

FABRICAÇÃO ADITIVA: TECNOLOGIAS E PARÂMETROS

Gabriel Gazetta de Araújo¹

RESUMO

A Fabricação Aditiva, ou Impressão 3D é, de forma simples, uma série de tecnologias que permitem a criação de modelos tridimensionais por meio de adição de camadas de material, gerando o produto finalizado diretamente do modelo conceitual CAD, sem necessidade de moldes ou planejamento produtivo. Neste artigo estão destacadas as principais e mais relevantes tecnologias de Fabricação Aditiva e suas particularidades, de modo a observar seus parâmetros e a influência na peça final.

PALAVRAS-CHAVE: Fabricação Aditiva. Impressão 3D. Tecnologias. Parâmetros. Configurações.

ABSTRACT

Additive Manufacturing or 3D Printing, is a set of technologies that allow the creation of tridimensional models by adding layer upon layer of material, generating the product directly from the model designed in CAD, with no need of process planning or dies. This paper presents information about the main and more relevant Additive Manufacturing technologies available today and their particularities, also observing how settings and parameters affect the model built.

KEYWORDS: Additive Manufacturing. 3D Printing. Technologies. Parameters. Settings.

1. INTRODUÇÃO

Popularmente conhecida como Impressão 3D, a Fabricação Aditiva é, para Gibson, Rosen e Stucker (2009), a criação de modelos partidos diretamente do projeto desenvolvido em um *software* CAD por meio de camadas; os autores apontam que a Fabricação Aditiva, diferentemente de métodos tradicionais de produção, não necessita de planejamento produtivo e requer menos análise da geometria da peça. Gebhardt (2011), similarmente, define a Fabricação Aditiva como uma produção de peças tridimensionais em camadas, diretamente do arquivo CAD sem a utilização de ferramentas dependentes.

A Fabricação Aditiva oferece uma variedade de aplicações e materiais, utilizando diversas tecnologias para formar modelos com polímeros, metais e até mesmo cerâmicas, nas áreas de engenharia, medicina, arte, etc. Poucas tecnologias oferecem tal versatilidade, além disso, a Fabricação Aditiva pode ser considerada a tecnologia mais dinâmica para o design das peças, uma vez que possibilita a construção de modelos nas mais variadas formas (HOPKINSON, HAGUE, DICKENS, 2006).

¹ Possui graduação em Engenharia de Produção pelo Centro Universitário Eurípedes de Marília. Pesquisador Tecnológico do Centro de Inovação no Agronegócio.

2. TECNOLOGIAS

2.1. Fused Filament Fabrication

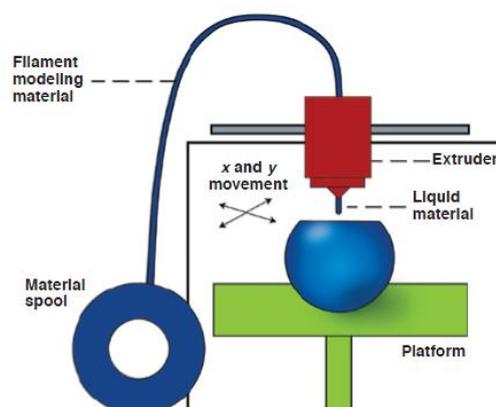
A *Fused Filament Fabrication (FFF)*, ou Fabricação por Filamento Fundido, em tradução livre, é para Reese (2014), uma tecnologia de Fabricação Aditiva que gera objetos tridimensionais oriundos de *softwares* CAD e ocorre por meio de extrusores controlados termicamente que depositam material camada por camada, resultando no modelo pronto.

Grimm (2002) relata que esta tecnologia, também batizada de *Fused Deposition Modeling (FDM)* pela Stratasys, uma das empresas pioneiras da Fabricação Aditiva, oferece formação de polímeros termoplásticos de diversos tipos, como o polímero acrilonitrila butadieno estireno (ABS) e policarbonato entre os mais populares. O autor explica que estes polímeros são extrudados por um bico em um estado semi-fundido, que se movimenta por uma superfície em um caminho pré-determinado, depositando material em uma plataforma pré-aquecida e formando o modelo, camada por camada.

Gibson, Rosen e Stucker (2009) explicam as etapas e os princípios básicos da formação por extrusão. Começando com o modo com que o processo de suprimento de material geralmente ocorre, em que o material em filamento ou *pump* é suprido continuamente e passa para uma câmara de liquefação. Dentro desta câmara, há resistências térmicas que elevam a temperatura no interior da câmara pouco abaixo do ponto de fusão, suficiente para manter a matéria-prima em um estado semi-fundido. Os autores ressaltam a importância do material não atingir altas temperaturas, já que muitos polímeros podem facilmente se degradar, causando problemas no sistema.

De acordo com Gibson, Rosen e Stucker (2009), a extrusão do material é feita por um bico de metal, que deposita o material por meio de uma pressão exercida para expelir o material da câmara, os autores ressaltam que a extrusão do material ocorre de forma diferente que a extrusão tradicional, em que ao invés de parafusos, um sistema de rolamento de filamento é utilizado. O fluxo do material (controlado pela viscosidade do material, a pressão exercida e o diâmetro do bico) determinam a relação custo-benefício de velocidade vs. precisão, em que diâmetros maiores aceleram a velocidade mas prejudicam a qualidade e precisão, e vice versa. O sistema de extrusão do material é demonstrado na Figura 1.

Figura 1 – Funcionamento esquemático de uma impressora 3D

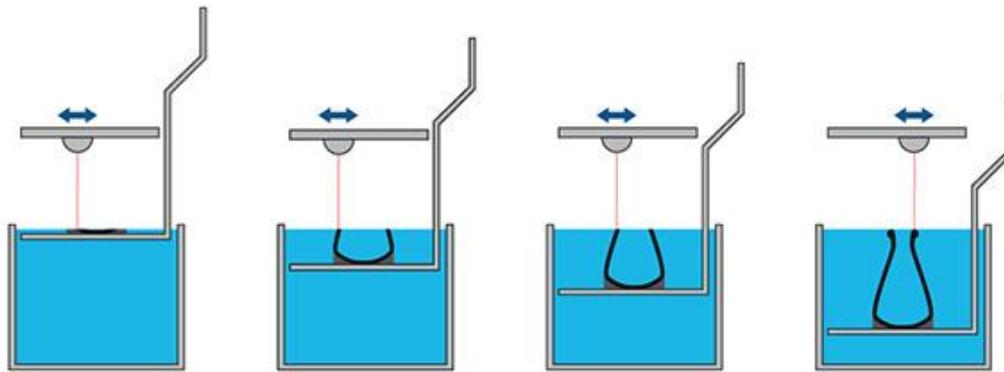


Fonte: SolidFill.com (2014)

2.2. Estereolitografia

A primeira tecnologia de Fabricação Aditiva surgiu, segundo Palermo (2013), em 1986, criada pela 3D Systems, patenteada e batizada de Estereolitografia. Esta tecnologia, de forma breve, transforma resina em estado líquido em objetos sólidos por meio de laser ultravioleta. Segundo a autora, o processo se dá pela geração do arquivo em CAD e a posterior configuração da máquina, que ocorre de maneira similar em todas as tecnologias de Fabricação Aditiva; na sequência um feixe de laser ultravioleta é direcionado para um tanque preenchido por polímero em forma líquida, neste tanque, há uma plataforma que se move verticalmente. O processo de solidificação se dá, segundo a autora, na exposição de uma fina camada de resina líquida acima da plataforma (de 0,05 a 0,15mm), permitindo que o laser acerte-a, formando o desenho do objeto a ser impresso, o polímero é solidificado imediatamente à exposição do laser e na sequência, a plataforma é reduzida mais um pouco, expondo mais polímero para a solidificação. O processo é completado, segundo a autora, quando todas as camadas forem expostas ao laser e o objeto solidificado esteja submerso na resina líquida, dentro do tanque. Segundo a autora, por fim, a plataforma é elevada, revelando o modelo livre de resina que é geralmente colocado em seguida em um forno ultravioleta para a unificação do polímero. O desenho esquemático desta tecnologia está demonstrado na Figura 2.

Figura 2 – Esquema de produção por meio da Estereolitografia

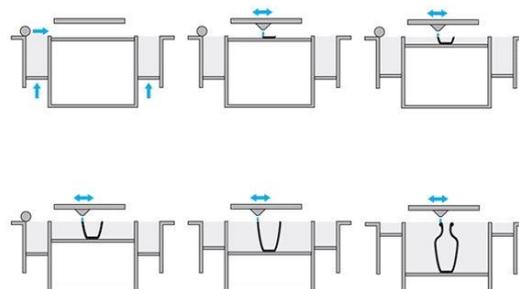


Fonte: iMaterialise.com (2014).

2.3. Powder Bed Fusion

Segundo a Universidade de Loughborough (2014), há várias tecnologias que são incluídas na categoria de *Powder Bed Fusion*, esta tecnologia trabalha com diversos materiais, desde polímeros a cerâmica e metais, conta com diversos processos em que de maneira geral, trabalham de forma semelhante; a formação do produto se dá pela fundição do material em forma de pó ou pequenos grânulos, este material fica armazenado em um tanque com uma plataforma abaixo que levanta para que a matéria-prima seja depositada na plataforma de formação, esta transferência de material é feita por um rolo ou lâmina, que empurra o material até a segunda plataforma; nesta, um feixe de laser é direcionado ao material, fazendo com que ele se funda; na sequência, a plataforma de produção é abaixada e mais matéria-prima é empurrada a ela por meio da plataforma de suprimento. Ao fim do processo, o produto fica envolto na matéria-prima em pó que atua como um suporte, o produto é limpo e finalizado. Um breve esquema do funcionamento deste tipo de tecnologia está demonstrado na Figura 3.

Figura 3 – Funcionamento esquemático de Powder Bed Fusion



Fonte: iMaterialise.com

Uma tecnologia semelhante é o *Electron Beam Melting*, ou em tradução livre, Fusão por feixe de elétrons; esta tecnologia de Fabricação Aditiva, é para Hiemenz (2007) um processo de formação em camadas que gera peças em metal como tungstênio e titânio, com propriedades semelhantes às forjadas, 100% densas com design complexo e partes ocas, utilizado na indústria aeroespacial. Segundo o autor, o processo se dá por um feixe de elétrons que viaja com a metade da velocidade da luz em direção a uma camada de metal em pó, ao contato, a energia cinética é rapidamente convertida em térmica, elevando o material para temperaturas acima do ponto de fusão, permitindo a formação do modelo 3D.

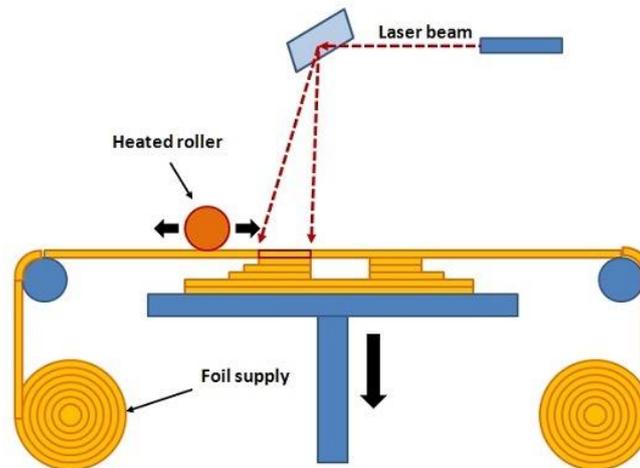
Outra tecnologia semelhante é o *Binder Jetting*, em tradução livre, Jato Aglutinante, que segundo Gibson, Rosen e Stucker (2009), é um processo que, de forma semelhante ao *Powder Bed Fusion*, forma objetos em camada de pó. A diferença é que neste caso, jatos de material aglutinante são depositados nas camadas de matéria-prima em pó, ao entrar em contato com o material aglutinante, o material se solidifica, formando a peça final.

2.4. Sheet Lamination

Segundo a Universidade de Loughborough (2016), *Sheet Lamination*, ou em tradução livre, Laminação em Folha, é uma tecnologia de Fabricação Aditiva que utiliza lâminas de materiais, comumente papel ou metal, para criar modelos tridimensionais.

Um processo popular dessa tecnologia, a Manufatura de Objeto em Lâmina, do inglês *Laminated Object Manufacturing* (LOM), é para o Centro de Prototipagem Rápida da Universidade de Milwaukee (2015), um processo de produção que utiliza laser de dióxido de carbono para criar fatias de um objeto tridimensional por meio de camadas finas de papel com material adesivo. Inicialmente, há um sistema de alimentação do papel, que leva o papel até uma plataforma móvel onde ele é fixado para que o laser possa delimitar o formato do produto desejado, em seguida, o laser corta a área que continuará na plataforma (uma borda), para que as laterais do papel sejam direcionadas ao sistema de refugo, conta também com um rolo aquecido, para auxiliar na fixação das camadas; ao fim, a peça tridimensional está envolta nas camadas de papel, que são cortadas para que a peça desejada seja retirada. O desenho esquemático desta tecnologia está demonstrado na Figura 4.

Figura 4 – Esquema básico do funcionamento da Manufatura de Objeto em Lâminas



Fonte: TopMaxTechnologyMaganize (2014).

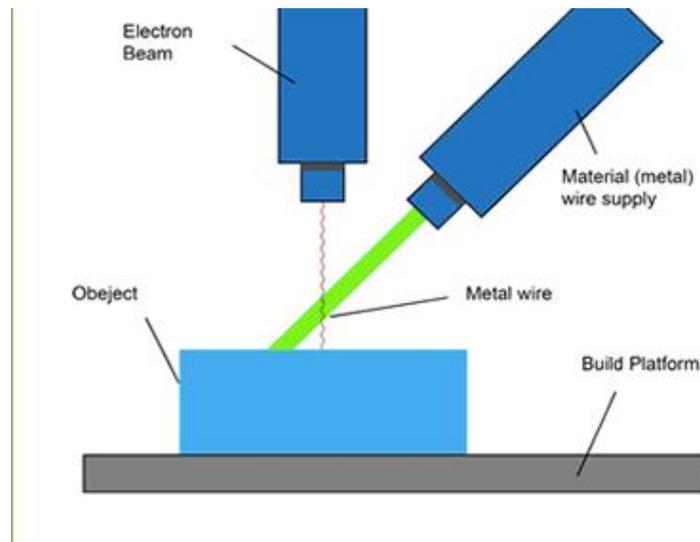
Heynick e Stotz (2009) relatam que a empresa inicialmente responsável pela distribuição cessou as atividades no começo dos anos 2000, uma vez que não conseguiram competir com novas tecnologias de Fabricação Aditiva já que a LOM não apresenta uma boa acurácia e qualidade quanto outras tecnologias, porém, outras empresas utilizam a LOM para aplicações com lâminas de policloreto de vinil (PVC) ou ainda lâminas metálicas para a criação de modelos tridimensionais.

2.5. Directed Energy Deposition

De acordo com Gibson, Rosen e Stucker (2009), a *Directed Energy Deposition*, ou, em tradução livre, Deposição de Energia Direcionada, é uma tecnologia de Fabricação Aditiva que tem como característica formar o produto derretendo a matéria-prima enquanto ela está sendo depositada.

De acordo com a Universidade de Loughborough (2016), a *Directed Energy Deposition* é uma tecnologia de conformação de polímeros, cerâmicas e metais, sendo comum para o último; este equipamento baseia-se em um bico extrusor anexo a uma estrutura de múltiplos eixos, este bico deposita material em uma superfície onde, simultaneamente, um laser ou feixe de elétrons entra em contato com o material, derretendo-o e formando a peça camada por camada, o esquema desta tecnologia está disposto na Figura 5.

Figura 5 - *Directed Energy Deposition*



Fonte: Loughborough University (2016).

3. CRIAÇÃO DO MODELO TRIDIMENSIONAL E PARÂMETROS

A criação do modelo tridimensional é uma etapa comum a todas as tecnologias, porém o foco será na *Fused Filament Fabrication* uma vez que é uma das tecnologias mais populares atualmente. Em se tratando da criação de um modelo tridimensional, bem como suas características e particularidades, Gibson, Rosen e Stucker (2009) definem passos necessários para a criação de uma peça produzida por alguma tecnologia de impressão aditiva, tais passos vão desde a concepção até a pós-produção, detalhando parâmetros para a criação, conforme os tópicos desta seção. Estes passos mostram uma organização e estrutura no processo de criação de uma peça, que apesar de os passos serem comuns a praticamente todas as tecnologias, os parâmetros aqui detalhados são mais comuns para a *FFF*, que é a tecnologia mais popular e disseminada da Fabricação Aditiva.

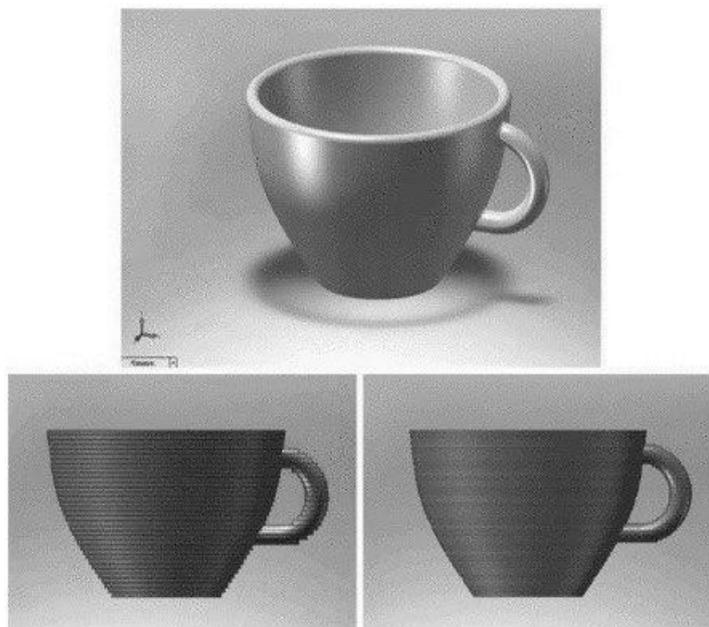
3.1. CAD, Conversão e Transferência do Arquivo

Gibson, Rosen e Stucker (2009) apontam que para a criação de um modelo para ser produzido por uma tecnologia de Fabricação Aditiva, o engenheiro/*designer* deve utilizar *softwares* de criação em CAD que possam representar o modelo conceituado;

técnicas de engenharia reversa utilizando *laser scanning* também podem ser utilizadas, tais técnicas fazem uma varredura a laser na peça, gerando automaticamente o modelo em CAD.

Em se tratando das particularidades do CAD e a comparação com o modelo real, Gibson, Rosen e Stucker (2009) fazem algumas considerações; para os autores, a adição de camadas pode ser considerada a principal característica da Fabricação Aditiva, com este atributo, é natural que a adição constante de camadas não possibilite o mesmo modelo projetado no *software* CAD, e sim uma aproximação do mesmo; obviamente, tal aproximação varia de acordo com a espessura da camada, conforme demonstra a Figura 6, com o modelo projetado em CAD, uma demonstração da peça com espessura alta (imagem inferior esquerda) e baixa (imagem inferior direita).

Figura 6 - Demonstração do modelo em CAD, comparado com espessura de camada

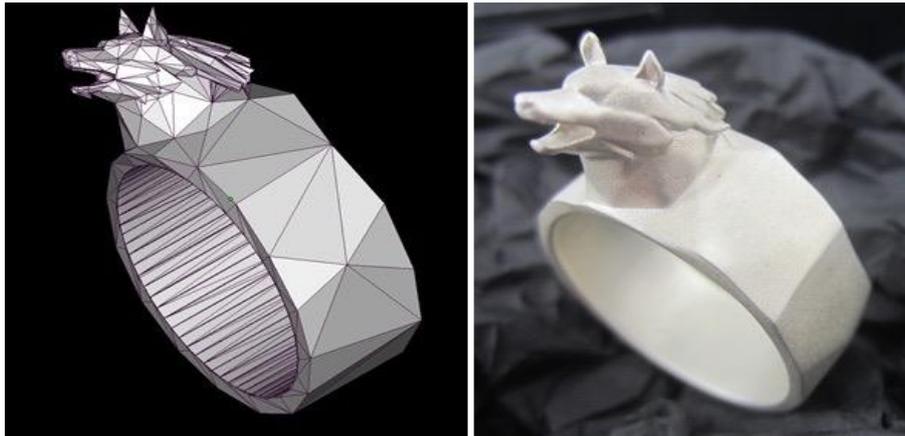


Fonte: Gibson, Rosen, Stucker (2009, pg. 2)

Em se tratando da importação do modelo para a máquina, é necessário que o arquivo esteja em um formato compreendido pelo equipamento de Fabricação Aditiva, e este formato é, no caso, o STL, criado pela 3D Systems e que é hoje um formato de domínio público. Tal formato de arquivo cria uma réplica do modelo projetado em vários triângulos, que variam de tamanho e quantidade de acordo com a complexidade da peça ou da resolução requerida, sendo importante notar que resoluções muito baixas não permitem obtenção de uma peça fiel à projetada, e resoluções altas (espessuras de

camada abaixo de 0.02 microns) podem impossibilitar alguns equipamentos de produzirem a peça. A peça impressa é fielmente produzida de acordo com o arquivo STL, conforme demonstra a Figura 7, em que na superfície interna, por ser lisa, há incontáveis formas triangulares, já na superfície externa é possível perceber claramente onde se localizavam os triângulos no arquivo STL. (3D Systems, 2015).

Figura 7 - Demonstração do arquivo STL e peça pronta



Fonte: i.Materialise.com (2015)

3.2 Configuração da Máquina e Construção

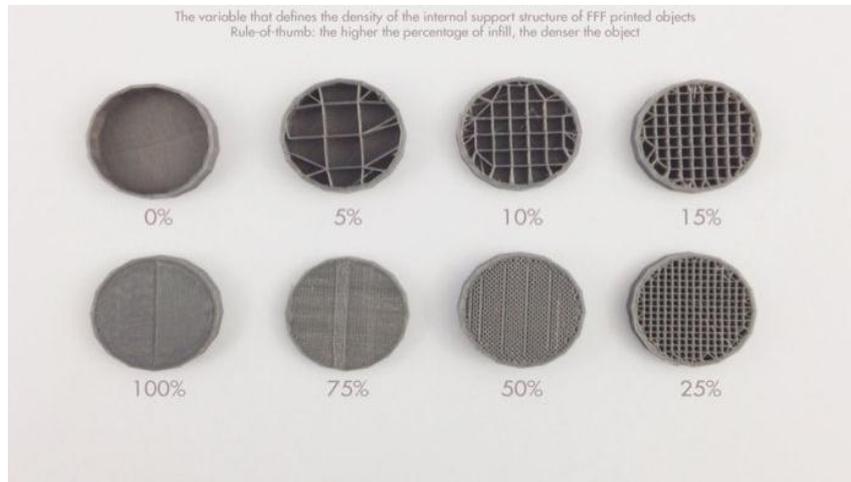
A Fabricação Aditiva, apesar de ser simples e direta, possui alguns parâmetros que afetam o produto final, é possível alterar algumas configurações para alterar a construção, a qualidade, o aspecto e o resultado final.

O *infill percentage*, ou em tradução livre, porcentagem de preenchimento, é um destes parâmetros, que para Wu et al. (2016), refere-se na Fabricação Aditiva à estrutura interna de um objeto impresso; segundo os autores, o preenchimento altera significativamente o processo de impressão e as propriedades físicas dos produtos.

Para Budmen (2013), a porcentagem de preenchimento pode ser entendida como quanto (em porcentagem) do interior do produto é preenchido pelo material; este fator afeta densidade, velocidade de fabricação, qualidade, mantendo o aspecto visual externo. Baixas porcentagens de preenchimento são mais comumente utilizados em protótipos ou produtos que não necessitam de alta resistência e que não vão ser expostos à forças; já valores altos são adotados para produtos finais ou que requerem qualidade, resistência e durabilidade. Segundo o autor, o padrão de preenchimento varia conforme

o equipamento, mas pode ser hexagonal, retangular ou outra geometria. Exemplos de como o preenchimento afeta o produto estão demonstrados na Figura 8.

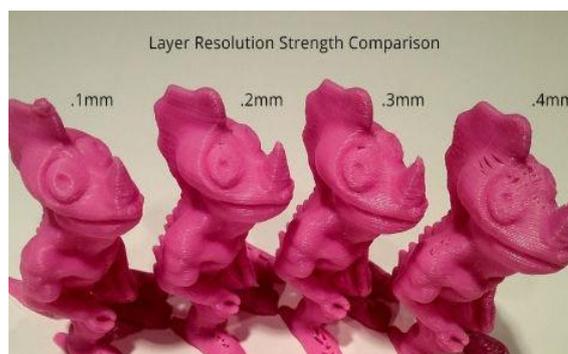
Figura 8 - Porcentagem de Preenchimento



Fonte: blog.teambudmen.com (2013)

Outro parâmetro muito importante a ser definido na configuração, já citado anteriormente, é a espessura de camada; este fator afeta questões como qualidade, tempo de fabricação, resistência, aparência externa, dentre outras características. A espessura de camada é a dimensão da altura de cada camada sobreposta a outra; ou seja, o eixo Z do modelo. Dentre os fatores influenciados pela espessura, destacam-se a velocidade de produção e custo dos modelos. Já quanto mais finas são as camadas, maior o tempo requerido para processar a peça inteira, afetando no custo; porém altera também a qualidade e o acabamento da peça, onde espessuras menores trazem acabamento externo melhor e espessuras maiores geram acabamentos mais grosseiros, conforme demonstra a Figura 9 (SCULPTEO, 2016).

Figura 9 - Comparação de diferentes espessuras em um mesmo modelo

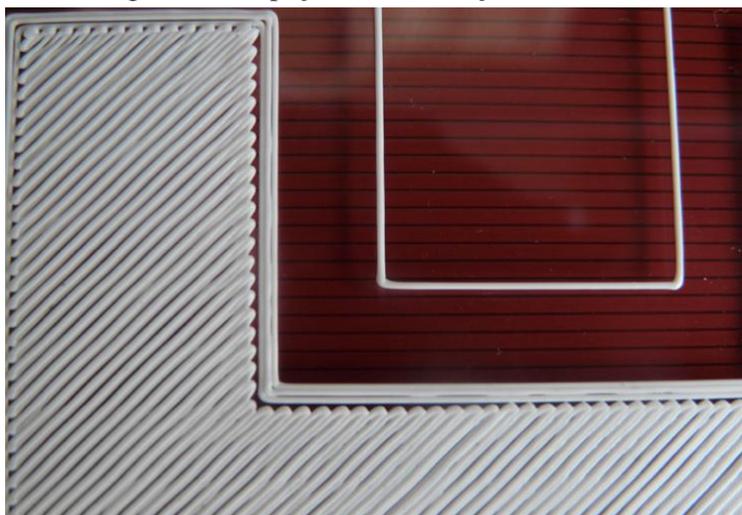


Fonte: airwolf3d.com (2012)

Outro parâmetro que também influencia tanto na qualidade quanto no custo do produto é a orientação em que o modelo é impresso. Gibson, Rosen e Stucker (2009) afirmam que a orientação afeta na acurácia e no aspecto final da peça. Os autores sugerem que a orientação deve ser analisada levando em consideração a geometria da peça, além de outros fatores como o tempo (já que peças mais altas demoram mais tempo para serem produzidas), acabamento (modelos feitos em pé tendem a ter um acabamento melhor), e também a observação de que certas orientações farão com que haja a necessidade da máquina criar suporte para as peças. Em suma, os autores inferem que a orientação correta é subjetiva e depende do fim da peça e as prioridades em questão.

Gibson, Rosen e Stucker (2009) relatam que a acurácia do produto é garantida pela impressão da camada externa de cada peça e posteriormente o preenchimento interno da mesma, de forma que ele atue como uma barreira que evita que o material saia do perímetro marcado; esta camada externa independe de quão preenchido está sendo o interior da peça, podendo uma peça ter, inclusive, várias camadas externas. Como é possível imaginar, há um determinado ponto inicial que o bico extrusor começa a marcar a peça, e segundo os autores, caso este ponto seja idêntico em todas as camadas, forma-se uma espécie de marca, semelhante a feitas por moldes de injeção, para evitar tais marcas, a máquina randomiza o ponto inicial da camada externa em cada camada extrudada. O preenchimento é feito, segundo os autores, de forma predeterminada pela máquina, geralmente de forma não-continua e diferente em cada camada, de forma a evitar que traços estejam sobrepostos por toda a peça, evitar espaços entre os traços também é importante pois melhora a resistência mecânica da peça. O fenômeno no preenchimento apresentado na Figura 10 é causado pelo *backlash*, que segundo a empresa americana WhiteClouds (2016), é um movimento descalibrado no bico da máquina, causado por problemas entre componentes das impressoras 3D, este movimento gera peças com problemas de acurácia, causando por exemplo, espaçamento entre os traços extrudados resultando em má qualidade. Segundo a empresa, este efeito pode ser prevenido com a manutenção e inspeção da impressora.

Figura 10 - Espaços entre os traços extrudados



Fonte:HannahNapier.co.uk (2011)

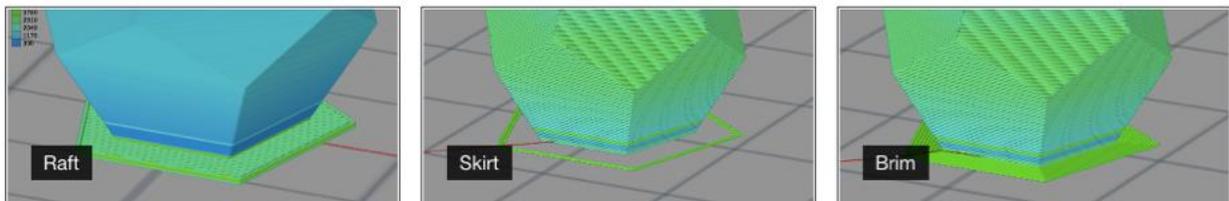
Outro fator importante é o *bonding*, ou seja, a fixação de uma camada em cima da outra já extrudada, para garantir uma boa adesão das camadas, os autores Gibson, Rosen e Stucker (2009) descrevem que é necessário que haja uma determinada quantidade de calor residual na camada anterior, permitindo adesão, sendo que a falta deste pode trazer problemas nas peças como um descolamento ou separação das camadas depositadas. O contrário (sobreaquecimento) pode causar, segundo os autores, deformações na peça.

Para Gibson, Rosen e Stucker (2009), todas as tecnologias de Fabricação Aditiva precisam de sistemas para gerar estruturas de suporte para partes livres em produtos, este suporte pode ser do mesmo material que a peça é feita ou um material secundário, sendo esta última preferível pois costuma representar menores custos. Em máquinas simples, é comum haver apenas uma câmara para extrusão, permitindo somente o uso da matéria-prima, nessa ocasião, os autores sugerem alternativas para facilitar a separação do suporte do produto, como por exemplo separação das camadas (citado acima), por baixo calor residual. Em máquinas com dois sistemas de extrusão do filamento, é possível uma mais simples e fácil geração do suporte, os autores sugerem distinguir os materiais visualmente (cores), mecanicamente (suporte mais fraco) ou quimicamente (solventes).

Em algumas máquinas é possível contar com ferramentas que auxiliam na construção, como *rafts*, *skirts* e *brims*. De acordo com a empresa Simplify3D, *rafts* são estruturas que são formadas antes da peça começar a ser formada, de forma a evitar danos na peça no momento da remoção da mesma à plataforma. *Skirts* segundo a

empresa, são linhas que contornam a peça sem tocá-la de modo a antes estabelecer um fluxo e deposição contínuas do material, já *brims* são linhas que contornam a peça tocando-a de modo a trazer estabilidade a peças altas e instáveis, deixando-as fixas na plataforma. O desenho em CAD das três ferramentas estão dispostas na figura 11.

Figura 11 - Rafts, skirts e brims.



Fonte: Simplify3D.com (2016)

3.3. Remoção e Pós-Produção

Gibson, Rosen e Stucker (2009) relatam que a remoção da peça gerada após a completa finalização da produção deve ocorrer levando em consideração que as partes móveis estejam paradas e possíveis travas de segurança permitam o acesso. Após a remoção, muitas peças podem exigir a remoção de materiais de suporte, que de acordo com os autores, varia conforme a tecnologia e o tipo de material de suporte usado, podendo ser feita de forma manual e cuidadosa ou de forma mais moderna, como é o caso da empresa 3D Systems, que comercializa materiais de suporte que podem ser dissolvidos em água, evitando danos na peça com a retirada manual do suporte. Este material de suporte, segundo a 3D Systems não polui o meio ambiente e é dissolvido na peça em menos de 15 minutos, permitindo criação de peças articuladas de uma só vez.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Fabricação Aditiva pode ser entendida como um modo disruptivo de produção com aplicações em diversas áreas, capaz de criar peças sem planejamento produtivo, camada por camada, diferente de métodos tradicionais de produção que exigem moldes, matrizes e necessitam de planejamento detalhado para dar início na produção de peças. Deste modo, cada vez mais, a impressão 3D evolui e se mostra promissora, capaz de lidar com muitas das necessidades da sociedade atual.

Porém, por ser uma tecnologia relativamente nova e ainda em amadurecimento, muitas das empresas, principalmente de manufatura, ainda não utilizam a Fabricação Aditiva, e as que a usam, podem não apresentar conhecimentos profundos acerca de suas características, configurações e particularidades e podem não utilizar as configurações oferecidas pelas máquinas de forma efetiva de acordo com suas aplicações e necessidades. Tais fatores mostram a necessidade de adquirir mais conhecimento da Fabricação Aditiva e seus parâmetros, avaliando as configurações usadas e verificando se estas estão alinhadas com a aplicação desejada.

Neste trabalho, tal necessidade pôde ser atendida por meio de um referencial teórico embasado nas tecnologias atuais de Fabricação Aditiva, em que foram apresentados detalhes do processo destas tecnologias, suas características e particularidades. Além disso, o trabalho apresentou as etapas de criação de peças oriundas da Fabricação Aditiva, apresentando as características de cada etapa, juntamente com os parâmetros configuráveis na construção das peças, mostrando como estes parâmetros afetam na qualidade da peça, tempo de produção, consumo de material, etc.

REFERÊNCIAS

BACKLASH. White Clouds. EUA. [2016?]. Disponível em: <<https://www.whiteclouds.com/3dpedia-index/backlash>> Acesso em 20 set. 2016.

BRENTRALL, Roger. Rapid Manufacturing. Disponível em: <<http://www.hse.gov.uk/horizons/assets/documents/rapidmanufacturing.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2016.

BUDMEN, Isaac. Understanding Shells, Layer Height and Infill. 2013. Disponível em: <<http://blog.teambudmen.com/2013/09/understanding-shells-layer-height-and.html>>. Acesso em: 02 mai. 2016.

DIRECTED ENERGY DEPOSITION. Disponível em: <<http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/directedenergydeposition/>> Acesso em: 06 out. 2016.

FUSED Deposition Modeling. SolidFill. 2016. Disponível em: <http://solidfill.com/en/Fused_Deposition_Modeling/>. Acesso em 20 ago. 2016

GEBHARDT, Andreas. Understanding Additive Manufacturing. Alemanha. Hanser, 2011.

GIBSON, Ian; ROSEN, David; STUCKER, Brent. Additive Manufacturing Technologies. New York: Springer, 2009.

GRIMM, Todd. **Fused Deposition Modeling: A Technology Evaluation**. Disponível em: <<http://tagrimm.com/downloads/fdm-white-paper.pdf>>. Acesso em: 08 ago. 2016.

HEYNICK, Mitch; STOTZ, Ivo. **3D CAD, CAM and Rapid Prototyping**. Disponível em: <http://enac-oc.epfl.ch/files/content/sites/enacco/files/3D%20CAD%20CAM%20and%20Rapid%20PrototypingV1.1.pdf>.> Acesso em: 15 set. 2016

HIEMENZ, Joe. **Electron Beam Melting**. Disponível em: <<http://www.asminternational.org/documents/10192/1882071/amp16503p045.pdf/d03429d3-895c-4403-8f84-ec33f3a9d172>>. Acesso em 24 set. 2016.

HOPKINSON, Neil; HAGUE, Richard; DICKENS, Philip. **Rapid Manufacturing: An Industrial Revolution for the Digital Age**. John Wiley & Sons, 2006.

INFINITY **Rinse-Away support Material**. Disponível em: <<http://www.3dsystems.com/shop/cartridges/infinity?redirectFrom=cubify>>. Acesso em 10 set. 2016.

LAMINATED Object Manufacturing. Universidade de Milwaukee. EUA. Disponível em: http://www.rpc.msoe.edu/machines_lom.php>. Acesso em: 23 ago. 2016.

LAYER THICKNESS in 3D Printing: an additive manufacturing basic. Disponível em: <<https://www.sculpteo.com/en/glossary/layer-thickness-definition/>>. Acesso em: 05 mai. 2016.

ABOUT **Additive Manufacturing: Sheet Lamination**. Loughborough University. Inglaterra. Disponível em: <<http://www.lboro.ac.uk/research/amrg/about/the7categoriesofadditivemanufacturing/sh eetlamination/>>. Acesso em 20 set. 2016.

NAPIER, Hannah. **Backlash Battles**. 2011. Disponível em: ><http://hannahnapier.co.uk/2011/08/backlash-battles/>>. Acesso em 20 set. 2016.

PALERMO, Elizabeth. **What is Stereolithography**. Disponível em: <http://www.livescience.com/38190-stereolithography.html>.> Acesso em: 17 set. 2016

RAFTS, skirts and brims. Disponível em: <<https://www.simplify3d.com/support/articles/rafts-skirts-and-brims/>>. Acesso em 24 set. 2016.

REESE, Jed. **FDM - Rapid Prototyping**. Disponível em: <www.freequality.org/.../FDM%20Rapid%20Prototyping.pdf>. Acesso em: 20 ago. 2016.

ROUSE, Margaret. **Definition: Rapid Prototyping**. 2014. Disponível em: <<http://searchmanufacturingerp.techtarget.com/definition/Rapid-prototyping>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

SLICING 101 - Effects of Layer Height on 3D Parts. Airwolf 3D. 2012. Disponível em: <<http://airwolf3d.com/wiki/slicing-1/>> Acesso em: 14 mar. 2016.

TYPES of 3D Printers or 3D Printing Technologies Overview. Top Max Technology Magazine. 2015. Disponível em: <<http://en.topmaxtech.net/reviews/2015/12/27/types-of-3d-printers-or-3d-printing-technologies-overview/279.html>>. Acesso em 15 ago. 2016.

WHAT IS an STL File. Disponível em: <<http://www.3dsystems.com/quickparts/learning-center/what-is-stl-file>>. Acesso em: 10 abr. 2016.

3D PRINTED Objects. Cliparbest.[2015?]. Disponível em: <<http://www.clipartbest.com/cliparts/dir/MqB/dirMqBRyT.jpeg>>. Acesso em 21 mar. 2016.

3D PRINTING Technologies. iMaterialise. EUA. 2014. Disponível em: <<https://i.materialise.com/blog/an-intro-to-our-3d-printing-technologies-stereolithography/>>. Acesso em: 13 ago. 2016