

**Desenvolvimento de um Projeto Para Impressão 3D Multimaterial Utilizando um  
Módulo Extrusor Duplo Para Impressões Pessoais**  
**Developing a Project For Multimaterial 3D Printing, Using a Double Extruder Module  
For Personal Printing**  
**Desarrollo de un Proyecto Para Impresión 3D Multimaterial Utilizando un Módulo de  
Extrusor Doble Para Impresión Personal**

Recebido: 18/02/2020 | Revisado: 02/03/2020 | Aceito: 05/03/2020 | Publicado: 20/03/2020

**Vaner José do Prado**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8752-6077>

Universidade Salvador, Brasil

E-mail: [vaner.prado@unifacs.br](mailto:vaner.prado@unifacs.br)

**Leonardo Cardoso de Freitas**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5215-2186>

Universidade Salvador, Brasil

E-mail: [Leonardo.freitas@unifacs.br](mailto:Leonardo.freitas@unifacs.br)

**Fernanda Muller Jesuíno**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8021-0408>

Universidade Salvador, Brasil

E-mail: [Fernanda.jesuino@unifacs.br](mailto:Fernanda.jesuino@unifacs.br)

**Euclério Barbosa Ornellas Filho**

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4096-204X>

Universidade Salvador, Brasil

E-mail: [euclerio.ornella@unifacs.br](mailto:euclerio.ornella@unifacs.br)

## **Resumo**

O tema deste estudo envolve a tecnologia de impressão 3D. Apesar do tão apregoado crescimento e atualidade desta da tecnologia, o que não deve ser totalmente refutado, a impressão 3D com seu respectivo estágio de desenvolvimento tecnológico, já estava presente desde o ano de 1984, quando Charles Hull inventou o processo de estereolitografia. A problemática reside no fato de buscar impressão que permita imprimir com materiais diferentes, em impressoras pessoais. Assim, o objetivo deste estudo é projetar e desenvolver um sistema de extrusão para impressoras 3D, baseadas em tecnologia FDM, com baixo custo

e com capacidade de trabalhar com dois materiais diferentes simultaneamente. A pesquisa tem natureza exploratória e foi desenvolvida pelo método experimental com análises de laboratório. No contexto foi levado em conta que o principal componente de uma impressora 3D é o seu módulo extrusor, verificou-se que grande parte das impressoras pessoais ainda utilizam módulos extrusores capazes de trabalhar com apenas um material por vez. Nesse sentido, o resultado deste projeto consistiu no desenvolvimento de um módulo extrusor capaz de trabalhar com dois materiais diferentes, expandindo a capacidade da maioria das impressoras vendidas para uso pessoal. Portanto, foi perfeitamente possível, com a metodologia utilizada, atender ao objetivo de projetar e desenvolver um sistema de extrusão para impressoras 3D, baseadas em tecnologia FDM, com baixo custo e com capacidade de trabalhar com dois materiais diferentes simultaneamente.

**Palavras-chave:** Impressão 3d; Placas de circuito; Módulo extrusor.

### **Abstract**

The subject of this study involves 3D printing technology. Despite the much-vaunted growth and timeliness of this technology, which should not be completely refuted, 3D printing with its respective stage of technological development has been present since 1984, when Charles Hull invented the process of stereolithography. The problem lies in seeking printing that allows printing with different materials on personal printers. Thus, the objective of this study is to design and develop an extrusion system for 3D printers, based on FDM technology, with low cost and capable of working with two different materials. The research is exploratory in nature and was developed by the experimental method with laboratory analysis. In the context it has been taken into account that the main component of a 3D printer is its extruder module, it has been found that most personal printers still use extruder modules capable of working with only one material at a time. In this sense, the result of this project was the development of an extruder module capable of working with two different materials, expanding the capacity of most printers sold for personal use. Therefore, it was perfectly possible, with the methodology used, to meet the objective of designing and developing an extrusion system for 3D printers, based on FDM technology, with low cost and with the ability to work with two different materials simultaneously.

**Keywords:** 3d printing; circuit boards, extruder module.

### **Resumen**

El tema de este estudio involucra la tecnología de impresión 3D. A pesar del tan alardeado crecimiento y oportunidad de esta tecnología, que no debe ser totalmente refutada, la impresión 3D con su respectiva etapa de desarrollo tecnológico, ha estado presente desde 1984, cuando Charles Hull

inventó el proceso de estereolitografía. El problema radica en el hecho de que busca una impresión que permita imprimir con diferentes materiales, en impresoras personales. Por lo tanto, el objetivo de este estudio es diseñar y desarrollar un sistema de extrusión para impresoras 3D, basado en tecnología FDM, con bajo costo y con la capacidad de trabajar con dos materiales diferentes simultáneamente. La investigación tiene una naturaleza exploratoria y fue desarrollada por el método experimental con análisis de laboratorio. En el contexto en que se tuvo en cuenta que el componente principal de una impresora 3D es su módulo extrusor, se descubrió que la mayoría de las impresoras personales todavía usan módulos extrusoras capaces de trabajar con un solo material a la vez. En este sentido, el resultado de este proyecto fue el desarrollo de un módulo extrusor capaz de trabajar con dos materiales diferentes, ampliando la capacidad de la mayoría de las impresoras vendidas para uso personal. Por lo tanto, era perfectamente posible, con la metodología utilizada, cumplir con el objetivo de diseñar y desarrollar un sistema de extrusión para impresoras 3D, basado en tecnología FDM, de bajo costo y con la capacidad de trabajar con dos materiales diferentes simultáneamente.

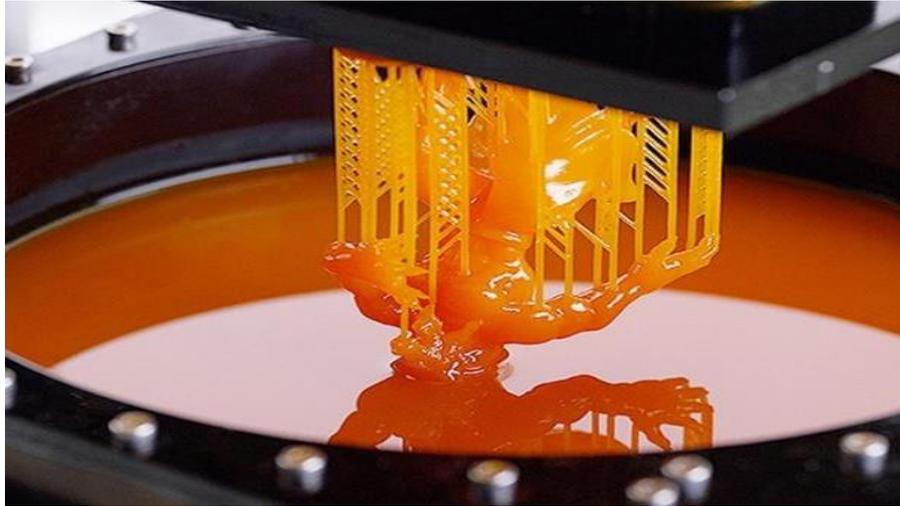
**Palabras clave:** impresión 3D; placas de circuito; módulo extrusor. Ponto e vírgula.

## 1. Introdução

Apesar do apregoado crescimento e atualidade da tecnologia de impressão 3D nos últimos anos, essa tecnologia já estava presente desde 1984, quando Charles Hull inventou o processo de estereolitografia (Marquardt & Zheng, 2018). A concepção de manufatura aditiva, processo de manufatura que adiciona matéria prima sobre matéria prima, para criar objetos a partir de modelos 3D, essa normalmente trabalhando camada por camada do objeto, conforme vista em ASTM (2010), já existia desde o ano de 1860, entende-se que a tecnologia desenvolvida por Hull, é a que mais se aproxima da impressão 3D, da forma como ela é conhecida atualmente, sendo, portanto, “conhecida como a tecnologia precursora da impressão 3D” (Marquardt & Zheng, 2108, p. 8).

O processo criado por Hull “consiste em curar uma resina com raios UV em pontos específicos para a criação do objeto final, utilizando um laser e um jogo de espelhos para movimentação dos raios e desenho da camada” (Jacobs, 1992, p. 34). Esse processo ficou conhecido como SLA (stereolithography), sendo utilizado ainda hoje para impressão em 3D de modelos (Figura 1).

Figura 1 - Impressora com tecnologia SLA



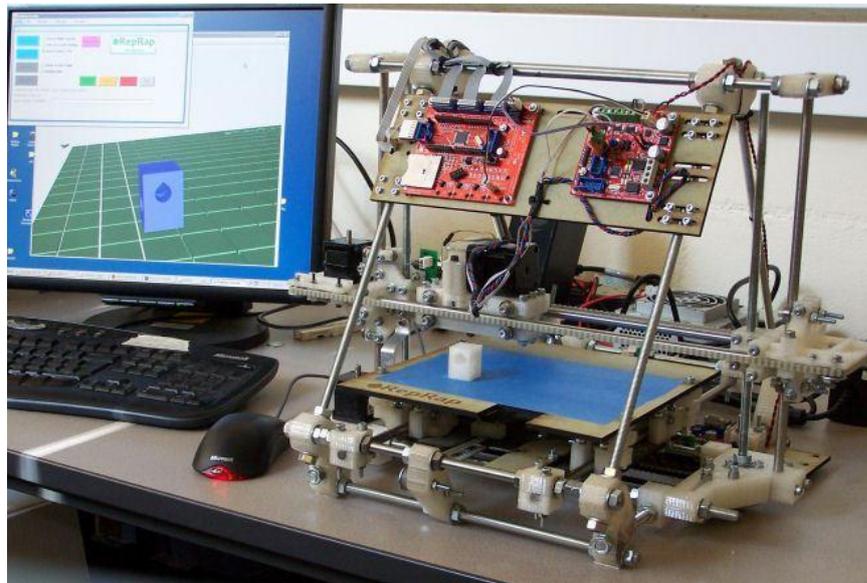
Fonte: (Alexandrea, 2017)

Apesar de ser considerada a tecnologia precursora da impressão 3D, o modelo SLA não é o mais comum para impressões de uso pessoal, cedendo espaço nesse campo, por exemplo, para o estilo ou tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling). Este estilo também foi criado na década de 1980, por Scott Crump. Essa tecnologia começou sua escalada para uma utilização mais ampla em 2004, quando a primeira impressora de código aberto chegou ao mercado, por meio da comunidade RepRap, conforme afirma Dormehl (2018).

As impressoras de tecnologia FDM funcionam adicionando plástico, camada após camada a uma peça, modelando-a até se chegar ao formato final. Diferentemente da tecnologia SLA, a FDM utiliza um filamento sólido em formato de fio para fazer as impressões, fato esse que também auxiliou na popularização da tecnologia, uma vez que estes plásticos não são tóxicos e são muito mais simples de se trabalhar e armazenar.

Em 2009 chegam no mercado kits do it yourself (DIY), ver Figura 2, com os componentes da impressora prontos para o usuário montar. Com essa tecnologia tão aberta para o público, rapidamente comunidades com milhares de participantes se formaram, para discutir impressão 3D e como melhorar, acelerar e principalmente reduzir o custo deste processo (um exemplo é a comunidade 3D printing, que funciona dentro do fórum Reddit, que hoje possui 222 mil usuários). Para Nagano (2011), essas comunidades foram as principais responsáveis pelo crescimento tão rápido da tecnologia FDM para o mercado, já que através do compartilhamento de informações, soluções e invenções, novas tecnologias conseguiam atingir o público com uma rapidez impressionante.

Figura 2 - Impressora RepRap com tecnologia FDM



Fonte: (Nagano, 2011)

Um desses avanços na tecnologia FDM foi a expansão dos tipos de materiais que é possível se utilizar com essas impressoras. No início, funcionavam apenas com os plásticos ABS e PLA (ácido poliático), hoje já contam com tecnologias de filamentos de plásticos condutivos, solúveis e flexíveis, além de se trabalhar também com filamentos a base de fibra de carbono ou PET (Wishbox, 2016).

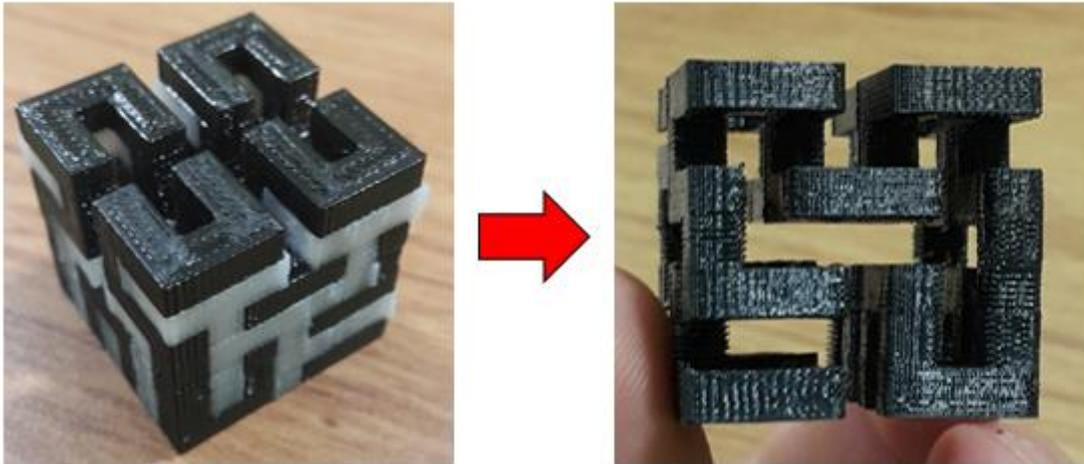
Para Brian (2016), com a combinação de materiais para a impressão, é possível verificar resultados ainda mais complexos e abrangentes em comparação com a impressão em um único material, por exemplo: combinando um plástico que irá servir como estrutura e um plástico solúvel, é possível ampliar ainda mais a complexidade da geometria impressa e acabamento superficial da peça final, permitindo a criação de peças que antes não seriam possíveis, como mostra a Figura 3.

Para a combinação de matérias primas em uma única peça, é necessária a modificação do extrusor (parte da impressora onde o filamento é aquecido e tem seu diâmetro reduzido) para que ele trabalhe com dois bocais simultaneamente, permitindo assim que cada um dos bocais trabalhe com um material independente do outro (Joel, 2017).

Diante desse contexto, o trabalho aqui apresentado possui como seu principal objetivo desenvolver um módulo extrusor com a capacidade de ampliar a versatilidade de impressoras 3D pessoais. Esse método é capaz de permitir a impressão de dois materiais diferentes simultaneamente, permitindo o usuário utilizar, por exemplo, uma combinação de um material estrutural e um material solúvel para servir de suporte para conseguir geometrias extremamente complexas as quais não eram possíveis sem esta tecnologia.

Figura 3 - Geometria impressa em impressora FDM utilizando a combinação de um

plástico estrutural (preto) e um plástico solúvel (branco) antes e depois do uso do solvente



Fonte: Brian (2016)

Assim, o objetivo deste estudo é projetar e desenvolver um sistema de extrusão para impressoras 3D, baseadas em tecnologia FDM, com baixo custo e com capacidade de trabalhar com dois materiais diferentes simultaneamente e imprimir uma placa de circuito.

A pesquisa tem natureza exploratória no sentido de desvendar aspectos de um fenômeno ainda pouco conhecido, conforme afirma Boaventura (2004). Os caminhos seguidos contiveram duas orientações: a) projetar um sistema capaz de manter temperaturas altas apenas em pontos específicos para permitir o uso de plástico na estrutura do extrusor e o funcionamento correto dos bicos de extrusão e; b) integrar um novo motor extrusor no firmware da placa de controle MKS Gen para permitir que o sistema reconheça dois extrusores separados e faça-os atuar no momento e lugar pré-determinado com margens de erro de apenas 0,1 mm.

## 2. Fundamentação Teórica

Neste tópico estão descritos os principais conceitos que envolvem o trabalho, visando dar maior consistência a compreensão dos temas trabalhados.

### 2.1 EXTRUSÃO

A impressão em 3D para módulos FDM abarca o princípio de um processo de fabricação amplamente utilizado: a extrusão. O polímero é processado sob ação da temperatura de trabalho que se encontra na temperatura de fusão do material, conforme Figura 4, em Lira (2017), ou seja, o polímero atinge um ponto igual ou maior que sua temperatura de fusão

antes de passar pelo processo, já que, para ação final do processo, é necessário que o mesmo não esteja mais no seu estado sólido.

Figura 4 – Equação de Fusão

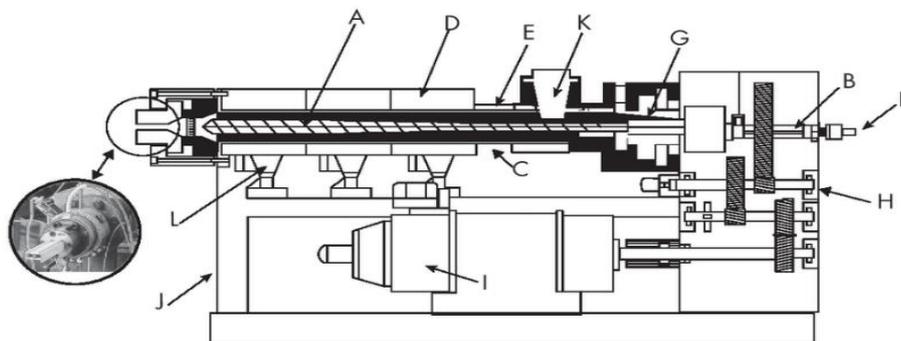
$$T_{trabalho} \geq T_{fusão}$$

Fonte: Lira (2017)

A extrusão é um dos processos mais utilizados quando se fala de termoplásticos - polímeros com a capacidade de amolecer ou até se liquefazer sob temperaturas elevadas e se enrijecem novamente quando resfriados, conforme Callister & Rethwisch (2012), e também é a base para diversos outros processos de polímeros (Lira, 2017).

Na Figura 5 constam todos os componentes de uma máquina de extrusão e o detalhamento do funcionamento do sistema, demonstrando a semelhança entre o processo de extrusão e o processo de impressão FDM.

Figura 5 – Componentes de uma máquina de extrusão.



**Nomenclatura**

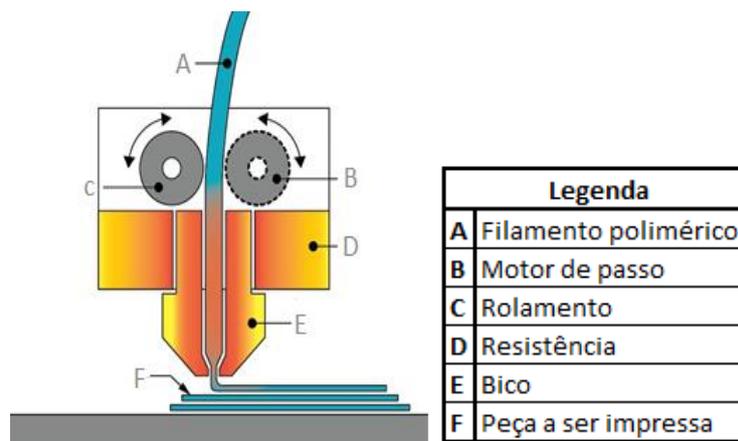
- |   |   |
|---|---|
| A – parafuso;                             | G – acoplamento entre parafuso e eixo de saída da caixa de redução; |
| B – eixo de saída da redução;             | H – caixa de redução;   |
| C – cilindro;                             | I – motor elétrico;   |
| D – mantas de aquecimento;                | J – estrutura de base;  |
| E – refrigeração a ar para o cilindro;    | K – tubo de alimentação e encaixe do funil;                         |
| F – resfriamento de água para o parafuso; | L – flange.   |

Fonte: (Lira, 2017)

Nesse processo, o polímero é inserido no sistema pelo tubo de alimentação (K) em formato de pellet e logo se encontra com o parafuso (A) que está sendo rotacionado pelo conjunto motor elétrico + caixa de redução (I, H e B). O polímero, então, é impulsionado por todo o comprimento do cilindro (C) pelo parafuso e, durante este percurso, passa pelas mantas de aquecimento (D) e pela fase de aumento do diâmetro do parafuso, com objetivo de aumentar a pressão dentro do sistema e fazer com que o polímero atinja a sua temperatura de trabalho ( $T_{trabalho}$ ). Ao final do parafuso, é acoplada na máquina, uma ferramenta denominada de matriz (destaque na Figura 5) a qual dá a forma desejada ao polímero Lira (2017).

O módulo extrusor das impressoras com tecnologia FDM funcionam de maneira muito semelhantes, porém podem conter também algumas diferenças. Na Figura 6 objetiva-se verificar como é feito o processo de extrusão em uma máquina com tecnologia FDM.

Figura 6 - Processo de extrusão em impressoras FDM



Fonte: (JON, 2016)

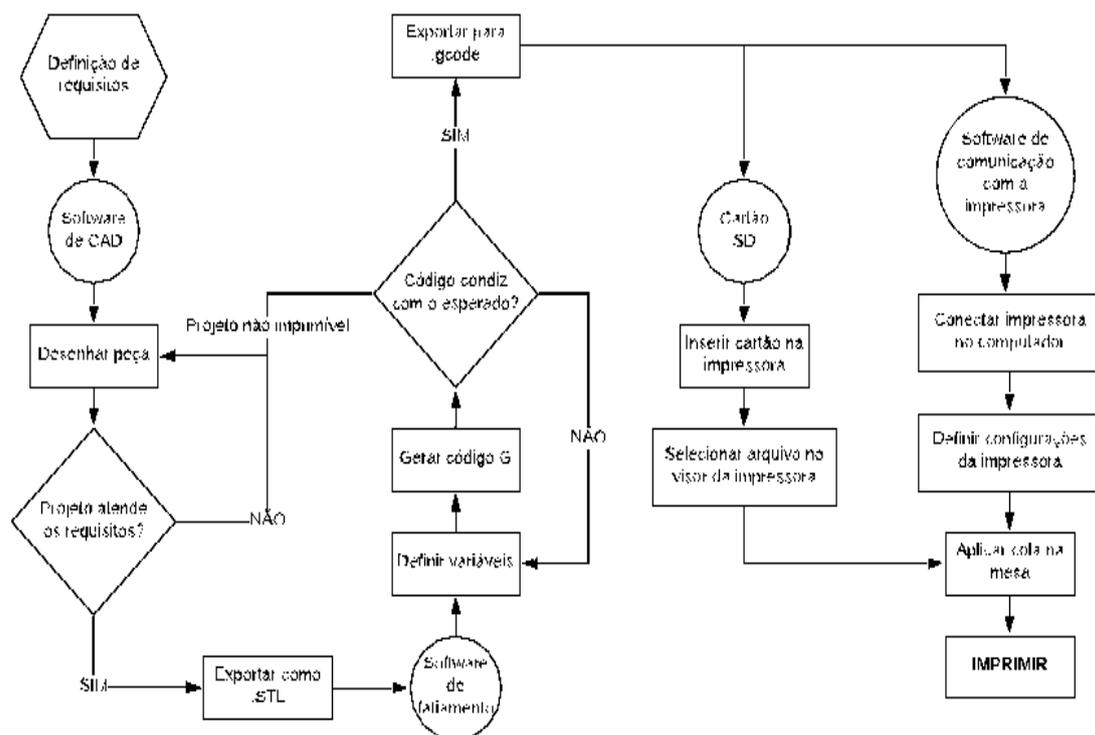
O filamento polimérico (A) é inserido no sistema e empurrado pelo motor de passo (B) para o *hot-end* - parte da estrutura do módulo que é aquecida pela resistência (D) - com auxílio de um rolamento (C), que pressiona o filamento na engrenagem conectada ao motor. Neste ponto, o filamento alcança sua temperatura de trabalho ( $T_{trabalho}$ ) e em seguida é pressionado por uma redução de diâmetro no bico (E). O movimento de todo este módulo gera então as camadas da peça final (F), conforme afirma Jon (2016).

## 2.2 O Fluxo da Impressão 3d em Máquinas com Tecnologia FDM

Na Figura 7 objetiva-se o fluxograma do processo de impressão, desde a concepção da ideia até a impressão em si. Em seguida, os principais passos desse processo serão explicados e exemplificados para melhor entendimento.

O processo inicia-se com a definição dos requisitos da peça impressa e leva em consideração a função e usabilidade da peça, para depois passar para fase de desenho. Nela utiliza-se um software de CAD (Computer aided design) para modelar a peça a ser impressa, considerando todos os requisitos definidos na fase anterior e todas as limitações do processo de impressão. Depois de garantir o atendimento dos requerimentos, é necessário exportar o modelo 3D para o formato .stl, o qual deve ser importado em um software de fatiamento.

Figura 7 - Fluxograma de impressão



Fonte: Adaptado pelos Autores (2019)

O software apontado é o responsável por gerar o código G – linguagem de programação que utiliza comandos para guiar a movimentação nos eixos X, Y e Z. Para gerar este código, é necessário definir todas as variáveis de impressão como velocidade, resolução e preenchimento da peça, para somente depois utilizar o software para sua criação.

Com o código gerado, torna-se necessário analisá-lo no intuito de prevenir erros. Deve-se levar em consideração todas as limitações da impressora, para conseguir prever possíveis erros e corrigi-los antes da impressão. Por fim, se tudo estiver de acordo com o que foi planejado, deve se exportar este código para o formato .gcode e utilizá-lo para impressão. A seguir estão descritos alguns tópicos, com os principais passos do fluxograma, os quais estão exemplificados, contextualizados para este trabalho, com mais detalhes:

#### a) Variáveis de Impressão

Os principais fatores que definem o resultado de uma impressão são chamados de variáveis de impressão. Essas são números definidos pelo usuário, capazes de indicar as capacidades da impressora a ser usada, a qualidade de impressão desejada, a velocidade que a peça será impressa e informações sobre a matéria-prima utilizada. A seguir, as principais variáveis de impressão são detalhadas.

I) Altura de camada (Layer height): essa é a definição de quantas camadas a sua peça terá. Definido pela altura total da peça dividido pela altura da camada, quanto menor for esta configuração, mais detalhes e melhor será o acabamento da peça, mas o tempo de impressão também aumentará, ver Cain (2018).

Figura 8 - Diferença entre configurações



Fonte: (Cain, 2018)

II) Perímetros (Perimeters): define a quantidade de perímetros que será impressa na sua peça, independente da configuração de preenchimento, como mostra a Figura 8. Implica na resistência mecânica e no acabamento da peça, conforme Cain (2018).

III) Preenchimento (Infill): para economizar material e tempo de impressão, é possível diminuir a quantidade de material que é depositado no interior da peça, como mostrado na Figura 8. Diminuir esta configuração resulta em uma impressão mais rápida e com menos material gasto, perdendo em resistência mecânica e peso, ver Cain (2018).

### **b) Variáveis Físicas**

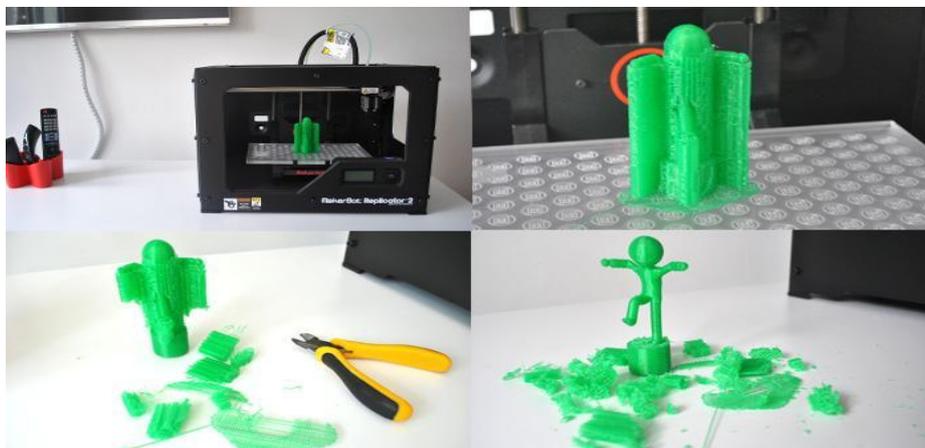
A temperatura depende do filamento usado e tem influência direta na qualidade da peça impressa. O bico extrusor deve se encontrar quente o suficiente, para que o material escolhido se funda e frio o suficiente para que durante a impressão se solidifique e ganhe resistência. Além do bico, a mesa também deve ser aquecida para facilitar a fixação da peça na mesma e evitar contrações drásticas graças a diferença de temperatura (Azevedo, 2013).

Em um sistema de impressão em FDM são necessários coolers no extrusor da impressora posicionados de modo a exercerem a função de esfriar tanto o conjunto de extrusão quanto a peça para garantir que as camadas se fundam de maneira correta. Azevedo (2003, p.7) afirma que “a falta de ventilação adequada no sistema de extrusão pode gerar entupimento do bico graças a dilatação do filamento dentro do sistema do extrusor”.

### **c) Limitações**

A impressora 3D trabalha de forma que a camada de baixo sustente a camada de cima e assim sucessivamente.

Figura 9 - Peça impressa com suportes e seu resultado



Fonte: (Monnerat, 2012)

Então, caso a camada acima não tenha um apoio, será essencial a existência dos suportes. Esses servem para dar sustentação a camada necessitada e serão descartados ao final da impressão, como mostrado na Figura 9. Portanto, os materiais a serem utilizados são de suma importância.

### 2.3 A Necessária Composição dos Materiais

A qualidade e características do material utilizado, torna-se vital para o processo. O material utilizado na impressão 3D em FDM necessita ser um termoplástico com baixa temperatura de fusão e baixa contração térmica. Os materiais mais utilizados na indústria 3D são PLA, ABS e PET, podendo se afirmar nessa ordem. O Quadro 1 procura demonstrar uma comparação entre estes, conforme sinalizado por (3DALT, 2018).

Quadro 1 - Comparação entre PLA, ABS e PETG

<b>Propriedades Materia Prima 3D LAB - Grãos</b>			
<b>Propriedades</b>	<b>PLA</b>	<b>ABS Premium</b>	<b>PETG</b>
<b>Densidade</b>	1,24 [g/cm <sup>3</sup> ]	1,04 [g/cm <sup>3</sup> ]	1,27 [g/cm <sup>3</sup> ]
<b>Temp. Fusão</b>	185 [°C]	220 [°C]	240 [°C]
<b>Tg</b>	60 [°C]	100 [°C]	85 [°C]
<b>Tensão de Escoamento</b>	66 [Mpa]	38 [Mpa]	51 [Mpa]
<b>Resistencia a Flexão</b>	130 [Mpa]	66 [Mpa]	72 [Mpa]
<b>Modulo de Elasticidade</b>	4350 [Mpa]	2200 [Mpa]	2120[Mpa]
<b>Resultado ensaio de Tração segundo a Norma ASTM D 638 - Corpo de provas Impresso</b>			
<b>Propriedades</b>	<b>PLA</b>	<b>ABS Premium</b>	<b>PETG</b>
<b>Tensão de Escoamento</b>	24,8 [Mpa]	14,7[Mpa]	18,6 [Mpa]
<b>Modulo de Elasticidade</b>	1896,0 [Mpa]	1335,9 [Mpa]	1067,9 [Mpa]
<b>Tensão de Ruptura</b>	46 [Mpa]	29 [Mpa]	32,6 [Mpa]
<b>Alongamento</b>	3,69 [%]	7,08 [%]	7,74 [%]
<b>Resultado ensaio de Dureza segundo a Norma ASTM D 2240 - Corpo de provas Impresso</b>			
<b>Dureza Shore D</b>	85 [Shore D]	74 [Shore D]	75 [Shore D]
<b>Resultado ensaio HTD segundo a Norma ISO 75 - Corpo de provas Impresso</b>			
<b>Temperatura HDT</b>	55,11°C	86,13°C	67,3 °C

Fonte: Adaptado de Cardoso (2018)

É importante ressaltar que as observações feitas sobre os materiais, devem ser relativizadas no tempo e espaço. Com o avanço da tecnologia de hardware para impressão 3D, novos materiais próprios para impressão começam a ganhar o mercado e os estudos nessa área se tornam cada vez mais comuns, resultando em uma variedade de novos materiais e novas técnicas de impressão, como afirmam Kietzmann, Leyland Pitt, & Berthon (2014).

### 2.4 Engenharia Assistida por Computador

O termo Engenharia Assistida por Computador (CAE), apresenta-se como uma ferramenta de auxílio ao desenvolvimento de projeto para a engenharia. Essa ferramenta permite realizar análises (estática, fluídos, dinâmicas etc.), com o objetivo de identificar possíveis falhas no design, sem a necessidade de um protótipo físico, ver ESSS (2014).

O método dos elementos finitos (MEF), tem sido o método de análise predominante nos softwares de análise assistida por computador. O método consiste em determinar estados de tensão e deformação de um sólido com base em ações exteriores (Azevedo, 2003). É importante destacar que para se chegar aos resultados desejados, este método gera um agrupamento de pequenos elementos com dimensões conhecidas e parametrizados pelo usuário. Este conjunto é chamado de Malha e tem sido a base para toda análise em MEF, conforme afirma Tavares (1998). Esse autor, afirma ainda que a união de cada elemento da malha é chamada de nó, e o método utiliza os dados fornecidos pelo usuário para calcular seu deslocamento e, por meio de funções de interpolação, chegar ao resultado desejado do estudo.

### **3. Metodologia**

A pesquisa tem natureza exploratória no sentido de desvendar aspectos de um fenômeno ainda pouco conhecido, conforme afirma Boaventura (2004). Os caminhos seguidos contiveram duas orientações: a) projetar um sistema capaz de manter temperaturas altas apenas em pontos específicos para permitir o uso de plástico na estrutura do extrusor e o funcionamento correto dos bicos de extrusão e; b) integrar um novo motor extrusor no firmware da placa de controle MKS Gen para permitir que o sistema reconheça dois extrusores separados e faça-os atuar no momento e lugar pré-determinado com margens de erro de apenas 0,1 mm.

Para tanto foram utilizadas três etapas: a) etapa conceitual, a qual deu sustentação científica ao trabalho; b) etapa técnica e documental, na qual foram consultados documentos técnicos publicados, visando ancorar o estudo sobre normas e parâmetros técnicos e; c) etapa empírica, a qual se destinou a fazer os testes e as experimentações.

Na etapa técnica e empírica, foram definidos os requisitos para a funcionalidade do projeto e depois desenhado o primeiro esboço do módulo. Este esboço passou por diversas análises em Engenharia Assistida por Computador (CAE), sendo que com os resultados obtidos, diversas adaptações e modificações foram realizadas, para a estrutura se adequar aos requisitos desejados.

Com o projeto final validado virtualmente, a estrutura foi impressa e o módulo foi montado para ser adaptado a impressora. Algumas modificações foram feitas para que a impressora conseguisse suportar o uso de dois motores extrusores. Depois de feitas as adaptações necessárias, o projeto foi calibrado e testado sucessivamente para garantir que estava funcionando adequadamente, cumprindo os seguintes diversos protocolos.

### 3.1 Descrição Do Projeto

O projeto consiste no desenvolvimento de um módulo extrusor, capaz de utilizar dois bicos de impressão, com objetivo final de uma impressora capaz de imprimir peças maciças com dois materiais diferentes, permitindo a impressora a fabricação de peças utilizando matérias especiais. Dentro desse protocolo, foram superadas as seguintes etapas:

#### **a) Requisitos**

Utilizando como base o estudo bibliográfico anteriormente apresentado, foi definida uma lista de requisitos, para os quais o projeto deverá atender. No Quadro 1 são apresentadas as diferentes propriedades para materiais diversos. Isso deve ser levado em consideração quando se fala do projeto, transformando-se em um requisito: cada bico deve operar com diferentes temperaturas e velocidades de extrusão.

Assim, em se tratando de um processo de manufatura, este deve atender a tolerâncias nas medidas da peça final. Para essa definição foram analisadas impressoras já existentes como a Prusa MMU 2.0 e 3D MakerBot Replicator 2X. Neste particular é necessária uma precisão nas dimensões e na resolução da impressão de 100 micron.

Para garantir uma fácil manutenção e usabilidade, o módulo deve ser facilmente montado e desmontado e atender os padrões apresentados no mercado, portanto, apenas parafusos M3 cabeça Allen devem ser utilizados, além de possuir uma estrutura totalmente impressa em 3D. Considerando o objetivo do trabalho como um módulo para adicionar versatilidade a impressoras, este deve funcionar em pelo menos dois modelos de impressoras diferentes.

#### **b) Soluções**

A principal base para o desenvolvimento da tecnologia foi o estudo de soluções já existentes no mercado. Impressoras que já utilizam este artifício foram estudadas e dissecadas, no sentido de prover a fundamentação necessária, para a solução desenvolvida.

Um exemplo disso, são as impressoras que já trabalham com extrusores duplos, as quais podem ser citados:

3D MakerBot Replicator 2X

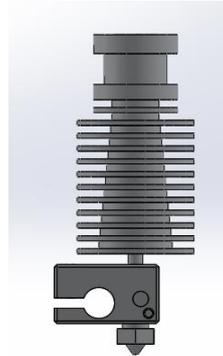
Cliever CL2 Pro

Prusa MMU 2.0

Ultimaker S5

Este estudo resultou no primeiro esboço do módulo que foi utilizado para rodar diversas simulações em CAE, até chegar a um resultado satisfatório. Desta fase saiu também a definição dos trocadores de calor a serem utilizados: foi definido o modelo E3D V6 (Figura 10) por ser eficiente, ter baixo custo e pela facilidade em encontrar no mercado.

Figura 10 - Modelo de trocador de calor E3D V6



Fonte: Adaptado pelos Autores (2019)

As primeiras modificações do modelo foram pensadas em como viabilizar a impressão e montagem do conjunto estrutura e extrusor, sendo que para isso foi necessário dividir sua estrutura em três partes e abrir cavidades internas no modelo para inserção de porcas, as quais foram utilizadas para fixar as três partes.

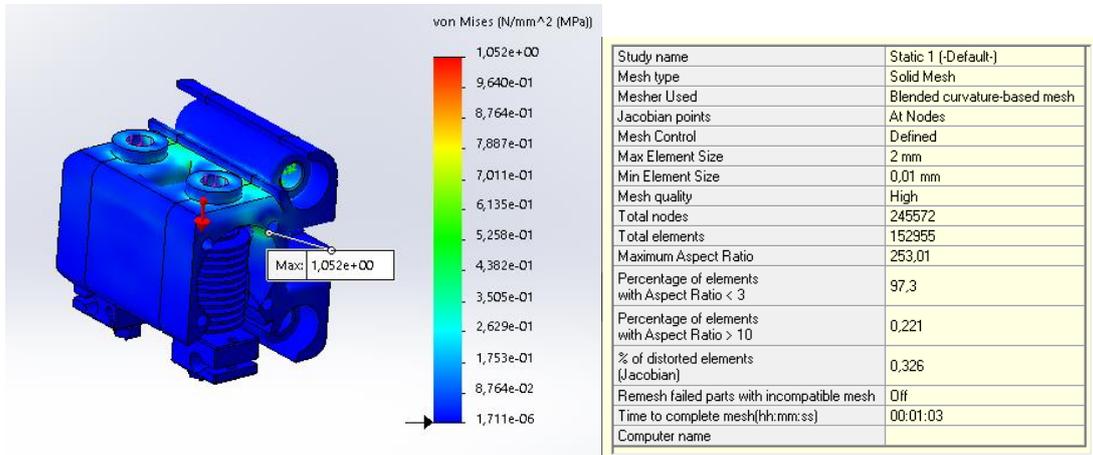
### 3.2 Análises Assistidas por Computador (CAE)

O projeto do módulo extrusor foi validado virtualmente, por meio de análises que utilizou o método de elementos finitos. Para ser considerado viável, o projeto precisava atingir os seguintes requisitos: a) Sustentar seu próprio peso mais pressão (0,59 Kg/cm<sup>2</sup>, conforme Neoyama (2019.), exercida no extrusor pelo motor de extrusão (Item B Figura 5); b) usando como base a variável Tg (temperatura de transição vítrea) para o PLA, conforme apresentada no Quadro 1, foi definida uma temperatura máxima de 80°C, para os locais de contato entre o extrusor e a estrutura plástica, após o equilíbrio térmico durante o funcionamento da impressora; c) para análise estática de peso e pressão, foi utilizado o suplemento Simulation do software SolidWorks, o qual permitiu a análise de esforços em um sólido, simulando condições reais de uso através do método de elementos finitos.

Assim, como mostra a Figura 11, a análise final do módulo foi concluída com sucesso, utilizando como condições de contorno uma força de 50 N em cada em cada bico do extrusor (força máxima alcançada pelo motor de passo), tendo os rolamentos presos com fixação total em sua parte interna e a gravidade também foi levada em consideração, obtendo assim tensões

máximas de 1,052 Mpa, contra uma tensão de escoamento do PLA impresso em 3D de 24,8 Mpa (Quadro 1), resultando em um fator de segurança de 23,57.

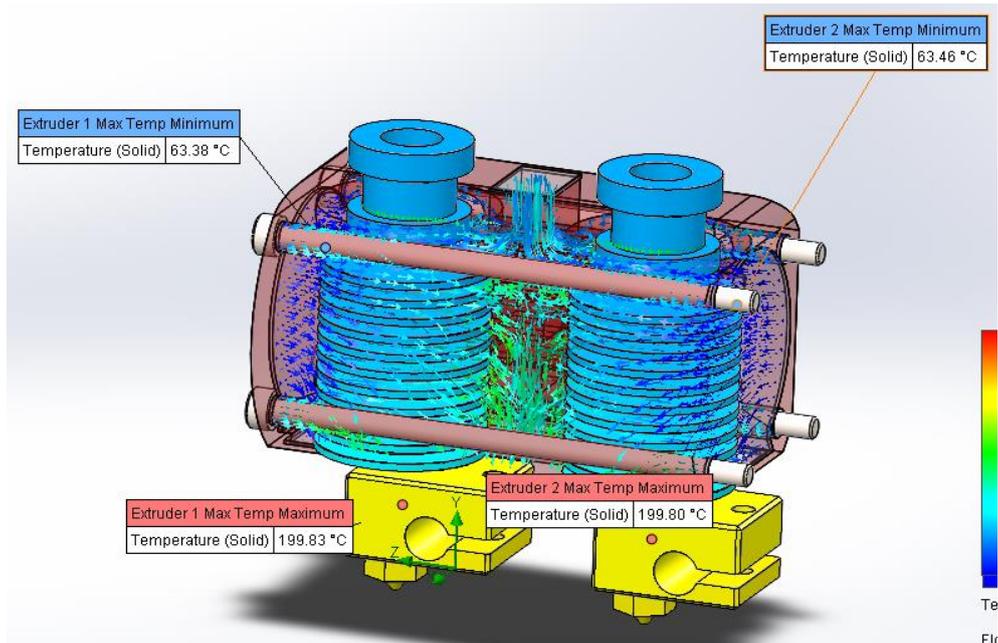
Figura 11 - Resultado da simulação a esquerda e condição da malha a direita



Fonte: Adaptado Pelos Autores (2019)

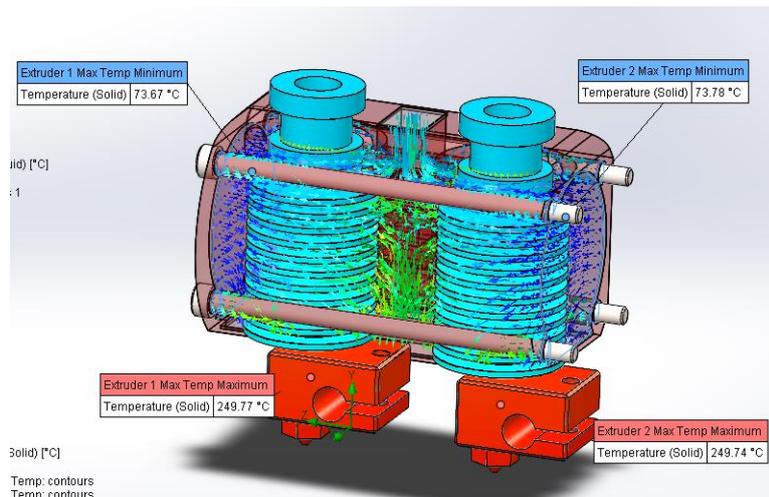
Para análises térmicas foi utilizado o suplemento Flow Simulation do software SolidWorks. Esse permite análises de fluxo de fluídos e transmissões de calor em modelos 3D, incluindo montagens de diversas peças. Com objetivo de diminuir o custo computacional da análise, a montagem do sistema foi reduzida apenas para as partes críticas da análise e como condições de contorno, foi definida a temperatura ambiente de 25°C, tendo um cooler com capacidade de fluxo de 1,9 pés<sup>3</sup>/min (Sunon, 2018) e pressão atmosférica de 1 atm.

Figura 12 - Resultado da simulação de fluxo em condições normais de uso



Fonte: Adaptado Pelos Autores (2019)

Figura 13 - Resultado da simulação de fluxo em condições de pior caso

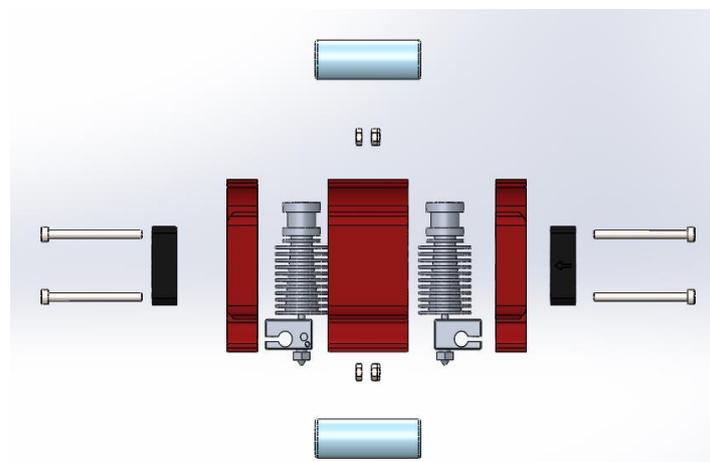


Fonte: Adaptado Pelos Autores (2019)

As Figuras 12 e 13 mostram o resultado das análises na peça final. Em condições normais de uso (bico a 200°C e capacidade completa dos coolers) e em condição de pior caso (bico a 250°C e apenas metade da capacidade dos coolers), respectivamente. Assim, com o resultado de todas as análises, foi possível validar o projeto e iniciar etapa de fabricação.

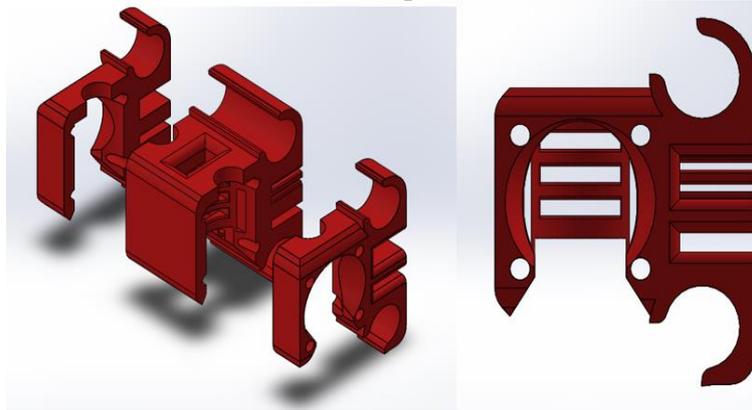
Como as análises e simulações, foi definido o projeto final com dois coolers. Fluxo de ar voltado para dentro da estrutura, saídas de ar nos lados de cima e de baixo da estrutura, interior com ranhuras internas para circulação de ar, corte da estrutura em três partes para possibilitar a impressão e porcas no interior da estrutura, para fixação das três partes e dos dois coolers. As Figuras 14, 15 e 16 mostram diversas vistas do projeto final do módulo extrusor.

Figura 14 - Vista frontal explodida da montagem do módulo extrusor.



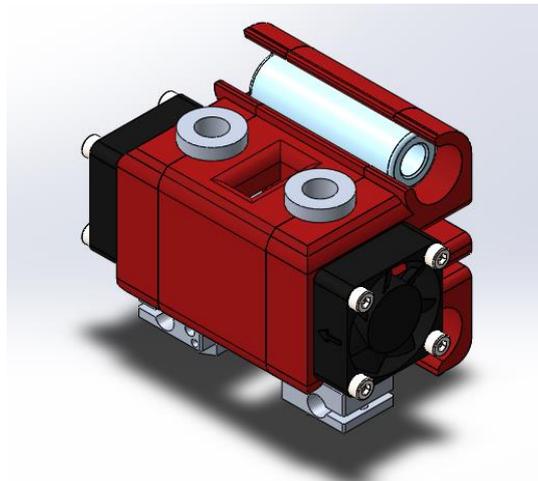
Fonte: Adaptado Pelos Autores (2019)

Figura 15 - Vistas isométrica (esquerda) e lateral direita (direita) da estrutura do módulo extrusor explodida.



Fonte: Adaptado Pelos Autores (2019)

Figura 16 - Vista isométrica da montagem final do módulo extrusor.



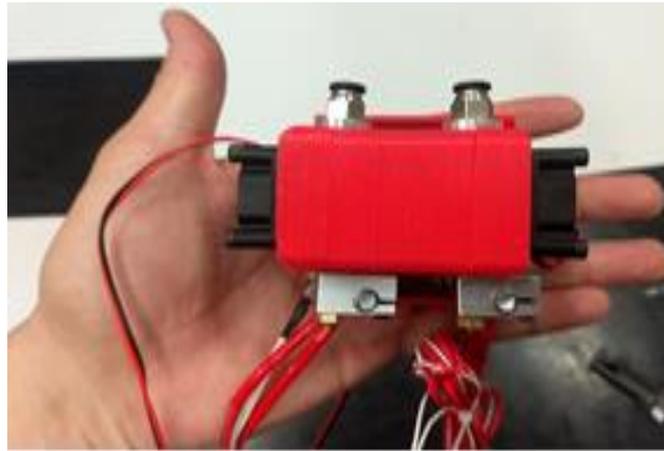
Fonte: Adaptado Pelos Autores (2019)

Como definido nos requisitos do projeto, as três partes que compõem a estrutura do módulo extrusor serão impressas em 3D usando o polímero PLA. Como parâmetros de impressão foi utilizada uma resolução de 100 microns, 25% de preenchimento interno e não foi necessária a utilização de suportes para a impressão.

### 3.3 Fabricação, Montagem e Integração

De forma simples, logo após a aquisição dos materiais necessários, o módulo extrusor foi montado (Figura 17).

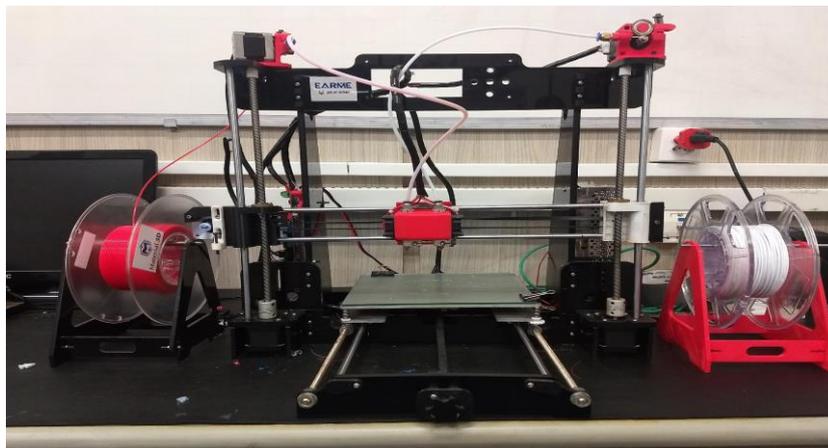
Figura 17 - Módulo extrusor montado Fonte



Fonte: Adaptado Pelos Autores (2019)

Já para a integração do módulo extrusor foi utilizada a impressora modelo A8 (MA8) da empresa Anet. Como ela não utiliza 2 extrusores para impressão, algumas modificações em hardware foram realizadas. A placa de controle da impressora selecionada não permite a adição de mais de um extrusor na impressora, então a primeira modificação a ser realizada na impressora foi a substituição da placa controladora original, por uma MKS Gen V1.4, a qual permite a adição do segundo extrusor.

Figura 18 - Impressora Anet modificada com o projeto



Fonte: Adaptado Pelos Autores (2019)

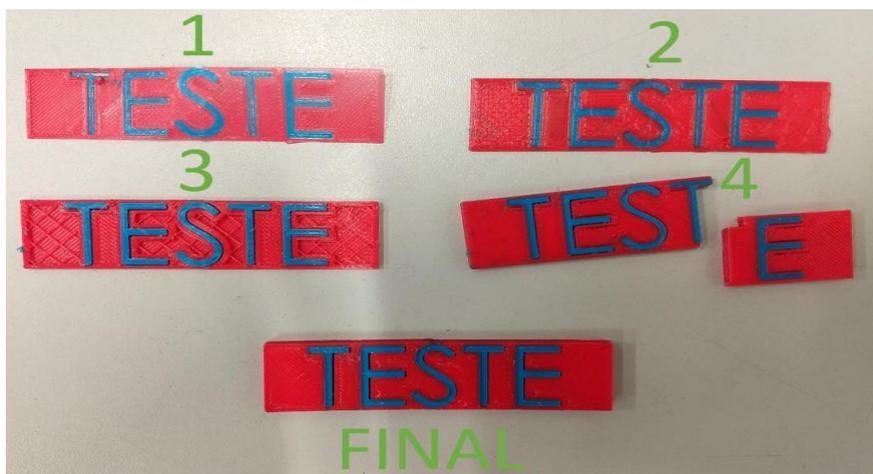
Originalmente a MA8 da Anet, utiliza o motor de extrusão conectado diretamente ao extrusor. Nesse sentido, foi necessária uma adaptação utilizando o projeto do usuário “schlotzz” do site Thingsiverse para utilização de motores separados do extrusor. Foram impressos 2 sistemas e adicionados à estrutura da MA8 da Anet, permitindo o uso dos dois

motores. Como a altura entre o bico e a mesa foi modificada, também foi necessário modificar o sistema para acionamento do sensor fim de curso do eixo Z da impressora, sendo necessário projetar um pequeno adaptador para acoplar o sensor na posição correta. A figura 18 é capaz de mostrar em detalhes a montagem final, já com todas as modificações necessárias.

#### 4. Testes e Resultados

Com todo o sistema montado na impressora, foi iniciada a fase de testes e calibração utilizando o novo sistema de extrusão. Durante o processo de calibração, houve a necessidade de realizar alterações em algumas variáveis: a) Alinhamento dos dois bicos no eixo Z – caso os bicos não estejam perfeitamente alinhados, o bico que não está sendo utilizado para impressão, pode acabar colidindo com a peça sendo impressa pelo outro bico; b) Ajuste da distância entre os bicos nos eixos X e Y – a precisão da máquina está diretamente ligada a correta dimensão entre essas diferenças, portanto, o software de fatiamento deve ser alimentado com as dimensões, de forma precisa e; c) Variáveis de impressão – como toda a estrutura de funcionamento da MA8 da Anet foi modificada para o projeto, houve a necessidade de rever todas as variáveis de impressão novamente. Essas foram ajustadas com sucessivos testes, usando o método de tentativa e erro. A Figura 19 mostra a evolução da qualidade de impressão e a precisão da máquina.

Figura 19 - Testes de impressão suscetíveis após modificação de parâmetros.



Fonte: Adaptado Pelos Autores (2019)

O resultado do projeto conseguiu confirmar todas as análises feitas pelo método de Elementos Finitos, atingindo uma temperatura máxima de 50°C nas regiões controladas e

resistindo sem problemas, aos esforços gerados pelo uso, conforme era esperado. Diante dessas etapas cumpridas pode-se concluir com algumas observações.

## **5. Conclusão**

Diante do contexto definido para o trabalho, de enfrentar a problemática para encontrar o desenvolvimento de um módulo extrusor, que tivesse a capacidade de ampliar a versatilidade de impressoras 3D pessoais, permitindo que esse método fosse capaz de permitir a impressão de dois materiais diferentes simultaneamente, permitindo o usuário utilizar, por exemplo, uma combinação de um material estrutural e um material solúvel para servir de suporte para conseguir geometrias extremamente complexas as quais não eram possíveis sem esta tecnologia, foi estabelecido o objetivo de projetar e desenvolver um sistema de extrusão para impressoras 3D, baseadas em tecnologia FDM, com baixo custo e com capacidade de trabalhar com dois materiais diferentes simultaneamente.

Assim, foi possível verificar que o projeto desenhado apresentou o desenvolvimento completo de um extrusor para impressoras 3D FDM, com a capacidade de imprimir 2 materiais diferentes simultaneamente. Este processo adiciona versatilidade a impressoras comuns, permitindo-a imprimir peças complexas sem a necessidade de montagens posteriores.

Os testes de impressão foram capazes de atingir os requisitos do projeto, mas ainda existem melhorias que podem ser implementadas futuramente no módulo. É observável nas impressões realizadas que existe a dificuldade na impressão de pontes e overhangs, e para solucionar isso será necessária a adição de ventoinhas de refrigeração voltadas para a peça a ser impressa, como explicado anteriormente. Também pode ser estudado a aplicação de diferentes materiais para impressão, como plásticos condutivos para a impressão de placas de circuito e materiais solúveis para impressão de suportes.

Assim, fica estabelecido um ponto de partida, por meio de uma leitura relativa feita em um tempo e espaço definidos. Dada a velocidade das tecnologias, é possível que estudos futuros venham contribuir, trazendo avanços significativos, porém fica registrada essa possibilidade real que aqui foi estabelecida.

## **Referências**

3Dalt. (2018). Common 3d Printing Materials. Acesso em 21 de outubro de 2018, disponível em 3Dalt: <https://www.3dalt.com/common-materials/>

Alexandrea, P. (31 de outubro de 2017). The Complete Guide to Stereolithography (SLA) in 3D Printing. Fonte: 3D Natives: <https://www.3dnatives.com/en/stereolithography-explained100420174/>

Asm. (2010). ASTM F2792. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken.

Azevedo, Á. F. (2003). Método dos Elementos Finitos (1 ed., Vol. 1). Porto: abril.

Azevedo, F. M. (2013). Estudo e projeto de melhoria em máquina de impressão 3D.

Boaventura, E. (2004). Metodologia da Pesquisa. São Paulo: Atlas.

Brian. (26 de setembro de 2016). COMO IMPRIMIR COM O FILAMENTO SOLÚVEL – HIPS. Fonte: 3D Lab: <https://3dlab.com.br/filamento-soluvel-hips/>

Cain, P. (2018). Selecting the optimal shell and infill parameters for FDM 3D Printing. Acesso em 05 de setembro de 2018, disponível em 3DHUBS: <https://www.3dhubs.com/knowledge-base/selecting-optimal-shell-and-infill-parameters-fdm-3d-printing>

Callister, W. D., & Rethwisch, D. G. (2012). Ciência e engenharia de materiais: uma introdução. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda.

Cardoso, S. (2018). Qual impressora 3D comprar? Guia completo para escolher o modelo ideal. Acesso em 21 de outubro de 2018, disponível em 3D Lab: <https://3dlab.com.br/qual-impressora-3d-comprar/>

Dormehl, L. (4 de julho de 2018). 15 major milestones along the brief history of 3D printing. Fonte: Digital Trends: <https://www.digitaltrends.com/cool-tech/history-of-3d-printing-milestones/>

ESSS. (2014). Engenharia assistida por computador: o que é e como funciona? Acesso em 23 de maio de 2019, disponível em ESSS: [www.esss.co/blog/engenhria-assistida-por-computador-o-que-e-e-como-funciona/](http://www.esss.co/blog/engenhria-assistida-por-computador-o-que-e-e-como-funciona/)

Jacobs, P. F. (1992, p. 34). Rapid Prototyping & Manufacturing. Society of Manufacturing Engineers.

Joel, C. (01 de dezembro de 2017). IMPORTANT THINGS TO KNOW ABOUT DUAL EXTRUSION IN 3D PRINTERS. Fonte: 3D printers Online Store: <https://www.3dprintersonlinestore.com/important-things-to-know-about-dual-extrusion-in-3d-printers>

Jon, A.T. (2016). 3D PRINTING GUIDE. Fonte: Instructables: <https://www.instructables.com/id/3D-Printing-101-1-Introduction/>

Kietzmann, J., Leyland Pitt, & Berthon, P. (2014). Disruptions, decisions, and destinations: Enter the age of 3-D printing and additive manufacturing. Business Horizon, pp. 209-2015.

Lira, V. M. (2017). Princípios dos processos de fabricação utilizando metais e polímeros. São Paulo: Edgard Bucher Ltda.

Marquardt, T., & Zheng, E. (12 de agosto de 2018). History of 3D Printing. Fonte: Maker Space: [https://blogs.lawrence.edu/makerspace/history/Monnerat, H. \(2012\). Impressão 3D com suporte. Acesso em 21 de outubro de 2018, disponível em Designoteca: http://site.designoteca.com/2013/02/21/impressao-3d-com-suporte/Nagano, M. \(11 de junho de 2011\). RepRap: Uma impressora 3D Open Source auto-copiável. Fonte: Ztop: https://www.ztop.com.br/reprap-uma-impressora-3d-open-source-auto-copiavel/](https://blogs.lawrence.edu/makerspace/history/Monnerat, H. (2012). Impressão 3D com suporte. Acesso em 21 de outubro de 2018, disponível em Designoteca: http://site.designoteca.com/2013/02/21/impressao-3d-com-suporte/Nagano, M. (11 de junho de 2011). RepRap: Uma impressora 3D Open Source auto-copiável. Fonte: Ztop: https://www.ztop.com.br/reprap-uma-impressora-3d-open-source-auto-copiavel/)

Neoyama. (s.d.). DataSheet AK17/1.10F6LN1.8). Acesso em 22 de maio de 2019, disponível em Neoyama: <https://www.baudaeletronica.com.br/Documentos/motor-de-passo-nema17-1-10kgfcm.pdf>

Sunon. (2018). DC Brushless Fan and Blower. Sunon, Taiwan.

Tavares, J. R. (maio de 1998). Introdução ao método dos elementos finitos. Research Gate, pp. 1 - 5.

Wishbox. (24 de maio de 2016). Filamentos para impressão 3D: o que você precisa saber. Fonte: WishBox: <http://blog.wishbox.net.br/2016/05/24/filamentos-para-impressao-3d/>

#### **Porcentagem de contribuição de cada autor no manuscrito**

Vaner José do Prado – 30%

Leonardo Cardoso de Freitas – 30%

Fernanda Muller Jesuíno – 20%

Euclério Barbosa Ornellas Filho – 20%