade de preenchimento interno, altura das camadas, espessura do filamento de impressão, espessura das paredes e suportes do objeto.

Sendo assim, o projeto está em consonância com a utilização das impressoras 3D não somente como método de prototipagem, mas também como método de fabricação de objetos para uso imediato. A construção de filtros de ar com a impressora 3D possibilita a personalização dos filtros de acordo com a necessidade do indivíduo, principalmente em relação às dimensões finais do filtro a ser utilizado.

Por conseguinte, o desenvolvimento deste trabalho abre precedentes para que o protótipo desenvolvido seja também empregado em estudos para utilização como elemento filtrante de água, bem como em outros tipos de aplicações pertinentes. Ademais, oportuniza o estudo de outros tipos de filtros construídos através da impressão 3D, como filtros para diversos tipos de líquidos ou filtros de ar específicos para ambientes contaminados.

**Palavras-chave:** ácido polilático; filtro de ar; manufatura aditiva, prototipagem rápida

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES), código de financiamento 001.

Esta pesquisa possui o apoio da empresa Nanoboost Ciência e Tecnologia, com sede na cidade de Franca-SP, com o fornecimento de infraestrutura e materiais para a construção dos protótipos, e também da Faculdade Metropolitana de Franca, com o fornecimento de equipamentos necessários para realização dos testes de fluxo de ar.

## REFERÊNCIAS

HAUSMAN, Kalani Kirk; HORNE, Richard. **3D Printing For Dummies**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2014. 384 p.

JACOB, G. G. K., Development of a new Rapid Prototyping Interface. **Computers in Industry**. v.3 n.39, p.61 – 70, 1999.

MELLO, C. H. P. et al. **Comparação de três diferentes tecnologias de prototipagem rápida em relação a critérios de custo e tempo**. In: ENEGEP, 26, 2006, Fortaleza. Anais. Fortaleza, 2006.

PANDEY, P. M., REDDY, N. V., DHANDE, S. G., Slicing procedures in layered manufacturing: A review, **Rapid Prototyping Journal**. v.9, n.5, p.274-288, 2003.

VOLPATO, Neri. **Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações**. São Paulo. Edgar Blucher. 2007.