

FUNDAÇÃO DE ENSINO “EURÍPIDES SOARES DA ROCHA”
CENTRO UNIVERSITÁRIO EURÍPIDES DE MARÍLIA – UNIVEM
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

GABRIEL GAZETTA DE ARAUJO

**A IMPRESSÃO 3D E OS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O
PRODUTO FINAL**

MARÍLIA

2016

GABRIEL GAZETTA DE ARAUJO

A IMPRESSÃO 3D E OS PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O PRODUTO FINAL

Trabalho de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília – UNIVEM, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Orientador:

Prof. Dr. Edson Detregiachi Filho

MARÍLIA

2016

Araujo, Gabriel Gazetta de

A Impressão 3D e os Parâmetros que Influenciam o Produto Final/ Gabriel Gazetta de Araujo; orientador: Prof. Dr. Edson Detregiachi Filho. Marília, SP: [s.n.], 2016.

62 f.

Trabalho de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) - Curso de Engenharia de Produção, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília –UNIVEM, Marília, 2016.

1. Fabricação Aditiva 2. Impressão 3D

CDD: 686.2



FUNDAÇÃO DE ENSINO "EURÍPIDES SOARES DA ROCHA"
Mantenedora do Centro Universitário Eurípides de Marília - UNIVEM

Curso de Engenharia de Produção.

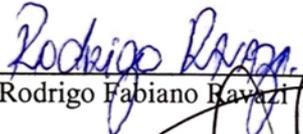
Gabriel Gazetta de Araujo - 47226-3

TÍTULO "A Impressão 3D e os Parâmetros que Influenciam o Produto Final."

Banca examinadora do Trabalho de Curso apresentada ao Programa de Graduação em Engenharia de Produção da UNIVEM, F.E.E.S.R, para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Produção.

Nota: 10,0

ORIENTADOR: 
Edson Detregiachi Filho

1° EXAMINADOR: 
Rodrigo Fabiano Ravazi

2° EXAMINADOR: 
Geraldo Cesar Meneghella

Marília, 07 de dezembro de 2016

À minha mãe e meu pai que mais me apoiaram durante toda minha graduação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço acima de tudo à Deus, onipresente e que me concedeu tantas bênçãos; ao meu Professor Orientador, Edson Detregiachi; aos professores Rodrigo Ravazi e Geraldo Meneghello; à coordenadora do Curso de Engenharia de Produção, Vânia Herrera; aos meus colegas e amigos do Univem, em especial Thalita, Isabela, Larissa, e Livia; aos meus amigos que me auxiliaram, em especial Matheus por ter lido e revisado meu trabalho; à minha família por ter me apoiado, em especial minha mãe Silvana e meu pai José Carlos; e finalmente ao Professor Dr. Andres Carrano por me proporcionar conhecimento acerca do tema deste trabalho.

“Science is but a perversion of itself unless it has as its ultimate goal the betterment of humanity.”

Nikola Tesla.

ARAÚJO, Gabriel Gazetta de. **A Impressão 3D e os Parâmetros que Influenciam o Produto Final**. 2016. 62 f. Trabalho de Curso. (Bacharelado em Engenharia de Produção) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2016.

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 materiais. A *Fused Filament Fabrication*, ou em português, Fabricação por Filamento Fundido é uma destas tecnologias: cria peças tridimensionais por meio da extrusão de matéria-prima abaixo do ponto de fusão, a matéria-prima é depositada em uma plataforma camada por camada, gerando o produto finalizado diretamente do modelo conceitual CAD, sem necessidade de moldes ou planejamento produtivo. O objetivo geral deste estudo é melhor conhecer esta importante e promissora tecnologia e suas particularidades, que se mostram relevantes atualmente de modo a observar a influência de configurações na peça final. Os objetivos específicos são observar as práticas produtivas de uma empresa por meio de uma pesquisa experimental realizando estudo de caso, analisando oportunidades para melhorias, e assim, propondo mudanças nas práticas da impressão 3D e buscando melhorar o processo de forma a reduzir o consumo de matéria-prima, refletindo no custos de impressão, além de reduzir tempos de fabricação.

Palavras-chave: Fabricação Aditiva. Impressão 3D. *Fused Filament Fabrication*.

Araujo, Gabriel Gazetta de. **3D Printing and the Parameters that Impact the Product**. 2016. 62 p. Monograph. (Bachelor's Degree in Industrial Engineering) – Centro Universitário Eurípides de Marília, Fundação de Ensino “Eurípides Soares da Rocha”, Marília, 2016.

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. The Fused Filament Fabrication is one of these technologies, it creates models by the extrusion of material below the melting point, which is deposited on a platform layer by layer, creating the product directly from the model designed in CAD, with no need of process planning or dies. The main objective of this study is to gather information about this specific technology and its particularities, observing how settings and parameters affect the final model. Specifically, through a case study, this paper aims to observe how a chosen organization uses 3D Printing, analyze opportunities for improvement and then propose changes in the practices, aiming to reduce building costs and time.

Keywords: Additive Manufacturing. 3D Printing. Fused Filament Fabrication.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Peças feitas por tecnologias de Fabricação Aditiva	18
Figura 2 - Orelha impressa por Impressora 3D	22
Figura 3 - Ponte por Impressão 3D.....	23
Figura 4 – Material Impresso por meio do PLA.....	25
Figura 5 - Fused Filament Fabrication	27
Figura 6 – Funcionamento esquemático de uma impressora 3D.....	28
Figura 7 - Espaços entre os traços extrudados.....	29
Figura 8 - Separação de camadas devido a baixa temperatura	30
Figura 9 - Rafts, skirts e brims.	31
Figura 10 – Esquema de produção por meio da Estereolitografia.....	32
Figura 11 – Funcionamento esquemático de Powder Bed Fusion.....	33
Figura 12 – Esquema básico do funcionamento da Manufatura de Objeto em Lâminas ...	34
Figura 13 - Directed Energy Deposition.....	35
Figura 14 - Demonstração do modelo em CAD, comparado com espessura de camada ...	38
Figura 15 - Demonstração do arquivo STL e peça pronta.....	39
Figura 16 - Porcentagem de Preenchimento.....	40
Figura 17 - Comparação de diferentes espessuras em um mesmo modelo	41
Figura 18 - Peça construída em duas alternativas de orientação	42
Figura 19 - Dimension SST 1200es.	44
Figura 20 – Simulação da peça em Solid Density	48
Figura 21 - Peça finalizada e impressa em baixa densidade.....	51

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Oito Passos para a Produção Aditiva.....	36
Tabela 2 - Especificações da Dimension SST 1200es.....	44
Tabela 3 - Solid Density	49
Tabela 4 - High Density.....	49
Tabela 5 - Low Density.....	49

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Custo anual de matéria-prima e suporte em 2016.....	46
Gráfico 2 - Comparativo entre as três configurações	50
Gráfico 3 – Gastos com Matéria Prima antes do Estudo e Depois do Estudo.....	54
Gráfico 4 – Peças (semelhantes a do estudo) por cartucho e duração do kit de cartuchos.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABS - Acrilonitrila butadieno estireno

CAD - *Computer Aided Design*

FDM - *Fused Deposition Modeling*

FFF - *Fused Filament Fabrication*

PLA – Ácido Polilático

PVC - Policloreto de Vinil

P&D – Pesquisa & Desenvolvimento

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Delimitação do Tema	15
1.2 Objetivos Gerais	16
1.3 Objetivos Específicos	16
1.4 Justificativa	16
1.5 Metodologia	17
1.6 Estrutura do Trabalho	17
2 REFERENCIAL TEÓRICO	18
2.1 Introdução	18
2.2 Prototipagem Rápida	19
2.2.1 Prototipagem não funcional: modelagem conceitual	20
2.2.2 Prototipagem Funcional	20
2.4 Outras aplicações	21
2.4.1 Manufatura Rápida	21
2.4.2 Medicina e Bioprinting	21
2.4.3 Arte e Moda	22
2.4.4 Construção Civil e Arquitetura	23
2.4.5 Alimentação	24
2.4.6 Agricultura	24
2.5 Tecnologias	26
2.5.1 Fused Filament Fabrication	26
2.5.2 Estereolitografia	31
2.5.3 Powder Bed Fusion	32
2.5.4 Sheet Lamination	34
2.5.5 Directed Energy Deposition	35
2.5 Criação do modelo tridimensional e Parâmetros	36
2.3.1 CAD, Conversão e Transferência do Arquivo	37
2.3.2 Configuração da Máquina e Construção	39
2.3.3 Remoção e Pós-Produção	42

2.3.4 Aplicação	42
3 ESTUDO DE CASO	43
3.1 Descrição da empresa	43
3.2 Descrição e levantamento de informações	43
3.3 Execução do estudo	46
4 RESULTADOS	52
5 CONCLUSÕES	56
REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

Também conhecida popularmente como impressão 3D, a Fabricação Aditiva é a criação de produtos por meio de camadas, podendo envolver vários processos e materiais, como metais e mais comumente, polímeros. É uma tecnologia que gera produtos diretamente do arquivo projetado em um *software* CAD (*Computer Aided Design*), sem a necessidade de planejamento produtivo, criação de moldes ou qualquer processo de planejamento; esta é uma das grandes vantagens da Fabricação Aditiva, permitindo geração de peças com prontidão até então improvável.

A formação das peças varia conforme a tecnologia envolvida na máquina de Fabricação Aditiva, ou seja, na Impressora 3D; porém, de modo geral, partindo do *software* CAD, o arquivo contendo o design do produto é enviado à máquina, que parte para a construção da peça conforme determinada tecnologia. Esta construção ocorre camada por camada, geralmente com base em uma plataforma móvel, baseando-se no design criado em CAD. A peça é finalizada quando todas as camadas já estiverem sido impressas.

As diversas tecnologias de Fabricação Aditiva (extrusão, polimerização, fusão de pó), possuem etapas e parâmetros em comum, uma vez que geram, de maneira geral, peças camada por camada. Os parâmetros mais comuns são espessura de camada e preenchimento interno, o primeiro especifica quanto cada camada depositada tem de espessura, já o segundo representa quanto, do interior da peça é preenchido com material; além destes parâmetros, há várias outras particularidades e detalhes do processo que serão estudadas neste trabalho.

1.1 Delimitação do Tema

Diante dos vários métodos e tipos de Fabricação Aditiva, para este estudo será analisado principalmente o *FFF* (*Fused Filament Fabrication*) que é um método amplamente adotado atualmente, inclusive na empresa em que o estudo de caso foi realizado. Esta tecnologia consiste em um bico que dispensa material fundido sob uma superfície, construindo o produto camada por camada, a construção de peças por meio desta tecnologia apresenta uma variedade de configurações e particularidades que variam conforme o fabricante e modelo da máquina impressora, desta forma, uma grande variedade de configurações também abre campo para melhorias, reduzindo gastos desnecessários de materiais, que representam custos sig-

nificativos para muitas empresas. Sendo assim, neste trabalho, busca-se melhor conhecer tais configurações e particularidades, de modo a oferecer redução no consumo de materiais e otimização das configurações utilizadas, trazendo melhores resultados na peça final.

1.2 Objetivos Gerais

O objetivo geral deste trabalho, tendo em vista os diferentes tipos de fabricação aditiva, com foco em *Fused Filament Fabrication*, é observar sua relevância e a influência das configurações e parâmetros estabelecidos no resultado final das peças.

1.3 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são estudar um caso de uma organização que utiliza a impressão 3D, aplicar o conhecimento adquirido e propor mudanças nas práticas produtivas de empresas, auxiliando a poupar material, refletindo em redução de custos e tempo de fabricação.

1.4 Justificativa

A Fabricação Aditiva oferece grandes e promissoras vantagens frente à manufatura tradicional, onde não necessita de moldes e todo o processo produtivo e de acabamento de uma peça é reduzido, mostrando-se uma importante alternativa para a prototipagem e produção personalizada, indicando um futuro promissor para esta tecnologia. Porém, empresas que já adotaram a utilização de impressoras 3D nas suas atividades não costumam apresentar conhecimentos aprofundados sobre os parâmetros e configurações que envolvem esta tecnologia, uma vez que é relativamente nova e difere das tecnologias de conformação tradicionais; além disso, a Fabricação Aditiva ainda é custosa, tanto nos equipamentos quanto na matéria-prima e desperdício de material pode apresentar custos significativos.

Devido a estes fatores, abrem-se oportunidades para pesquisar tais parâmetros e configurações, auxiliando a agregar conhecimento para empresas e trazer benefícios como redução do consumo de matéria-prima.

1.5 Metodologia

A metodologia usada no Trabalho é a Pesquisa Experimental por meio de um Estudo de Caso, o primeiro, que segundo Gil (2008) apud Prodanov e Freitas (2013), é um estudo em que variáveis são expostas ao objeto de estudo, de forma a observar o resultado. Já o Estudo de Caso é, segundo Zainal (2007), uma metodologia que permite o pesquisador examinar com proximidade dados em um contexto específico, normalmente tomando como base pequenos espaços geográficos, número limitado de indivíduos ou situações específicas como objeto de estudo.

O estudo de caso foi realizado na unidade de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D) de um grupo de empresas com várias unidades de negócio, o centro de P&D encontra-se no interior do estado de São Paulo. No estudo de caso, foram analisadas as condições de operação da impressora 3D utilizada na organização, observadas as especificações que as peças eram produzidas e proposto soluções para obter um resultado melhor em conjunto com a economia de material de impressão (filamento).

1.6 Estrutura do Trabalho

O Capítulo 2 contém uma revisão bibliográfica dos principais conceitos ligados à Fabricação Aditiva, citando as diversas tecnologias; porém, dando ênfase na *Fused Filament Fabrication*, que é uma tecnologia que extruda material camada por camada, formando peças. Neste capítulo, também são estudadas as etapas da criação de uma peça tridimensional e suas particularidades, além das aplicações da Fabricação Aditiva em diversos ramos, como Medicina, Construção, etc.

O Capítulo 3 relata o estudo de caso, descrevendo as informações obtidas da empresa objeto do estudo, analisando dados fornecidos sobre a tecnologia utilizada pela empresa, custos e consumo de matéria-prima, configurações possíveis e desenvolvimento do estudo de caso e experimentos.

O Capítulo 4 apresenta os resultados do estudo, mostrando quanto os parâmetros afetam a peça, quanto o consumo de matéria-prima pode ser reduzido, bem como os tempos de fabricação e custos.

O Capítulo 5, por fim, apresenta as conclusões pertinentes a este Trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 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. Exemplos destas peças estão demonstrados na Figura 1.

Figura 1 – Peças feitas por tecnologias de Fabricação Aditiva



Fonte: Clipartbest.com [2015?]

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).

De acordo com Wohlers e Gornet (2014), a Fabricação Aditiva surgiu inicialmente em 1987, lançada pela 3DSystems, por meio de uma tecnologia chamada estereolitografia, que consiste na solidificação de uma resina líquida por meio de um laser ultravioleta. O laser é direcionado para a resina de acordo com o design proposto em CAD, solidificando a resina e assim, formando a peça. Ainda segundo os autores, desde então, surgiram novas máquinas, resinas, aplicações e tecnologias. De acordo com a empresa Shapeways (2016), quando a Fabricação Aditiva foi lançada, na década de 80, os usos para esta tecnologia eram quase que exclusivamente para visualizar modelos antes da produção, a partir de então, a tecnologia evoluiu de maneira que possibilitou novas aplicações em diversos ramos da engenharia, medicina, arquitetura e arte. Mesmo hoje em dia, muitas empresas ainda usam a Fabricação Aditiva exclusivamente para fins de prototipagem, que é, inclusive, o caso da empresa do estudo de caso deste trabalho.

Gebhardt (2011) define os níveis de utilização da Fabricação Aditiva de acordo com o tipo de aplicação e a variedade dos produtos que podem ser desenvolvidos de acordo com o nível de utilização. O autor categoriza a tecnologia em duas aplicações: prototipagem rápida e manufatura rápida. O foco deste trabalho é a Prototipagem Rápida, portanto, se aprofundará mais nesta aplicação, sem deixar de explicar breves conceitos da manufatura rápida e outras aplicações.

2.2 Prototipagem Rápida

De acordo com Rouse (2014), a Prototipagem Rápida é a criação de um modelo tridimensional capaz de permitir testar a eficiência de uma parte antes da mesma ser produzida em larga escala, teste este, que está mais ligado ao design, formato ou tamanho, já que as peças construídas pela impressora 3D podem não apresentar a mesma resistência que peças produzidas por outro processo de formação.

Patel (2015) defende que a Prototipagem Rápida oferece meios rápidos e assertivos para possibilitar a análise e percepção do produto. O autor também indica cinco benefícios do uso desta prática, dos quais:

- Percepção dos conceitos do *Design*: permitir a percepção do produto além da contextualização tridimensional digital, o modelo físico permite melhor visualização e proporciona mais potencial para melhorias no design;
- Incorporação das mudanças instantaneamente: com o modelo físico, é mais fácil obter um feedback do produto, além de garantir que ele seja mais confiável, por meio disso, alterações no produto podem ser feitas mais rapidamente, garantindo que o produto seja mais aceito pelo público-alvo;
- Redução de custos: Permite redução de tempo e custos com desenvolvimento e criação já que é feito por meio da Fabricação Aditiva;
- Customização: A prototipagem rápida permite o desenvolvimento de produtos customizados de acordo com requerimentos individuais e quaisquer mudanças podem ser alteradas no arquivo CAD prontamente;
- Redução de falhas: por meio do modelo físico, é possível identificar falhas no design antes da produção. Em protótipos funcionais, é possível que testes sejam feitos, identificando falhas e problemas que podem ser prontamente resolvidos.

2.2.1 Prototipagem não funcional: modelagem conceitual

Para o Centro Industrial da Universidade Politécnica de Hong Kong (2009), a prototipagem conceitual é muito útil para avaliar a aparência e o design do modelo, que geralmente possuem a mesma aparência, formato, cor e tamanho do produto finalizado, obtendo informações prévias sobre a aceitação de potenciais clientes.

2.2.2 Prototipagem Funcional

Para a empresa Hyphen (2016), um protótipo funcional permite, dentre outras coisas, descobrir problemas de performance e especificações e corrigi-los antes de iniciar a produção do produto final, auxiliando na avaliação do desempenho nas condições que os produtos serão usados. Para o Centro Industrial da Universidade Politécnica de Hong Kong (2009), este tipo de protótipo pode ser construído por Fabricação Aditiva para avaliar as funções do produto, sendo construído com material igual ou semelhante ao do produto final, tentando alcançar as mesmas propriedades mecânicas.

2.4 Outras aplicações

Além da Prototipagem Rápida, a Fabricação Aditiva possui inúmeras outras aplicações, algumas delas estão brevemente descritas nesta seção.

2.4.1 Manufatura Rápida

De acordo com Brenttrall (2007), a presença de tecnologias de Fabricação Aditiva por algumas décadas, bem como a redução dos custos, aumento da agilidade de processamento e construção, aliados com maior variedade de materiais e melhorias gerais no processo, possibilitaram a inserção da Fabricação Aditiva na indústria, prática conhecida como Manufatura Rápida. Esta prática ocorre de forma semelhante à Prototipagem Rápida, gerando produtos, desta vez finalizados, sem passar por processos de produção envolvendo moldes e ferramentas convencionais.

2.4.2 Medicina e Bioprinting

O uso da Impressão 3D na Medicina é uma das aplicações mais impactantes e significativas. Segundo Mesko (2015), as aplicações ocorrem com, por exemplo, equipamentos médicos, próteses, cartilagens de orelha, pele, válvulas cardíacas, ossos e até mesmo órgãos.

3D *Bioprinting*, segundo Murphy e Atala (2014), é a impressão de materiais biocompatíveis, como células e componentes de tecidos funcionais complexos. É utilizado na medicina regenerativa para transplante e regeneração de tecidos e órgãos em pacientes. Nesta área estão as aplicações mais ambiciosas da impressão 3D, segundo Mesko (2015) há vários estudos sendo desenvolvidos e já capazes de promover o 3D *Bioprinting*: um estudo desenvolvido pela Universidade do Estado de Washington em 2011, modificou uma impressora 3D para ligar químicos com cerâmica em pó, criando estruturas intrínsecas capazes de promover crescimento de ossos; um pesquisador na Escola de Medicina de Wake Forest, nos EUA, desenvolveu uma impressora capaz de imprimir pele sintética diretamente sobre as feridas de vítimas de queimaduras e incêndios; um pesquisador da Universidade de Cornell criou por meio de molde tridimensional preenchido com um gel contendo cartilagem bovina e colágeno enquanto células se reproduziam; outro pesquisador, também da Universidade de Cornell, foi capaz imprimir uma válvula cardíaca em uma combinação de algina, células musculares, ca-

pazes de controlar a elasticidade da válvula e a empresa Orgonovo, que criou, por impressão 3D, um fígado com células funcionais capazes de funcionar por 40 dias, sendo usado para testar fármacos, mas com planos para criar órgãos funcionais que possam ser transplantado em pacientes que aguardam doação de órgãos. Uma imagem da orelha impressa na Universidade de Cornell está presente na Figura 2.

Figura 2 - Orelha impressa por Impressora 3D



Fonte: Cornell University [2013?]

2.4.3 Arte e Moda

De acordo com Brooks (2014), a Fabricação Aditiva permitiu uma mudança radical nas áreas da Moda e Arte, permitindo inúmeras novas possibilidades, como recriar obras-primas, imprimir novos e inovadores instrumentos musicais, criação de animações estilo stop-motion, esculturas, réplicas de artefatos históricos e até mesmo sons. No ramo da Moda, a Fabricação Aditiva permite, segundo a autora, criação de peças diretamente do design e peças que permitem conexões eletrônicas.

2.4.4 Construção Civil e Arquitetura

As aplicações da impressão 3D na construção e na arquitetura são amplas e vão além de maquetes e projetos em pequena dimensão. No ano de 2015, segundo Starr (2015) a empresa holandesa, MX3D, pretende criar uma ponte de aço na cidade de Amsterdam, Holanda, com proposta para finalização em 2017. O projeto, ilustrado na Figura 3, consiste em um robô capaz de imprimir pequenas linhas de metal, que juntas criam estruturas complexas e resistentes; a autora também relata que o robô é capaz de atuar autonomamente, criando as próprias estruturas de suporte.

Figura 3 - Ponte por Impressão 3D



Fonte: MX3D.com (2015)

Segundo Hall (2016), a empresa chinesa Hushang Tengda, criou na cidade de Beijing uma casa de 400 metros quadrados utilizando um braço robótico aliado a uma impressora 3D; segundo o autor, a casa possui paredes com 250mm de espessura e tem estrutura para suportar um terremoto de até 8 pontos na escala Richter. Além disso, o tempo que a casa levou para ser

construída foi de apenas 45 dias e, segundo o autor, caso a casa fosse construída por métodos tradicionais, levaria pelo menos três meses.

Segundo Nehuen (2015), a italiana WASP possui um projeto da criação de uma impressora 3D capaz de criar casas por meio de argila; esta impressora fica instalada em uma estrutura de 12 metros e foi projetada para suprir o crescimento populacional, promovendo moradia para locais mais pobres e necessitados.

2.4.5 Alimentação

Segundo Wiggers (2015) a Impressão 3D de alimentos tem o potencial de mudar o cenário da produção de alimentos, promovendo a customização nutricional, aumento da oferta de alimentos e criatividade da culinária, porém, para o autor ainda há um longo caminho de desenvolvimento para estes equipamentos se tornarem viáveis e popularmente comercializados. Grunewald (2016) afirma que o material e forma com que os alimentos são impressos é uma das desvantagens da aplicação, já que conta atualmente, apenas com sistemas de extrusão e alimentos que tem aspecto pastoso, sendo ideal para impressão de alimentos como chocolate, massas, doces, pães, etc. O autor acredita que no futuro, impressoras 3D poderão estar presentes para uso regulares diretamente com os consumidores, já que estes equipamentos podem auxiliar no preparo de refeições e customizar dietas de acordo com necessidades nutricionais.

2.4.6 Agricultura

Scott (2016) relata que a tecnologia está cada vez mais embarcada na agricultura, e a Fabricação Aditiva faz parte das tecnologias que estão mudando a indústria agrícola, onde indústrias utilizam esta tecnologia para criar protótipos e peças funcionais. O'Brien (2016 apud SCOTT, 2016) acredita no uso da Fabricação Aditiva diretamente por fazendeiros, onde poderão imprimir novas peças de reposição diretamente na fazenda, *on-demand*, comprando apenas o design do fabricante, evitando aguardo na entrega do produto.

Bennet (2016) relata que conforme os custos caem e a eficiência aumenta, as aplicações e o uso da Fabricação Aditiva tendem a se expandirem cada vez mais, tornando-se ferramentas comuns na agricultura. O autor também acredita que a Fabricação Aditiva permitirá que os agricultores se tornem mais autossuficientes, podendo gerar as próprias peças contando somente com o design do produto. Para o autor, revendedores locais poderão fornecer partes

de reposição temporárias utilizando Impressoras 3D enquanto aguardam para a reposição permanente oriunda do fabricante. De acordo com Bernard (2016 apud BENNET 2016), especialista da Universidade Estadual de North Dakota, novos materiais para a Fabricação Aditiva estão surgindo, como o já disseminado ácido polilático (PLA); de acordo com o especialista, este bioplástico formado a partir do amido de milho ou dextrose, gera produtos mais resistentes e por custos menores: enquanto filamentos comuns custam cerca de \$5 a \$10 por polegada cúbica (16 cm^3), peças produzidas com PLA podem chegar \$0,25 a \$0,50 por polegada cúbica (16 cm^3). O design de um trator impresso a partir deste material está disponível na Figura 4.

Figura 4 – Material Impresso por meio do PLA



Fonte: AgWeb.com (2016).

Em termos atuais, Bennet (2016) afirma que o uso da Fabricação Aditiva está apenas no início das aplicações na agricultura como em vários outros setores. De acordo com o autor, atualmente, empresas utilizam esta tecnologia para análises de protótipos, permitindo mudanças no design de peças sem ter quaisquer gastos com moldes e criação do processo produtivo, permitindo que o cliente final obtenha acesso ao produto e melhorias mais rapidamente.

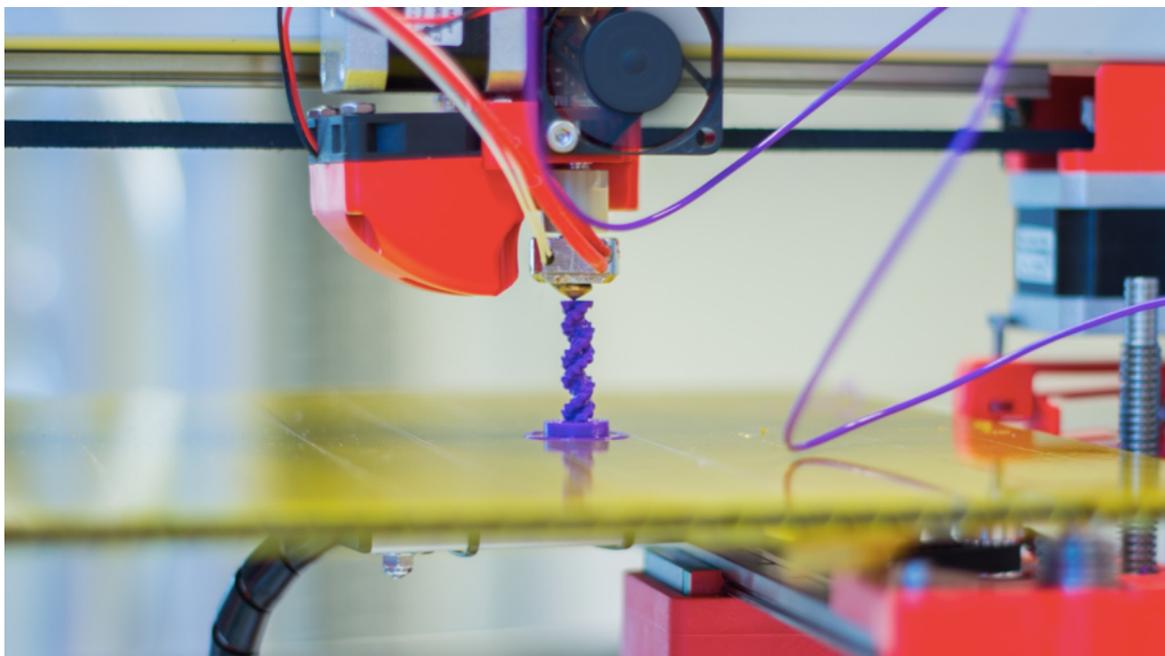
2.5 Tecnologias

Apesar da tecnologia mais relevante a este trabalho ser a Fabricação por Filamento Fundido, é interessante conhecer e apresentar outras tecnologias referentes à Fabricação Aditiva; porém, tais tecnologias não estão no escopo do estudo de caso, deste modo, a apresentação destas tecnologias será breve e conceitual, com o foco principal na tecnologia demonstrada a seguir.

2.5.1 *Fused Filament Fabrication*

A *FFF*, abreviação de *Fused Filament Fabrication*, 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. Uma representação desta ação está presente na Figura 5.

Figura 5 - *Fused Filament Fabrication*

Fonte: 3drevolutions.com (2014).

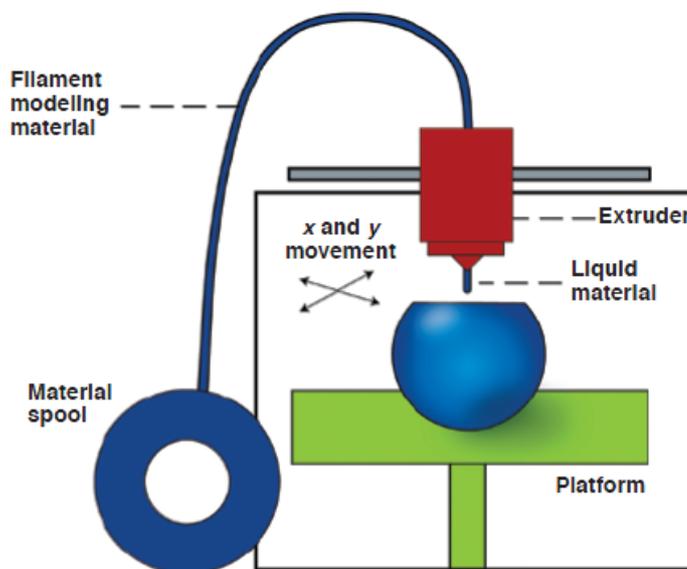
Gibson, Rosen e Stucker (2009), detalham as etapas e os princípios básicos da formação por extrusão, que serão descritos nos próximos parágrafos.

Os autores explicam como 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. preci-

são, 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 6.

Figura 6 – Funcionamento esquemático de uma impressora 3D

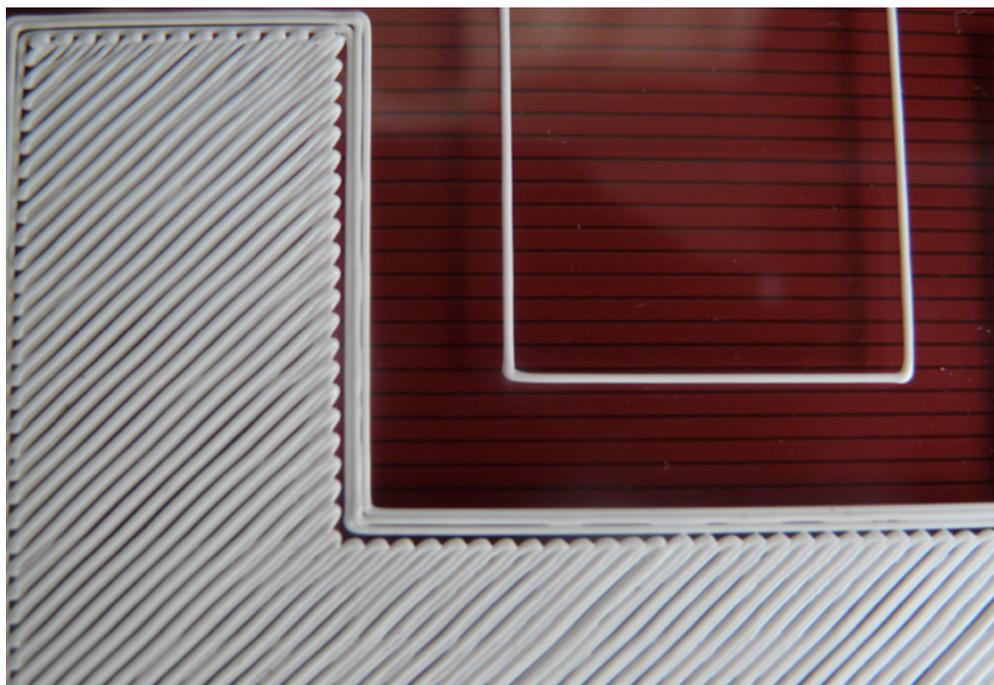


Fonte: SolidFill.com (2014)

Segundo 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 7 é causado pelo *backlash*, que segundo a empresa americana WhiteClouds (2016), é um movimento descalibrado no bico da máquina, causa-

do 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 7 - 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 de camadas, exemplificado na Figura 8. O contrário (sobre-aquecimento) pode causar, segundo os autores, deformações na peça.

Figura 8 - Separação de camadas devido a baixa temperatura



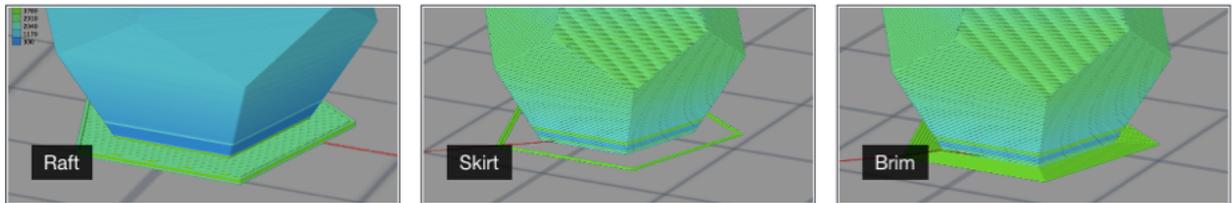
Fonte: Simplify3D.com (2015)

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 9.

Figura 9 - Rafts, skirts e brims.

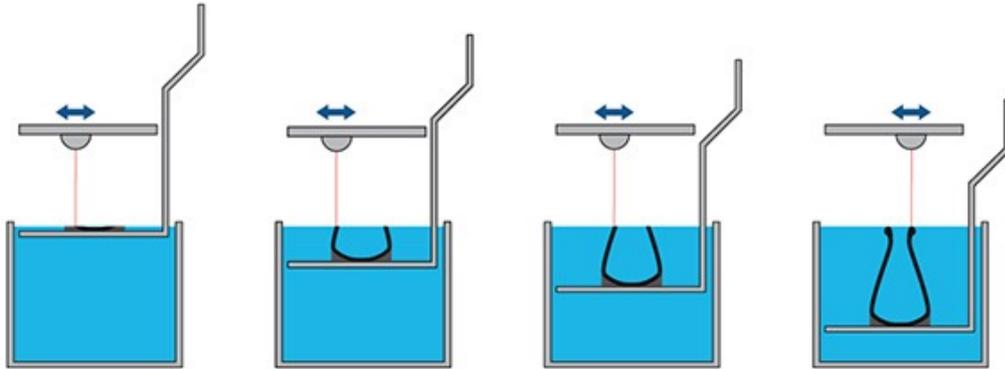


Fonte: Simplify3D.com (2016)

2.5.2 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 submergido 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 10.

Figura 10 – Esquema de produção por meio da Estereolitografia

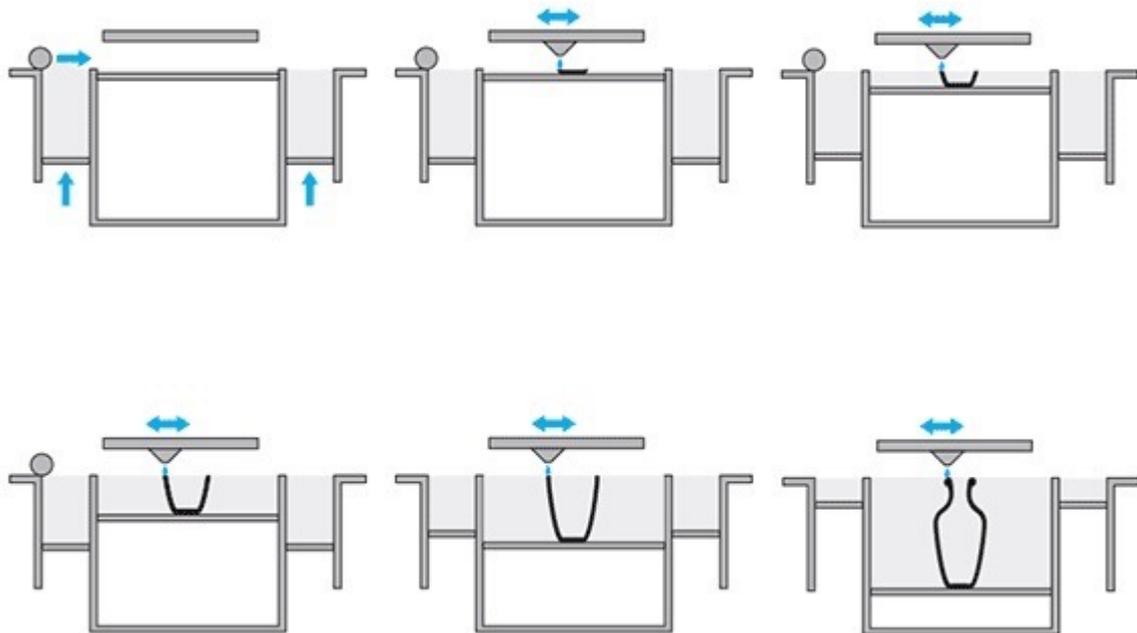


Fonte: iMaterialise.com (2014).

2.5.3 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 11.

Figura 11 – 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.

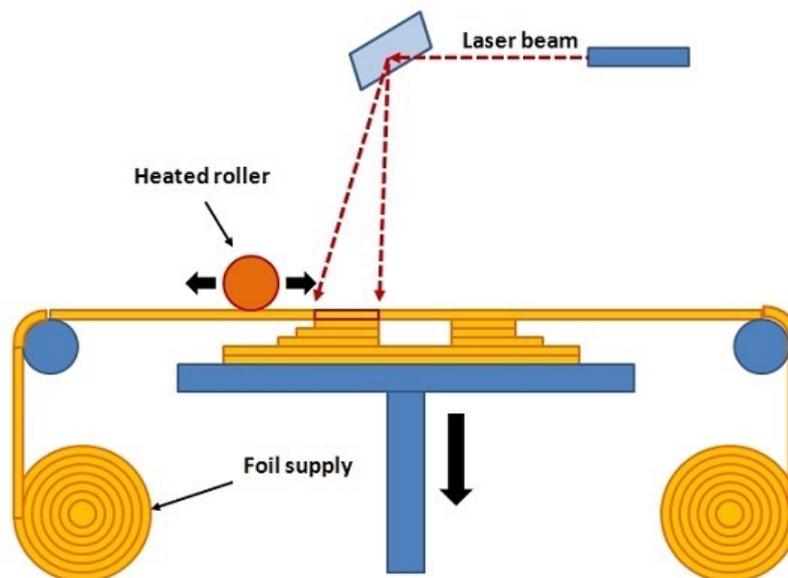
Outra tecnologia semelhante é o *Binder Jetting*, em tradução livre, Jato Aglutinante, que segundo Gibson, Rosen e Stucker (2009), é um processo que, de forma semelhante ao *Powder Bed Fusion*, forma objetos em camada de pó. A diferença é que neste caso, jatos de material aglutinante são depositados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

2.5.4 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 12.

Figura 12 – Esquema básico do funcionamento da Manufatura de Objeto em Lâminas



Fonte: TopMaxTechnologyMaganize (2014).

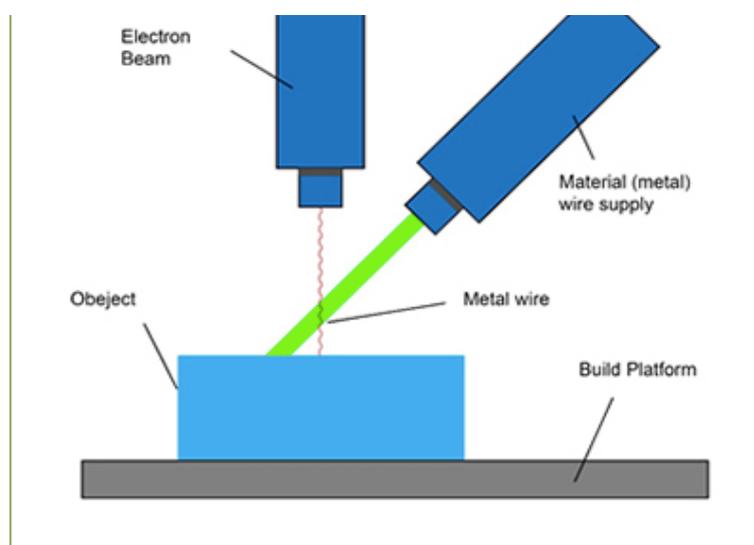
Heynick e Stotz (2009) relatam que a empresa inicialmente responsável pela distribuição cessou as atividades no começo dos anos 2000, uma vez que não conseguiram competir com novas tecnologias de Fabricação Aditiva já que a LOM não apresenta uma boa acurácia e qualidade quanto outras tecnologias, porém,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

2.5.5 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 13.

Figura 13 - *Directed Energy Deposition*



Fonte: Loughborough University (2016).

2.5 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 será a tecnologia que embasa o estudo de caso. Em se tratando da criação de um modelo tridimensional, bem como suas características e particularidades, Gibson, Rosen e Stucker (2009) definem oito 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 a Tabela 1.

Tabela 1 - Oito Passos para a Produção Aditiva

Passos	Descrição
CAD	Design do modelo em um <i>software</i> CAD, representado por uma superfície sólida em 3D.
Conversão do Arquivo	Conversão do arquivo do CAD para um formato que possa ser lido por equipamentos 3D, como STL.
Transferência	Nesta etapa é preciso transferir o arquivo e garantir que o modelo está disposto em tamanhos, posições e orientações corretas para a construção.
Configuração da Máquina	Configurações de parâmetros que devem ser definidas antes da produção, como espessura, preenchimento, materiais, energia, etc.
Construção	Geralmente a construção de partes por Fabricação Aditiva não necessita de grandes supervisões por ser um processo automatizado, portanto as supervisões são mínimas, como checagem de material disponível, etc.
Remoção	Depois de produzidas as peças devem ser removidas da superfície, garantindo que a temperatura do equipamento esteja segura para manuseio.
Pós-produção	A pós-produção é geralmente necessária após a fabricação do produto, removendo suportes. É uma etapa delicada que requer tempo e cuidado para manipular as peças.
Aplicação	Algumas peças ainda podem requerer algum tratamento antes de ser aplicadas, como por exemplo, pintura ou algum tratamento de superfície, além de possíveis junções com outras peças para formar o produto final.

Fonte: Adaptado de Gibson, Rosen e Stucker (2009).

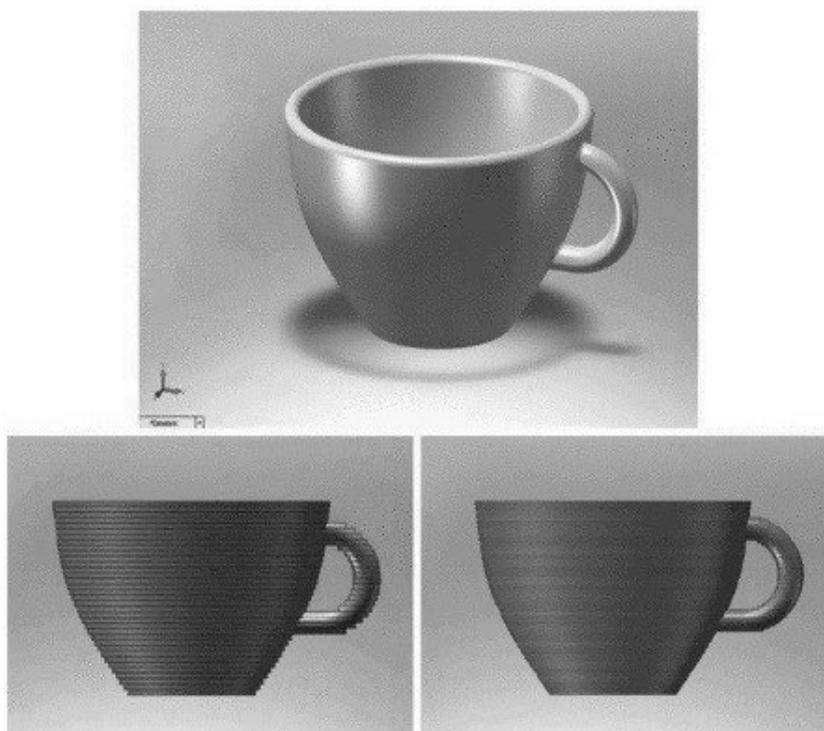
Estes passos mostram uma organização e estrutura no processo de criação de uma peça, que são importantes serem seguidos para se obter um modelo de uma impressora 3D ou qualquer outro equipamento que trabalhe com a Fabricação Aditiva.

2.3.1 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 14, com o modelo projetado em CAD, uma demonstração da peça com espessura alta (imagem inferior esquerda) e baixa (imagem inferior direita).

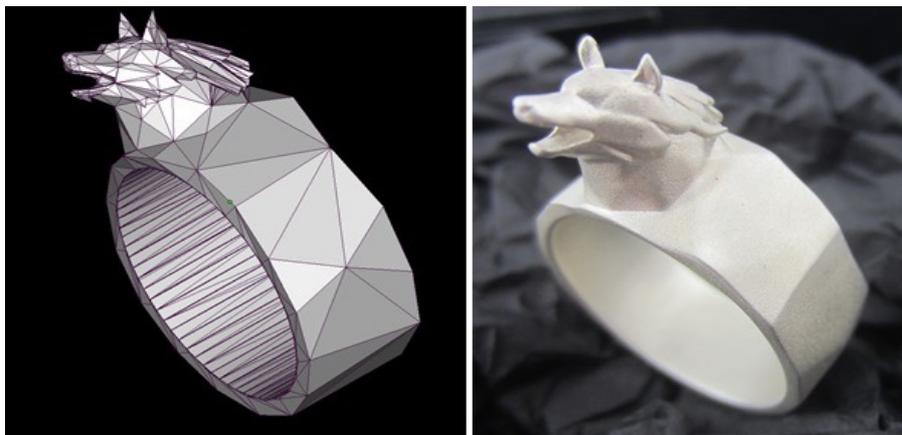
Figura 14 - Demonstração do modelo em CAD, comparado com espessura de camada



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 15, 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 15 - Demonstração do arquivo STL e peça pronta



Fonte: i.Materialise.com (2015)

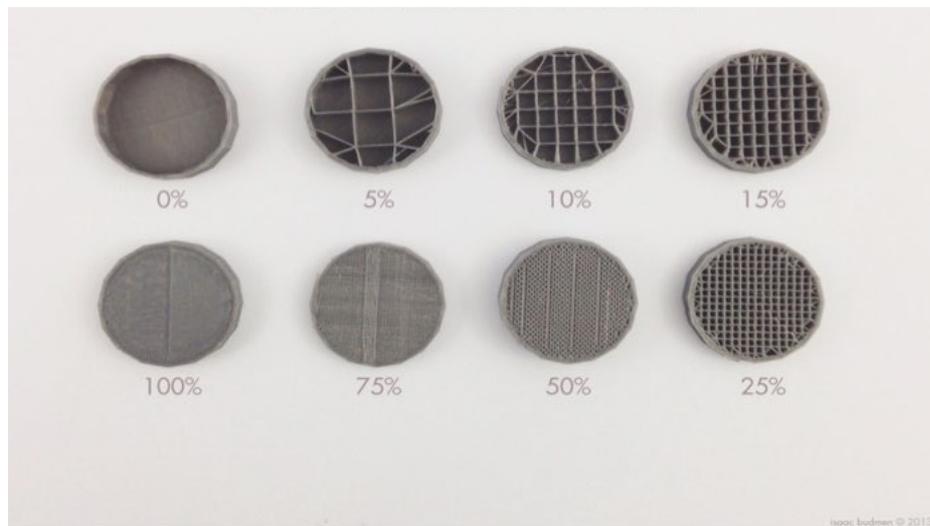
2.3.2 Configuração da Máquina e Construção

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 que estão descritos nos parágrafos seguintes.

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 16.

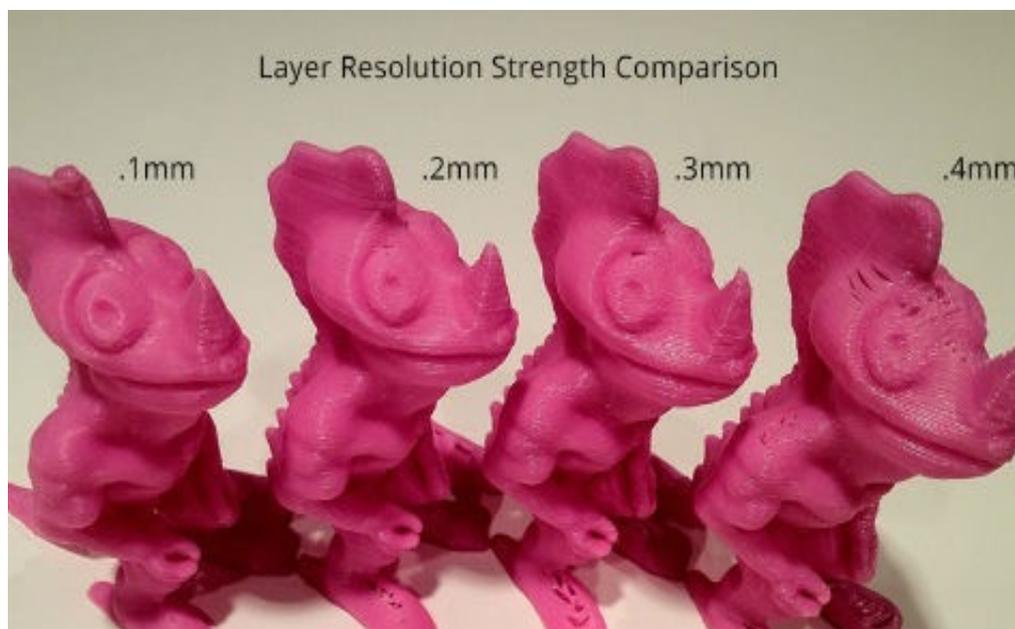
Figura 16 - Porcentagem de Preenchimento



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. Um equipamento de Impressão Aditiva pode possuir uma variedade grande de configurações para determinar a espessura, porém esta resolução depende do tipo de tecnologia e configuração do equipamento, podendo variar de 0,005 mm até 0,4 mm; atualmente, a tecnologia mais popular e tratada neste trabalho (*FFF*) opera geralmente entre 0,1 mm e 0,3 mm. 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 17 (SCULPTEO, 2016).

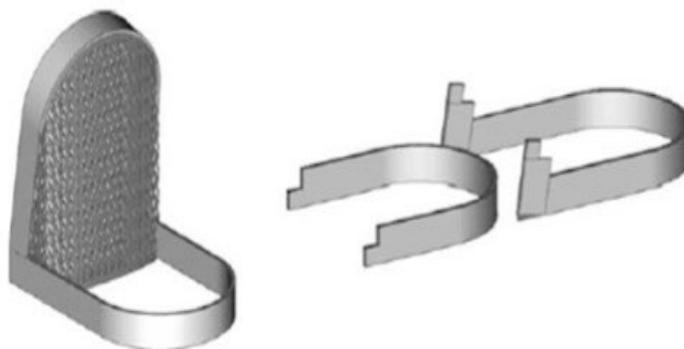
Figura 17 - Comparação de diferentes espessuras em um mesmo modelo



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, como é o caso da Figura 18 em que a imagem da esquerda mostra a peça impressa completa, necessitando de suporte, em contraste com a segunda imagem, mostrando a peça dividida em duas partes, sem necessidade de suporte. Em suma, os autores inferem que a orientação correta é subjetiva e depende do fim da peça e as prioridades em questão.

Figura 18 - Peça construída em duas alternativas de orientação



Fonte: Gibson, Rosen e Stucker. (2009, p. 58)

2.3.3 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.

2.3.4 Aplicação

Segundo Gibson, Rosen e Stucker (2009), a maioria das peças após a remoção e retirada do material de suporte, já estão finalizadas; porém para algumas aplicações, finalizações podem ser feitas para o uso final conforme a necessidade.

3 ESTUDO DE CASO

Este estudo de caso visa estudar as configurações de uma determinada máquina de Fabricação Aditiva de forma a ajustar os parâmetros visando obter redução do consumo de material e tempo de fabricação, reduzindo os custos já elevados de uma impressora 3D.

3.1 Descrição da empresa

O Estudo de Caso deste trabalho foi realizado no departamento de Pesquisa & Desenvolvimento de um grupo de empresas no interior de São Paulo. Estas empresas atuam em diferentes segmentos da economia, porém as principais unidades de negócio do grupo tem como foco principal a área agrícola.

O Centro de Pesquisa & Desenvolvimento em questão busca estudar, pesquisar, criar e desenvolver soluções para o grupo de empresas a qual pertence.

3.2 Descrição e levantamento de informações

No Centro de Pesquisa & Desenvolvimento do grupo de empresas citado na seção anterior, os funcionários utilizam uma impressora 3D para prototipagem não funcional, sendo os produtos gerados usados para fins de checagem de design, encaixe, etc. O modelo que a empresa possui é o Dimension SST 1200es, da pioneira Stratasys, mostrado na Figura 19.

Figura 19 - Dimension SST 1200es.



Fonte: Stratasys (2016).

As especificações técnicas da máquina, extraídas do manual, estão demonstradas na Tabela 2.

Tabela 2 - Especificações da Dimension SST 1200es

Material	ABS em 9 cores
Suporte	Solúvel e Destacável
Tamanho Máximo do Produto	254x254x305 mm
Tamanho da Máquina	838x737x1143 mm
Peso da Máquina	148 kg

Fonte: adaptado de Stratasys.com (2016)

Esta impressora, de acordo com o manual, oferece duas variações de espessura de camada, três variações de preenchimento e três tipos de suporte.

Espessuras de camada disponíveis:

- 0,25mm, resultando numa espessura mínima da camada externa de 0.914mm
- 0,33mm, resultando numa espessura mínima da camada externa de 1.19mm

Preenchimentos da peça disponíveis:

- *Solid* - preenchimento sólido da peça
- *High Density* - preenchimento esparso de alta densidade
- *Low Density* - preenchimento esparso de baixa densidade

Geração de suporte:

- *Basic* - usado para a maioria das peças
- *Smart* - pode ser usado para todos os tipos de peças, minimiza o uso do material de suporte e reduz o tempo de produção, padrão para suporte em material solúvel
- *Surround* - envolve a peça em material de suporte, usado para peças longas e finas.

Atualmente, a empresa utiliza a espessura de camada de 0,25mm, preenchimento sólido e suporte *Smart*, esta é uma das configurações mais elevadas que a Dimension SST 1200es pode alcançar, gerando maior qualidade, acabamento e resistência; porém, considerando que a empresa utiliza os protótipos gerados somente para fins de analisar e checar o design, abrem-se oportunidades para estudo de validação destas configurações da impressora, permitindo análises para redução de custos e tempo de fabricação com base nos parâmetros descritos na revisão teórica. Para tanto, é importante ter conhecimento dos valores e duração da matéria-prima utilizada na impressora, ou seja, qual o custo de compra da matéria-prima e em quanto tempo ela é consumida.

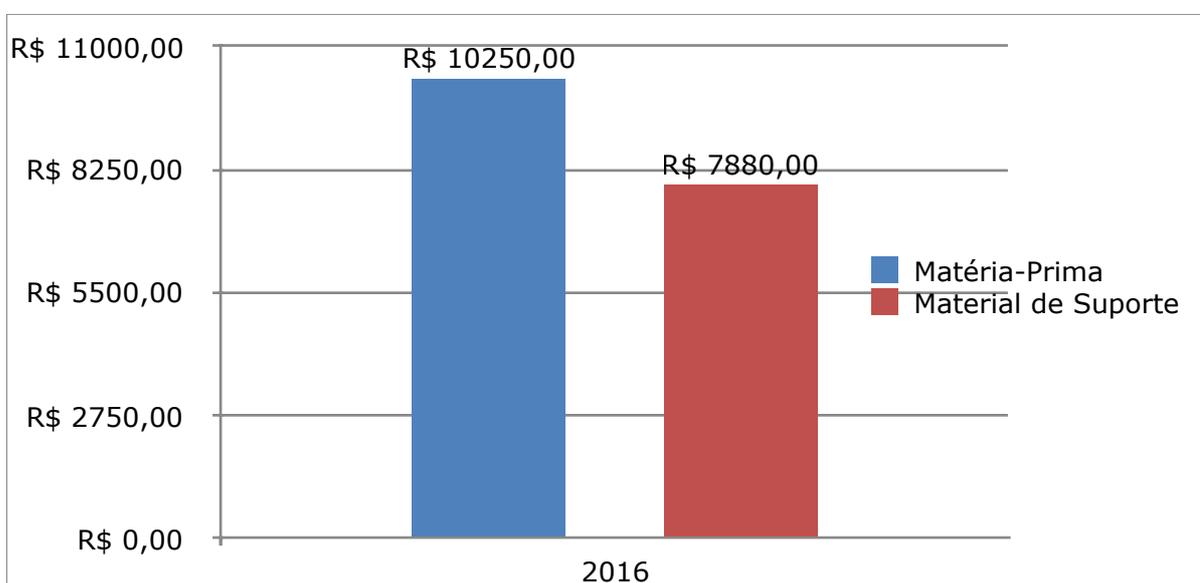
O material utilizado pela empresa para a impressão das peças é o ABS, que é também o único fornecido pela fabricante para esta máquina; o valor que a empresa paga por cartucho com 920 cm³ deste material é de aproximadamente R\$2.050,00; que segundo o operador da impressora, o *kit* com cinco cartuchos dura cerca de um ano, representando um gasto anual de R\$10.250,00.

O material de suporte é o *Soluble Support Material* da Stratasys, sendo este imprescindível para geração de algumas peças ou em peças em perspectivas determinadas, conforme

demonstrado no Capítulo 2. O cartucho, também com cerca de 920 cm³, custa cerca de R\$1.970,00 e pouco mais de 4 cartuchos do *kit* são utilizados por ano, representando um gasto anual de cerca de R\$7.880,00.

Além dos cartuchos de matéria-prima e suporte, a empresa também necessita de um material solvente para retirar o suporte das peças; neste caso, a empresa compra um pacote com 12 unidades, no valor de R\$1.180,00; que dura aproximadamente um ano. Colocando as informações disponibilizadas na forma gráfica, obtêm-se o Gráfico 1.

Gráfico 1 - Custo anual de matéria-prima e suporte em 2016.



Fonte: o autor

3.3 Execução do estudo

Tendo em vista a configuração que a empresa utiliza, de mais alta especificação e qualidade, o propósito das peças que fabrica e o valor e duração dos insumos, o primeiro passo em direção a otimização dos recursos é analisar o resultado, o processo e as características das peças geradas nas configurações usuais e, posteriormente, comparando-o com outras configurações, juntamente com uma breve análise quantitativa, permitindo assim, gerar algumas conclusões. Nestas comparações, o objetivo é buscar observar quais configurações afetam no consumo e aspecto final da peça, buscando a melhor configuração, economizando material e atendendo à necessidade da empresa.

Para estabelecer parâmetros que permitam comparar as peças e gerar resultados, é preciso determinar quais configurações serão alteradas e testadas, e quais outros parâmetros podem ser medidos. Inicialmente, buscando informações no referencial teórico, é possível dizer que as alterações na espessura de camada não resultariam em vantagem para a empresa uma vez que já utilizam a menor espessura disponível na impressora; levando em consideração que utilizam as peças somente pra fins de prototipagem não funcional, onde o quesito mais importante é o design, de acordo com o referencial teórico, reduzir esta configuração, ou seja, aumentar a espessura de camada, apenas resultaria em uma peça com acabamento externo inferior ao atual. Por outro lado, o preenchimento interno revela-se uma grande oportunidade para redução de material, já que esta configuração altera pouco ou nada na aparência externa, alterando apenas a resistência mecânica da peça; e sabendo que a empresa utiliza seus protótipos de modo não funcional, peças de elevadas resistências mecânicas não são importantes para a aplicação da empresa.

Em relação ao material de suporte, alterações não são recomendadas uma vez que a configuração atual é, segundo a fabricante, a que mais otimiza o consumo de material de suporte e facilita a remoção para suporte solúvel; provocar alterações iria aumentar o consumo de material. Já em relação à orientação que as peças são impressas, ou seja, se são impressas verticalmente ou horizontalmente, o operador da impressora relatou ter conhecimento de que tais parâmetros afetam o uso do material de suporte e o acabamento da peça, preferindo construí-las em pé, de forma a otimizar o aspecto da peça; esta configuração está de acordo com o propósito do uso da impressora pela empresa, em que avaliou o custo-benefício de sacrificar material de suporte para obter uma peça com acabamento melhor, porém, foi explicado ao operador, que ao imprimir em orientações diferentes, o tempo de fabricação também é afetado, sendo que segundo os autores citados no referencial teórico, peças produzidas na horizontal tendem a tomar tempos menores de produção.

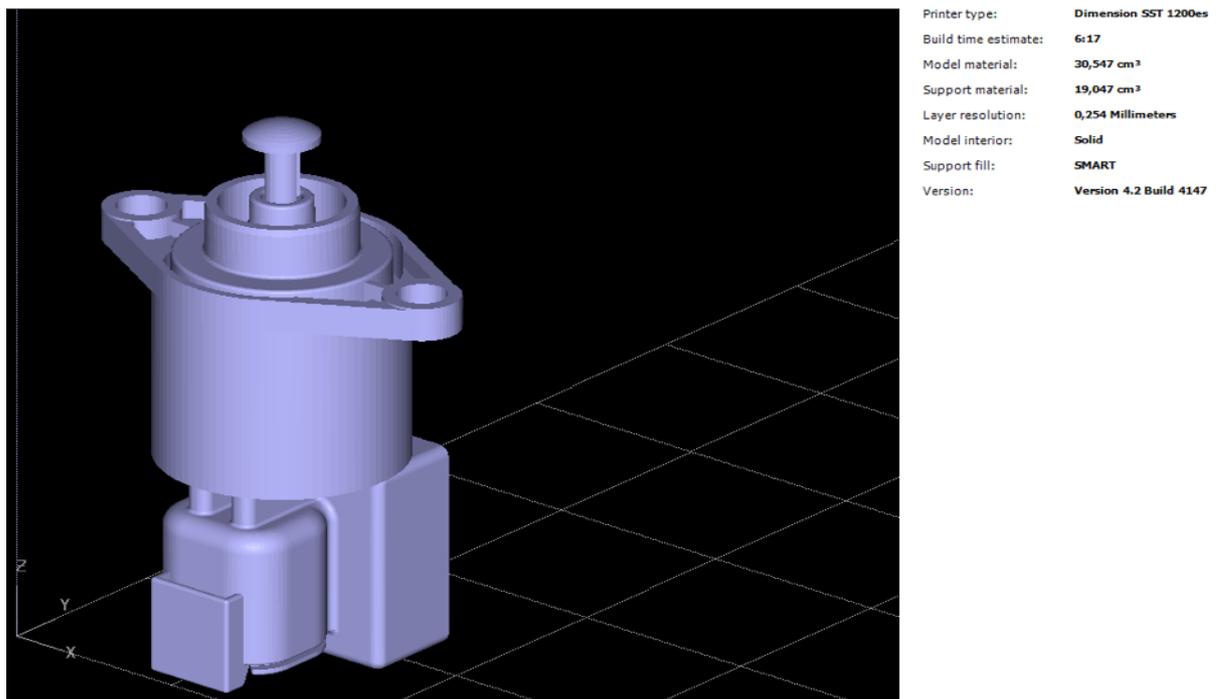
Desta forma, foi sugerido ao operador, que caso a empresa venha ocasionalmente a produzir algum protótipo não-funcional em que o design não seja tão relevante, impressões na horizontal sejam adotadas para reduzir tempo de produção e consumo de material de suporte.

Conforme abordado no parágrafo anterior, de forma a gerar dados consistentes em relação às configurações da impressora, é importante realizar testes comparativos em peças com configurações diferentes. Com base nessas informações, define-se então, que peças serão

geradas mantendo a mesma espessura de camada, a mesma configuração de material de suporte, porém variando o preenchimento interno entre sólido, de alta densidade e de baixa densidade. Estas informações foram obtidas com o auxílio da empresa, que aceitou simular a criação de três configurações diferentes da mesma peça, sendo esta com as dimensões de 80x56x35mm (altura x largura x profundidade); a empresa afirmou que a peça selecionada representa bem o tipo de produto que costuma imprimir, seguindo complexidades geométricas e dimensões semelhantes.

Dando início ao estudo, para a impressão do modelo nas configurações usuais da empresa (espessura 0,25mm, preenchimento *Solid* e suporte *Smart*), com a simulação da peça na Figura 10, obteve-se os dados referentes descritos na Tabela 3.

Figura 20 – Simulação da peça em Solid Density



Fonte: a empresa

Tabela 3 - *Solid Density*

Consumo de Matéria-Prima	30,547 cm ³
Consumo de Material de Suporte (Smart)	19,047 cm ³
Tempo de impressão da peça	6h e 17min
Peso aproximado da Peça	33g

Fonte: o autor

Na sequência, para poder gerar comparações, houve mudança no preenchimento da peça, de *Solid* para *High Density*, utilizando o mesmo material, e mesmo arquivo STL. Os resultados estão demonstrados na Tabela 4.

Tabela 4 - *High Density*

Consumo de Matéria-Prima	23,521 cm ³
Consumo de Material de Suporte (Smart)	19,047 cm ³
Tempo de impressão da peça	5h e 28min
Peso aproximado da peça	25g

Fonte: o autor

Por fim, utilizou-se a configuração mais baixa do preenchimento das peças, o *Low Density*, nesta configuração, os resultados estão demonstrados na Tabela 5.

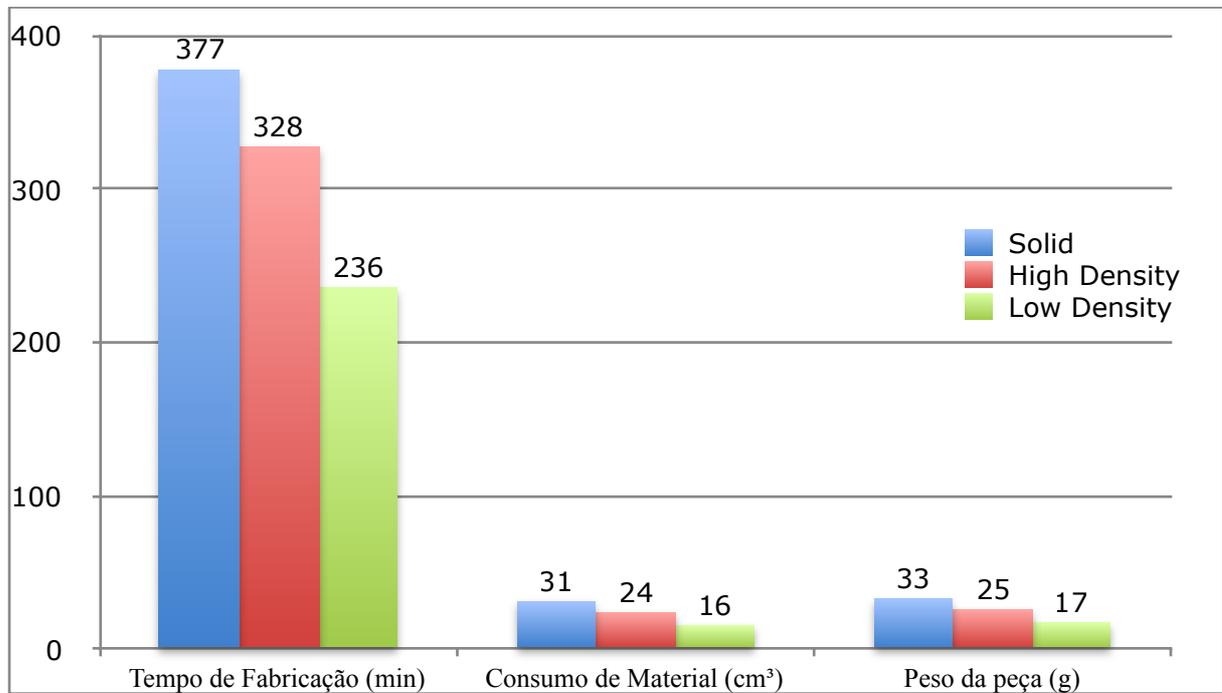
Tabela 5 - *Low Density*

Consumo de Matéria-Prima	15,822 cm ³
Consumo de Material de Suporte (<i>Smart</i>)	19,047 cm ³
Tempo de impressão da peça	3h e 56min
Peso aproximado da Peça	17g

Fonte: o autor

Tendo as informações colhidas dos três testes, é interessante unificá-los para fins de comparação. Deste modo, têm-se o Gráfico 2.

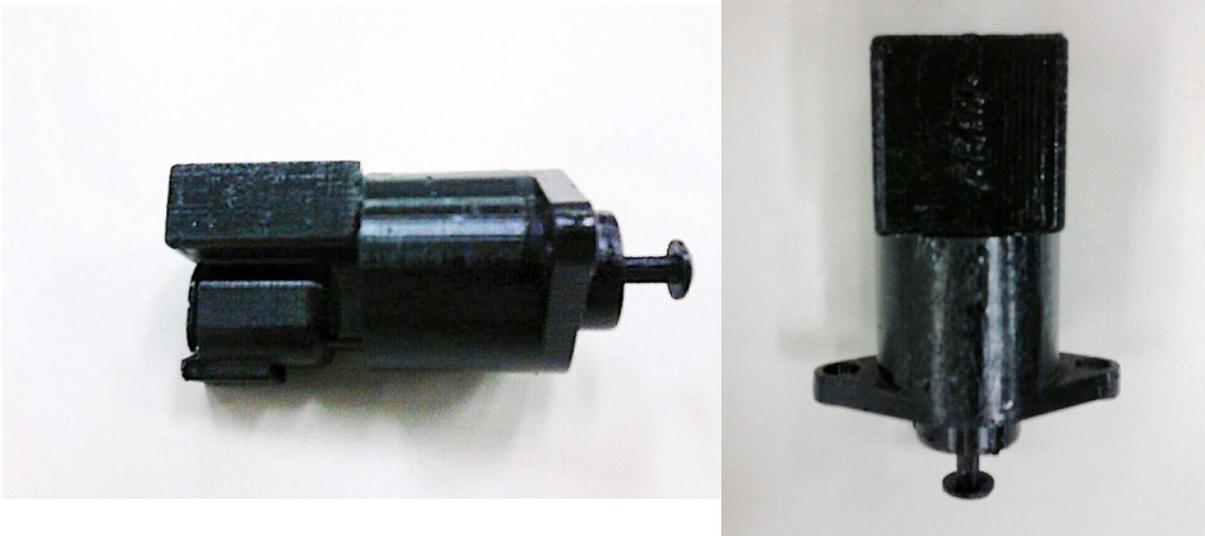
Gráfico 2 - Comparativo entre as três configurações



Fonte: o autor.

Analisando e comparando as informações dispostas no Gráfico 5 e na Tabela 6, é possível perceber algumas particularidades. Em se tratando do consumo de material de suporte, pode-se dizer que este não é impactado pelo preenchimento interno da peça. Por outro lado, os outros parâmetros são substancialmente influenciados por esta configuração; o tempo de impressão caiu cerca de 0,8 hora da impressão sólida para a de alta densidade e mais de 2,3 horas da sólida para a de baixa densidade. Em se tratando do consumo de material, houve uma queda significativa conforme o interior da peça era preenchido com menores especificações, caindo de 30,547 cm³ para até 15,822 cm³, refletindo uma queda de 48% no consumo, em baixa densidade. Como era de se esperar, o aspecto visual da peça mudou pouco conforme as alterações no preenchimento interno ocorreram, isto se deve à ausência de alterações nas configurações que alteram o exterior da peça, como a espessura de camada. Imagens do produto final, criado com preenchimento de baixa densidade podem ser encontradas nas Figuras 21 e 22.

Figura 21 - Peça finalizada e impressa em baixa densidade



Fonte: a empresa

As observações mencionadas nos parágrafos anteriores validam as informações fornecidas pelos autores citados no referencial teórico, mostrando como os parâmetros e configurações da impressora 3D afetam o produto final. Além disso, utilizar destas informações propicia melhor configuração do processo de acordo com a necessidade específica, otimizando o uso da impressora 3D e economizando tempo e material.

4 RESULTADOS

Conforme realizado o estudo de caso, percebe-se uma variedade de parâmetros que podem ser alterados, afetando o produto final de uma forma ou de outra. Analisando as configurações disponibilizadas na máquina e as utilizadas pela empresa, foi possível gerar comparações entre as peças.

De acordo com o que foi descrito no Capítulo 3, a impressora 3D usada pela empresa, a Dimension SST 1200es, da Stratasys, oferece três variações de configurações: espessura de camada, preenchimento interno e suporte. Também de acordo com o que foi descrito no Estudo de Caso e alinhado com o referencial teórico, alterações na espessura de camada e na configuração de suporte não geraria vantagem para a empresa já que as configurações utilizadas são as mais adequadas para o uso da mesma; houve, porém, oportunidade para estudo no quesito preenchimento interno, em que foram testadas as três variações possíveis desta configuração: sólido, alta densidade e baixa densidade.

Ao utilizar o preenchimento sólido, a empresa consumia cinco cartuchos com 920cm^3 de material em cerca de um ano, esta opção não se mostra atrativa em nenhuma situação que a empresa utiliza suas peças tridimensionais atualmente, sendo atrativa somente caso venha, no futuro, utilizar as peças como protótipos funcionais, caso contrário, as configurações mais atrativas são o preenchimento e Alta Densidade e principalmente o de Baixa Densidade.

A opção da configuração de Baixa Densidade se mostra de maneira geral, a opção mais atrativa, já que é capaz de reduzir o preenchimento das peças, reduzindo o consumo de material, no caso da peça do estudo, para até 38%, mantendo a aparência física, que é imprescindível para a empresa.

Levando em consideração que a empresa utilizasse, a partir deste estudo de caso e baseando-se nos resultados obtidos no experimento realizado, a configuração de Baixa Alta, obteria as seguintes vantagens, levando em consideração peças iguais a do estudo:

- Redução no consumo de matéria-prima para até 77%;
- Redução de tempo de fabricação de 6h e 17 min para até 5h e 28 min (queda de aproximadamente 17%);
- Redução do tempo de alocação de funcionário com a impressora;

- Possibilidade de criar mais peças semelhantes com o mesmo cartucho (no caso da peça do estudo, permite criar 39 peças semelhantes ao invés de 30), aumentando o espaço de tempo que a empresa compra material.

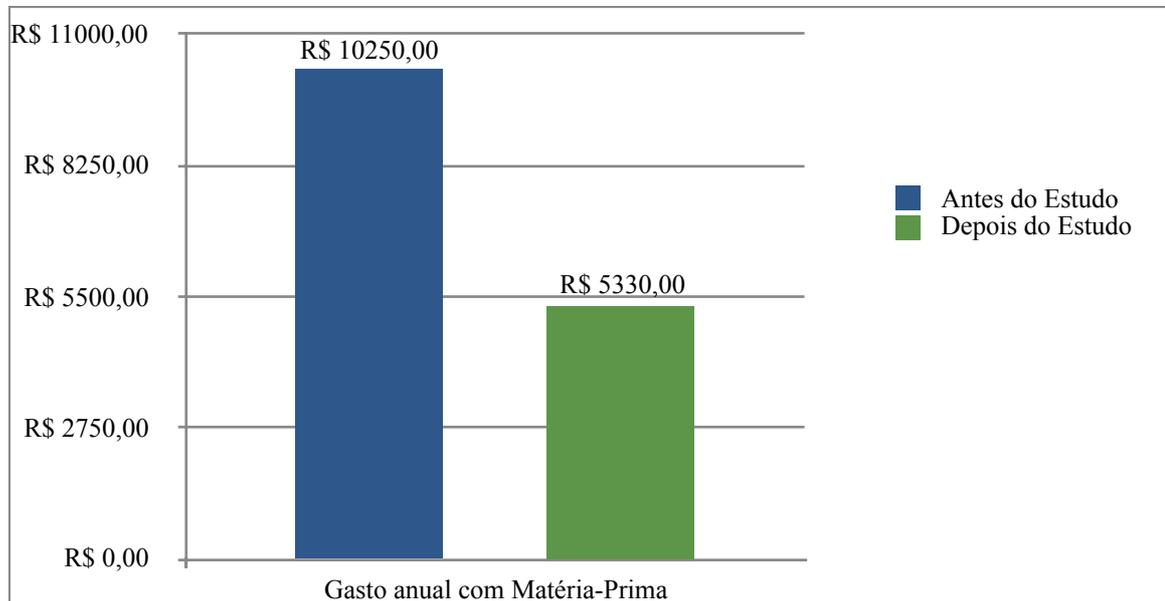
Por outro lado, levando em consideração que a empresa utilize a configuração de preenchimento interno de Baixa Densidade, obtêm-se as seguintes vantagens, levando em consideração peças iguais a do estudo:

- Redução no consumo de matéria-prima para até 52%;
- Redução de tempo de fabricação de 6h e 17min para até 3h e 56min (queda de 37,5%);
- Redução do tempo de alocação de funcionário com a impressora;

Possibilidade de criar mais peças semelhantes com o mesmo cartucho (no caso da peça do estudo, permite criar 58 peças semelhantes ao invés de 30), aumentando o espaço de tempo que a empresa compra material.

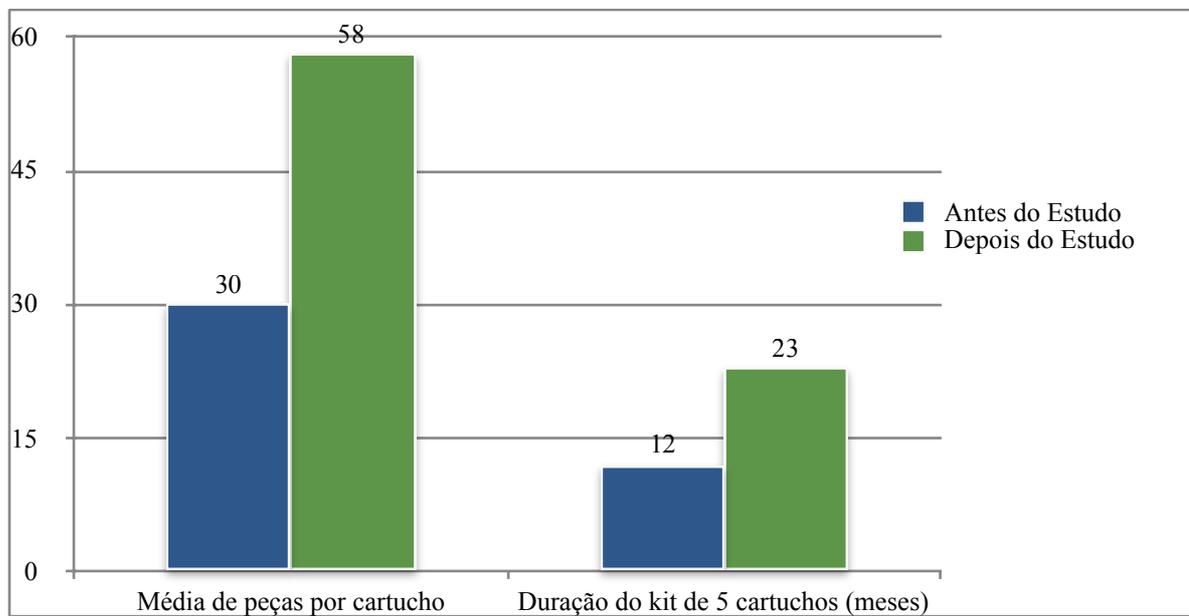
A proposta de alteração e o estudo foram enviados à empresa, que validou, aprovou e irá adotar a configuração de preenchimento interno de baixa densidade. Comprovando os resultados e avaliando os benefícios da empresa em adotar esta configuração um comparativo do consumo de material e custos de antes e depois do estudo, com as mudanças adotadas, estão demonstrados nos Gráficos 3 e 4.

Gráfico 3 – Gastos com Matéria Prima antes do Estudo e Depois do Estudo



Fonte: o autor

Gráfico 4 – Peças (semelhantes a do estudo) por cartucho e duração do kit de cartuchos



Fonte: o autor

Observa-se, pelos Gráficos 3 e 4 apresentados, com informações obtidas por cálculos matemáticos simples, que com a solução proposta e adotada pela empresa, o consumo de material cai de 5 cartuchos a cada 12 meses para até 5 cartuchos a cada 23 meses, produzindo cerca de 58 peças e reduzindo o custo anual com matéria-prima de R\$10.250,00 para até R\$5.330,00; porém, é importante citar que apesar do consumo de matéria-prima ter sido significativamente reduzido com preenchimentos internos menores, a porcentagem deste consumo pode variar de acordo com a geometria da peça, já que cada uma tem seu design específico, variando para mais ou para menos, onde geometrias complexas e com detalhes podem não representar economias tão significativas quanto partes com geometrias simples.

De forma geral, os resultados se mostram de acordo com o previsto na justificativa deste trabalho, alinhados também com as informações oriundas de autores citados e estudados no referencial teórico, trazendo redução de tempo e custos para a empresa.

5 CONCLUSÕES

A Fabricação Aditiva pode ser entendida como um modo disruptivo de produção, 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. Tais características da Fabricação Aditiva abrem espaço para aplicações e inovações nas mais diversas áreas, desde a manufatura até a medicina, criando desde pequenas peças de polímero até pele, próteses e órgãos. 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, com foco na tecnologia mais popular, a *Fused Filament Fabrication*, em que foram apresentados detalhes do processo desta tecnologia, 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.

O Estudo de Caso, de forma simples e objetiva, provou que os parâmetros descritos pelos autores do referencial teórico de fato refletem nas características apresentadas. Além disso, o Estudo de Caso possibilitou conhecer o processo da empresa, fazendo testes conforme a necessidade para melhorar o processo, como resultado, possibilitou a redução de custos de fabricação por meio da redução do consumo de material e tempo de fabricação, mantendo o mesmo aspecto físico das peças.

REFERÊNCIAS

ADDITIVE MANUFACTURING. Shapeways. EUA. Disponível em: <<http://www.shapeways.com/additive-manufacturing>>. Acesso em: 30 jul. 2016.

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

BENNET, Chris. **The Future of 3D Printing on the Farm.** AgWeb. Disponível em: <<http://www.agweb.com/article/the-future-of-3d-printing-on-the-farm-chris-bennett/>>. Acesso em 08 ago. 2016

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

BROOKS, Katherine. **14 Ways 3D Printing Has Changed The Art World.** Disponível em: <http://www.huffingtonpost.com/2014/06/30/3d-printing-art_n_5534459.html> Acesso em: 20 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.

DIMENSION BST/SST 1200es User Guide. Disponível em:<<https://www.rnd-tech.com/media/fdm-pdfs/dimension-1200-es.pdf>>. Acesso em: 29 ago. 2016.

DIMENSION SST 1200es Specification Sheet. Stratasys. Disponível em: http://usglobalimages.stratasys.com/Main/Files/Machine_Spec_Sheets/PSS_FDM_Dim1200es.pdf>. Acesso em: 28 ago. 2016.

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

FELIX 3D Printer Head. 3D Revolutions. 2014. Disponível em: <http://i1.wp.com/3drevolutions.com/wp-content/uploads/2014/08/Felix_3D_Printer_-_Printing_Head.jpg?resize=300%2C166>. Acesso em 16 jul. 2016.

FUNCTIONAL PROTOTYPES. Disponível em: <<http://www.hyphenservices.com/rapid-prototyping/prototype-manufacturing/Pages/functional-prototypes.aspx>>. Acesso em: 14 ago. 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.

GRUNEWALD, Scott. **Will the Foodini Food 3D Printer be the Microwave of the Future?** Disponível em: <<https://3dprint.com/129130/foodini-food-3d-printer/>>. Acesso em: 02 out. 2016

HALL, Nick. **Top 10 3D printed construction innovations.** Disponível em: <<https://3d-printingindustry.com/news/top-10-3d-printed-construction-innovations-83578/>>. Acesso em 28 set. 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 Separation and Splitting. Simplify 3D. Disponível em: <<https://www.simplify3d.com/wp-content/uploads/2015/09/Layers-Splitting-Or-Cracking-580x430.jpg>>. Acesso em 04 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.

LISZEWSKI, Andrew. **A New 3D Printing Support Filament Easily Dissolves Away in Water**. Disponível em:<<http://gizmodo.com/a-new-3d-printing-support-filament-easily-dissolves-awa-1717688742>>. Acesso em 10 set. 2016.

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

MESKO, Bertalan. **12 Things We Can 3D Print in Medicine Right Now**. Disponível em: <<https://3dprintingindustry.com/news/12-things-we-can-3d-print-in-medicine-right-now-42867/>>. Acesso em 29 set. 2016.

MURPHY, Sean; ATALA, Anthony. **3D Bioprinting of tissues and organs**. Disponível em: <<http://www.nature.com/nbt/journal/v32/n8/full/nbt.2958.html>>. Acesso em 29 set. 2016.

MX3D Bridge. MX3D. Disponível em: < <http://mx3d.com/projects/bridge/>>. Acesso em: 14 set. 2016.

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

NEHUEN, Antu. **3D Printing Construction & Architecture: building the home of the future**. Disponível em: <<https://www.sculpteo.com/blog/2015/10/07/3d-printing-construction/>>. Acesso em 28 set. 2016.

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

PATEL, Nikunj. **5 Key Benefits using Rapid Prototyping for Product Design & Development**. 2015. Disponível em: <<http://www.mdtmag.com/article/2015/03/5-key-benefits-using-rapid-prototyping-product-design-development>>. Acesso em: 15 ago. 2016.

PRODANOV, Cleber. FREITAS, Ernani. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa**. 2014. Disponível em: <<http://www.faatensino.com.br/wp-content/uploads/2014/11/2.1-E-book-Metodologia-do-Trabalho-Cientifico-2.pdf>>. Acesso em: 15 out. 2016.

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

RAPID PROTOTYPING & Manufacturing Technologies. Universidade Politécnica de Hong Kong. 2009. China. Disponível em: <http://www2.ic.polyu.edu.hk/student_net/training_materials/IC%20Workshop%20Materials%2009%20-%20Rapid%20Prototyping%20&%20Manufacturing%20Technologies.pdf>. Acesso em: 14 ago. 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.

SCOTT, Clare. **3D Printing and Other High-Tech Solutions Could Create Lots of New Jobs in Agriculture**. Disponível em: <https://3dprint.com/115833/3d-printing-agriculture-jobs/>. Acesso em: 08 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.

SNYDER, Megan. **How 3D Printing Will Change Medicine.** 2013. Disponível em: <<https://www.dogonews.com/2013/9/15/how-3d-printing-will-change-medicine>>. Acesso em: 26 out. 2016.

STARR, Michelle. **Gravity Defying 3D Printer to print bridge over water in Amsterdam.** Disponível em: <<http://www.cnet.com/news/gravity-defying-3d-printer-to-print-bridge-over-water-in-amsterdam/>>. Acesso em 28 set. 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.

WIGGERS, Kyle. **Why 3D Food Printing is more than just a novelty - it's the future of food.** Disponível em: <<http://www.digitaltrends.com/cool-tech/3d-food-printers-how-they-could-change-what-you-eat/>>. Acesso em: 02 out. 2016

WOHLERS, Terry; GORNET, Tim. **History of Additive Manufacturing.** 2014. Disponível em: <<http://wohlersassociates.com/history2014.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2016.

WU, Jun; AAGE, Niels; WESTERMANN Rudiger; SIGMUND, Ole. **Infill Optimization for Additive Manufacturing - Approaching Bone-like Porous Structures.** Disponível em: <<https://arxiv.org/pdf/1608.04366.pdf>> Acesso em: 29 set. 2016.

ZAINAL, Zaidah. **Case Study as a Research Method.** Disponível em: <http://psyking.net/htmlobj-3837/case_study_as_a_research_method.pdf> Acesso em: 12 out. 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.