

Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

Cristiane Pereira Ricci

**DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D
COM EXTRUSÃO DE CHOCOLATE**

São Carlos - SP – 2021

Universidade Federal de São Carlos
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia
Departamento de Engenharia Mecânica

Cristiane Pereira Ricci

**DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D
COM EXTRUSÃO DE CHOCOLATE**

Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao departamento de
engenharia mecânica da Universidade
Federal de São Carlos para obtenção
do título de bacharel em Engenharia
Mecânica

Orientador: Luis Antonio de Oliveira Araujo

São Carlos - SP

2021



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS

COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA - CCEMec/CCET

Rod. Washington Luís km 235 - SP-310, s/n - Bairro Monjolinho, São Carlos/SP, CEP 13565-905

Telefone: (16) 33519703 - <http://www.ufscar.br>

DP-TCC-FA nº 17/2021/CCEMec/CCET

Graduação: Defesa Pública de Trabalho de Conclusão de Curso

Folha Aprovação (GDP-TCC-FA)

FOLHA DE APROVAÇÃO

CRISTIANE PEREIRA RICCI

DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D COM EXTRUSÃO DE CHOCOLATE

Trabalho de Conclusão de Curso

Universidade Federal de São Carlos – Campus São Carlos

São Carlos, 02 de julho de 2021

ASSINATURAS E CIÊNCIAS

Cargo/Função	Nome Completo
Orientador	Luis Antonio Oliveira Araujo
Membro da Banca 1	João Vitor de Carvalho Fontes
Membro da Banca 2	Anderson Antonio Ubices de Moraes



Documento assinado eletronicamente por **Joao Vitor de Carvalho Fontes, Docente**, em 02/07/2021, às 16:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Anderson Antonio Ubices de Moraes, Docente**, em 02/07/2021, às 16:36, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Luis Antonio Oliveira Araujo, Docente**, em 02/07/2021, às 16:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site <https://sei.ufscar.br/autenticacao>, informando o código verificador **0422864** e o código CRC **7D5AC0DE**.



Referência: Caso responda a este documento, indicar expressamente o Processo nº
23112.011688/2021-24

SEI nº 0422864

Modelo de Documento: Grad: Defesa TCC: Folha Aprovação, versão de 02/Agosto/2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à minha família, especialmente aos meus pais Valdomiro e Zilda, que me deram todo o suporte que precisei ao longo de toda a minha graduação e permitiram que eu chegasse até aqui.

Ao meu orientador Luis Antonio, por toda a paciência e apoio durante o desenvolvimento deste projeto.

Ao meu psicólogo Pedro, que me ajudou a manter a tranquilidade mesmo nos momentos de dificuldade.

Aos amigos de curso, que nunca me deixaram desistir mesmo nos momentos mais difíceis.

E aos amigos de vida, que nunca me permitiram duvidar da minha capacidade.

RESUMO

A manufatura aditiva é um processo de fabricação que permite a obtenção de formas complexas e/ou que exigem diversas etapas. Assim, a obtenção de um sólido é uma tarefa mais difícil e elaborada. Historicamente, as aplicações desta técnica iniciaram-se na impressão de polímeros e na indústria metalúrgica. Atualmente, devido à evolução tecnológica e ao barateamento de componentes, atingiu-se o mercado doméstico e de serviços, sendo que o nicho de presentes personalizados é promissor. Neste contexto, o ramo culinário apresenta potenciais aplicações a chocolates e doces, dadas as restrições atuais devido à utilização de moldes. O uso da manufatura aditiva, através de impressoras 3D, disponibiliza ao mercado novas opções de *design*, tornando o produto final inovador, competitivo e personalizado, características estas que são motivadoras ao desenvolvimento deste trabalho. O projeto tem como tema o desenvolvimento de um equipamento de impressão tridimensional aplicado ao mercado de chocolates. Como parte do desenvolvimento de um sistema baseado em uma impressora *open source* já amplamente utilizada com polímeros, este projeto realizou as adaptações necessárias para a utilização deste material, já que suas características de trabalho mais relevantes divergem daquelas observadas nas matérias primas mais utilizadas pela indústria geral. A solidificação do chocolate pode ocorrer de diferentes maneiras, afetando o resultado final das peças, que podem se desmanchar ou não manter a geometria desejada, sendo este um dos maiores desafios para a utilização deste material.

Palavras-chave: Manufatura aditiva; Impressão 3D; Chocolate; Alimentos; FDM.

ABSTRACT

Additive manufacturing is a manufacturing process that allows obtaining complex shapes and/or with many stages. Therefore, obtaining a solid is a harder and more complex task. Historically, the use of this technique has started with printing polymers and in metallurgical industry. Currently, due to technological advances and cost reduction of components, the domestic and services markets have been reached, while the niche of custom gifts is promising. In this context, the cooking segment shows potential applications to chocolates and candies, given the current restrictions due to usage of molds. The use of additive manufacturing, through 3D printers, brings to the market new design options, making the final product innovative, competitive and customized, being these characteristics the motivation for the development of this academic work. The theme of this project is the development of a tridimensional printing device applied to the chocolate market. As part of the development of a system based on an open source printer already widely used for polymers, this project executed the necessary adaptations for use of this material, since the most relevant working parameters diverge from those seen on most common raw materials used by general industry. The solidification of chocolate can occur on several ways, affecting the final result of the parts, which may fall apart or fail to keep the desired geometry, being this one of the main challenges to the usage of this material.

Key words: Additive Manufacturing; 3D Printing; Chocolate; Food; FDM.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Choc Edge	12
Figura 2 - Peças criadas com a Choc Edge	12
Figura 3 - Impressão por Estereolitografia	16
Figura 4 - Primeiro crânio impresso em 3D implantado	17
Figura 5 - Casa impressa em 3D no Brasil	17
Figura 6 - Impressora 3D do tipo FDM	18
Figura 7 - Diferentes alturas de camadas de impressão	19
Figura 8 - Alimento impresso em 3D	19
Figura 9 - Modelo de urso poligonal	25
Figura 10 - Modelo orgânico de gato	25
Figura 11 - <i>Frame</i> com pontos de fixação para porcas do padrão imperial	26
Figura 12 - Adaptador de porca do padrão imperial para o padrão métrico	27
Figura 13 - Guia com comprimento incorreto	27
Figura 14 - Acoplamento entre barra roscada e motor de passo da impressora	28
Figura 15 - Mecanismo de controle de filamento original	29
Figura 16 - Impressora montada para impressão de polímeros	30
Figura 17 - Configuração alterada da extrusora	31
Figura 18 - Peças impressas em ABS	32
Figura 19 - Peça com deslocamento de camadas	33
Figura 20 - Teste manual de solidificação de chocolate em camadas	34
Figura 21 - Conjunto de teste para bico de impressão	35
Figura 22 - Conjunto de teste com chocolate	36
Figura 23 - Chapa de alumínio estrutural	40
Figura 24 - Placa estrutural com dissipador fixado	40
Figura 25 - Montagem final do conjunto dissipador de calor	41
Figura 26 - Camada de isolante térmico na montagem	42
Figura 27 – Montagem de chapa de aço inox para impressão	42
Figura 28 - Primeira camada de chocolate no teste	45
Figura 29 - Chocolate não solidificado	45
Figura 30 - Altura de camada obtida	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	11
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	OBJETIVO GERAL	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	PLANO DE TRABALHO	14
4	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
4.1	IMPRESSÃO 3D	16
4.2	FDM	18
4.3	IMPRESSÃO 3D DE ALIMENTOS.....	19
5	MÉTODOS.....	21
5.1	ESPECIFICIDADES DO NOVO MATERIAL	21
5.2	PROJETO DE BASE E ALTERAÇÕES PROPOSTAS	22
5.3	VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE DAS PEÇAS	24
6	DESENVOLVIMENTO.....	26
6.1	CONSTRUÇÃO DO MODELO DE BASE DA IMPRESSORA.....	26
6.2	EXECUÇÃO DAS PEÇAS DE REFERÊNCIA.....	31
6.3	TIPO DE CHOCOLATE UTILIZADO PARA A IMPRESSÃO.....	33
6.4	MESA RESFRIADA	36
7	RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
8	CONCLUSÕES.....	47
9	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	48
10	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1 INTRODUÇÃO

Tem-se a definição de manufatura aditiva como sendo “processo de unir materiais para fazer objetos a partir de modelos 3D, normalmente camada sobre camada, de maneira oposta a metodologias subtrativas de manufatura”. (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2013). Esta técnica, também chamada de impressão 3D, tem se expandido a diversas áreas, desde produtos decorativos até peças industriais. Suas principais vantagens são a fácil personalização do produto final com velocidades relativamente altas (mas ainda muito baixas quando comparadas às observadas em processos de remoção de material) e a possibilidade de fabricação de geometrias complexas, de acordo com as necessidades do projeto e sem a necessidade de moldes caros.

Considerando a sua utilização em materiais alimentícios, é de extrema importância que se siga normas para evitar contaminação. No Brasil tem-se por padrão seguir as normas ISO, sendo algumas das mais comumente usadas a ISO 21469 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2009) referente a lubrificação com contato incidental e a ISO 2037 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 1992), que regulamenta o uso de tubos de aço inoxidável. O documento mais geral nesse aspecto, que regulamenta os requisitos para todas as empresas relacionadas ao setor alimentício, é a ISO 22000 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015).

As pesquisas em materiais alimentícios para impressão 3D têm se expandido nos últimos anos. A avaliação de macronutrientes presentes no material já vem sendo estudado (PÉREZ, NYKVIST, *et al.*, 2019), havendo informações sobre como a presença de proteínas, carboidratos e lipídios influi no resultado de impressão. Cada mudança de material exige uma nova configuração de impressão, sendo que a composição utilizada pode ter desempenhos diferentes quanto à similaridade geométrica de acordo com a velocidades de impressão (PÉREZ, NYKVIST, *et al.*, 2019).

O chocolate é considerado um material “imprimível nativamente” (SUN, ZHOU, *et al.*, 2015), o que facilita o trabalho com ele. Já existem no mercado internacional impressoras com o propósito parecido, sendo um bom exemplo a “Choc Edge” , que utiliza seringas de 30 ml para realizar a impressão (CHOC EDGE, 2021),

mas espera-se ainda atingir maiores capacidades de carga de material na impressora. Já existem pesquisas em propostas de modelos para refeições digitais (LEANDRO, 2017).

Figura 1 - Choc Edge



Fonte: CHOC EDGE, 2021

Figura 2 - Peças criadas com a Choc Edge



Fonte: CHOC EDGE, 2021

2 OBJETIVOS

Aqui serão discutidos os intuitos traçados para este trabalho, observando o objetivo geral que se deseja alcançar e detalhando quais os itens menores que o compõe.

2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo principal do projeto é desenvolver uma impressora que seja capaz de realizar a impressão de objetos sólidos utilizando como material o chocolate, produzindo peças com mais de 20 milímetros de altura. Existe uma expectativa sobre a qualidade da impressão, porém, não foram estabelecidos critérios quantitativos, visto que o foco principal deste texto é o registro da construção do equipamento.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Foram definidos os principais objetivos do projeto como sendo:

- Avaliar as mudanças necessárias em um projeto de impressora 3D para torná-la apta a trabalhar com materiais alimentícios, não ocorrendo contaminações;
- Desenvolver uma mesa fria para a solidificação do chocolate;

3 PLANO DE TRABALHO

Para atingir os objetivos propostos, foram planejadas e realizadas as atividades:

- a) compra e montagem da impressora base proposta, para se ter uma base de comparação de resultados:
 - o material selecionado para a execução dos modelos de exemplo foi o ABS, por ser o material mais utilizado em impressoras 3D domésticas;
 - o modelo selecionado como base é a Graber i3, por seu baixo custo e simplicidade de montagem.
- b) estudo teórico da mesa fria:
 - como a mesa para o chocolate não pode ser quente, já que derreteria a parte pronta da peça final, é necessário desenvolver a mesa fria para se ter a correta solidificação do material;
 - o desenvolvimento dessa parte será descrito neste trabalho.
- c) execução da mesa fria:
 - após o desenvolvimento teórico para a mesa, é necessário montá-la fisicamente com os componentes previstos, para garantir que seu comportamento corresponde ao que se previu na teoria.
- d) avaliação das demais necessidades de adaptação da impressora:
 - a simples alteração da mesa quente para a mesa fria não é suficiente para que seja possível utilizar a impressora 3d com o novo material;
 - nesta etapa serão listadas todas as alterações que se observe como necessárias para o uso do chocolate, incluindo o transporte do material até o bico da impressora;
- e) propostas de adaptações:
 - com todas as necessidades listadas, inicia-se o desenvolvimento de soluções para saná-las;
 - estas propostas serão descritas, assim como o critério de escolha entre elas;
- f) definição do modelo final:

- com as alterações definidas, define-se a configuração final do produto com que se seguirá até o fim do projeto, para reduzir o número de reloops no processo;
 - melhorias do produto poderão ser descritas em projetos posteriores;
- g) execução do modelo final:
- com as alterações definidas, elas podem ser executadas no projeto final.
- h) correção de parâmetros de impressão:
- com o modelo físico final, é necessário executar as alterações de controle e programação do sistema, para que não se danifique o material no processo de impressão e se tenha um bom resultado.
- i) testes e obtenção de resultados:
- com a máquina pronta e regulada, se inicia a fase de testes, com registros dos dados obtidos.
- j) conclusão:
- aqui, registra-se o resultado final obtido e descreve-se as conclusões a que se chegou com o desenvolvimento.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 IMPRESSÃO 3D

O uso da impressão 3D, também conhecida como Manufatura Aditiva, iniciou-se na década de 1980, com uma patente de um aparato para estereolitografia (WHITAKER, 2014). Seu princípio é similar à usinagem CNC, consistindo em adicionar material à peça ao invés de removê-lo. Em 2009 as patentes das impressoras do tipo FDM caíram em domínio público, popularizando a técnica na década de 2010 e tornando as impressoras 3D mais acessíveis ao consumidor final (SCULPTEO, 2021).

Figura 3 - Impressão por Estereolitografia

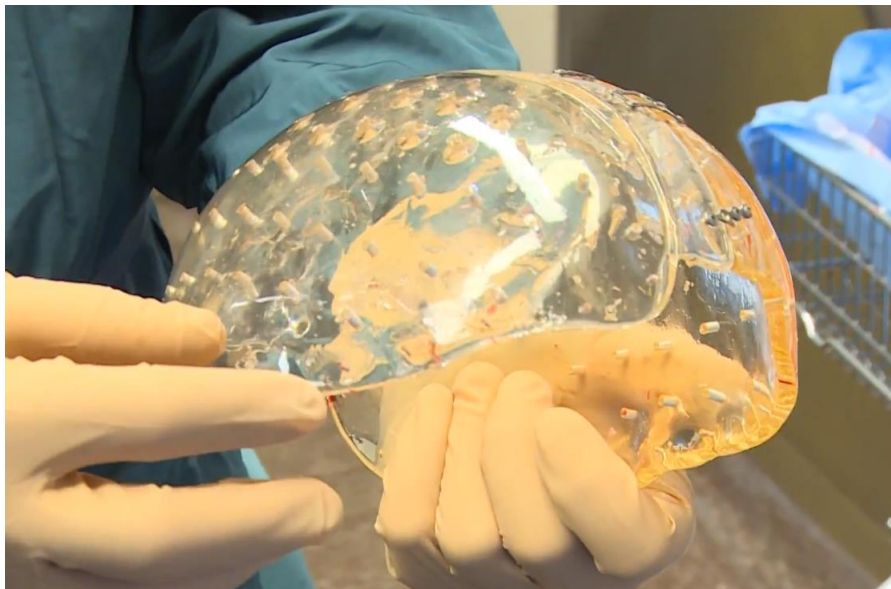


Fonte: (IMPRESORAS3D, 2017)

Com a expansão do desenvolvimento dessa tecnologia, passaram a ser estudados novos materiais para essa aplicação em diversos setores. Empresas de baixo volume de produção e divisões de prototipagem são as que mais tiram vantagem desta tecnologia. Tomando por exemplo a indústria aeronáutica, em cada Airbus A350 há mais de 1000 peças produzidas desta forma, muitas delas sendo metálicas (KRASSENSTEIN, 2015). Em 2014 ocorreu o primeiro implante de crânio bem-sucedido utilizando impressão 3D (MISRA, 2014), sendo que a área biomédica vem

se utilizando amplamente da técnica desde então principalmente devido à facilidade de personalização.

Figura 4 - Primeiro crânio impresso em 3D implantado



Fonte: MISRA, 2014

A expansão e redução de custo dessa técnica já permite até mesmo a construção de casas, como é o caso da startup brasileira InovaHouse3D, que conseguiu construir em Natal uma casa de 66m² em 48 horas custando cerca de R\$30,00 por metro quadrado (R7, 2020).

Figura 5 - Casa impressa em 3D no Brasil



Fonte: R7, 2020

4.2 FDM

Tecnologia patenteada pela empresa Stratasys em 1992 (SCULPTEO, 2021), FDM é a abreviação para *Fused Deposition Modeling*. Essa é a técnica mais comumente utilizada em impressoras 3D domésticas, sendo baseada na extrusão de filamento polimérico. Sua ampla utilização se deve principalmente à simplicidade de implementação de sistemas deste tipo, já que não requer altas temperaturas de trabalho para polímeros como ABS e PLA, mantendo as peças abaixo dos 300°C.

Figura 6 - Impressora 3D do tipo FDM



Fonte: SETH3D, 2017

A programação de sistemas desse tipo é muito similar à programação CNC, o que colaborou com a popularização da aplicação. Em 2004 surgiu o projeto RepRap, que é uma impressora 3D cujas peças podem ser impressas em outra impressora 3D, tendo sido crucial na ampliação dessa tecnologia ao público doméstico (SCULPTEO, 2021). Com *firmwares* gratuitos como o Marlin, utilizado neste projeto, o usuário final pode, com breve estudo, configurar a impressora atingindo resultados finais satisfatórios. No mercado existem *softwares* fatiadores (conhecidos como *slicers*) gratuitos e de código aberto para modificação, como por exemplo o Slic3r, que facilitam gerar o códigos de fabricação de peças.

A característica não desejável mais comumente vista na utilização dessa técnica é que as camadas de material são visíveis. Entretanto, passos adicionais de acabamento como lixamento e pintura da peça melhoram consideravelmente o resultado visual obtido.

Figura 7 - Diferentes alturas de camadas de impressão



Fonte: 3DLAB, 2021

4.3 IMPRESSÃO 3D DE ALIMENTOS

Desde 2011 a Cornell University começou a construir impressoras 3D de alimentos (SCULPTEO, 2021). Essa aplicação tem ganho espaço nos últimos tempos, sendo que há até projetos desenvolvidos pela NASA para impressão 3D de pizzas para tornar a alimentação dos astronautas mais diversificada (V., 2019). Em Londres já existe um restaurante chamado Food Ink especializado na impressão de refeições (FOOD INK, 2017).

Figura 8 - Alimento impresso em 3D



Fonte: FOOD INK, 2017

A utilização de refeições digitais não deve sanar todas as necessidades nutricionais de uma pessoa, mas pode ajudar a complementar a alimentação (LEANDRO, 2017). Ainda há incertezas sobre o quanto o mercado está pronto para absorver uma mudança tão grande quanto a implementação de refeições completas impressas em 3D, mas o uso de géis à base de goma xantana podem ajudar na personalização de características nutricionais (GARCÍA-SERGOVIA, GARCÍA-ALCARAZ, *et al.*, 2020). Já há pesquisas mostrando ser possível imprimir utilizando compostos de grão de trigo inteiro associado ao amido do trigo, inclusive apresentando maior facilidade de impressão do que massas à base de farinha de trigo comum devido à diferença entre as estruturas proteicas (ZHENG, LIU, *et al.*, 2021).

5 MÉTODOS

5.1 ESPECIFICIDADES DO NOVO MATERIAL

O desenvolvimento de impressoras alimentícias envolve cuidados extra que não são necessários quando se lida com materiais para outros fins, já que o risco de contaminação alimentar é bastante grave. Com isso em mente, torna-se importante estudar normas relativas a estes aspectos, como por exemplo a ISO 22000 (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2015), que traz requisitos para a segurança da produção alimentícia.

Além da adaptação para adequação às normas, também é necessário executar alterações devido às características do novo material adotado. Conforme dito anteriormente, com o uso de chocolate ao invés de polímeros o uso de uma mesa aquecida torna-se problemático, já que ela desmancharia o trabalho já feito, sendo necessário o desenvolvimento de uma mesa fria para este propósito. Um outro problema decorrente do novo material é a impossibilidade de trabalhar com filamentos sólidos, já que o chocolate não é muito flexível e facilmente se quebraria na movimentação normal do processo de impressão. Assim, é necessário desenvolver uma maneira de transportar o material na sua forma líquida até o bico de injeção, para que sua solidificação seja realizada sobre a mesa fria. A proposta inicialmente sugerida é o uso de um cadinho em alumínio para o aquecimento do material e uma válvula para sua dosagem. O uso do calor expulso pela mesa fria para auxiliar na fusão do material não será considerado neste trabalho por simplicidade. É necessário também considerar um modo para que o chocolate não se solidifique nas tubulações quando o aparelho for desligado, ou se solidifique mas possa retornar à forma líquida quando for ligado novamente.

A perda de calor do chocolate para a mesa pode começar a ser insuficiente a partir de certa altura, já que a queda de temperatura é menor quão mais distante da base fria se está. Assim, podem ser necessários métodos auxiliares de remoção de calor do material. Utilizar um ambiente fechado com um sistema de refrigeração pode auxiliar no problema, sendo a principal abordagem considerada caso o ambiente aberto não se mostre suficiente.

A condição ótima de processamento de chocolates ao leite é à temperatura de 34°C, em tanque com agitação constante (LANNES, 1997). Portanto, essa será a

condição que se buscará alcançar no desenvolvimento. Garantir que a tubulação de transporte do material alcance esta condição será o maior desafio, já que naturalmente se tem troca térmica considerável em tubulações expostas ao ambiente. Como se deseja poder ligar e desligar a impressora normalmente (considerando demanda bastante inferior à carga máquina máxima suportada), este ponto mostra-se importante no desenvolvimento. Uma primeira proposta seria um cabeçote aquecido e pressurizado.

5.2 PROJETO DE BASE E ALTERAÇÕES PROPOSTAS

Com as propostas de modificações analisadas, elas serão executadas tomando por base o projeto *open source* Graber i3, que é uma versão adaptada da impressora Prusa i3 com menos peças em polímero. Isso agiliza a fabricação em larga escala das impressoras, já que as peças em polímero são fabricadas também utilizando manufatura aditiva, que é um processo mais lento que o torneamento ou fresamento, e, portanto, tende a ser o gargalo da fabricação.

Esta impressora utiliza a metodologia de FDM (*Fused Deposition Modeling*). Considerando que se deseja trabalhar com chocolate, este método é muito adequado, já que o chocolate é utilizado em sua forma líquida para a criação das novas peças. A lista de materiais necessários para a construção da impressora é apresentada na Tabela 1.

Foi adquirida uma fonte de 12 V e corrente máxima de 30 A para a alimentação do sistema elétrico do conjunto, conforme recomendado em fóruns do tema na internet (LIMA, 2015). Nos testes foi observado que essa fonte era, de fato, suficiente para a demanda dos componentes.

O controle da impressora é feito com um Arduino MEGA conectado a uma placa controladora RAMPS 1.4, vendida comercialmente. Este modo de controle será mantido, já que é barato, acessível, confiável, facilmente configurado, é compatível com os softwares de impressão comumente utilizados e tem as entradas inicialmente previstas como necessárias para o desenvolvimento do projeto.

Tabela 1 - Lista de Materiais para a construção da Prusa i3

Quantidade	Item
1	<i>Frame</i> cortado a laser
5	Motores de passo NEMA 17
1	Placa controladora RAMPS 1.4 + Arduino Mega 2560
4	Drivers de motor de passo com dissipadores
1	Fonte AC 12V 30A
2	Correias e polias GT2
5	Rolamentos 608zz
10	Rolamentos lineares LM8UU
1	<i>Hot end</i> do extrusor
1	<i>Cold end</i> do extrusor
3	Sensores de fim de curso com cabos
5	Molas para o extrusor e para a mesa quente
2	5mm x 11,5" parafusos sem-fim com porcas
6	Guias lineares de 8mm [2x 12,5" (Z), 2x 13,5" (Y), 2x 15,75" (X)]
1	Mesa quente MK2
1	Vidro para a mesa quente
	Parafusos e porcas – M4 (11x 12mm, 41x 20mm, 2x 25 mm, 4x 30mm, 8x 45 mm), M3 (20x 10mm, 4x 25mm, 4x 20mm)

Fonte: Autoria própria.

Os motores de passo utilizados são do modelo NEMA 17, utilizados largamente em impressoras 3D. Estes motores têm originalmente torque nominal de 0,42 N.m, corrente 1,7 A e resolução (passo) de 1,8°, mas devido às possibilidades de configuração da placa controladora, é possível configurar micropassos de até um trinta e dois avos (1/32) da resolução, chegando a 0,05625°. Apesar de haver uma redução do torque, ao configurar uma melhor resolução, os motores foram capazes de movimentar o conjunto sem maiores problemas, mesmo na resolução mais refinada. Este motor tem precisão angular de $\pm 5\%$ no passo completo, não tendo previsão de distorções de precisão, associadas ao uso de micropassos. Os *drivers* de controle dos motores são do modelo DRV8825, também utilizados amplamente neste tipo de equipamento. O *firmware* escolhido para programação da impressora foi o

Marlin 1.1.x, devido à sua fácil configuração e programação no Arduino IDE. Além disso, ele já é compatível nativamente com os *drivers* da Graber i3, fazendo com que as adaptações sejam de simples execução. Também são facilitadas as mudanças de *software* necessárias para a alteração da mesa quente para a mesa fria, já que o controle de temperatura é realizado pelo *firmware*.

O método de resfriamento que se pretende utilizar é por pastilhas de Peltier. As principais vantagens encontradas no seu uso são o tamanho compacto, a troca térmica esperada ser dentro do necessário para a execução do projeto, a independência de sistemas de resfriamento a gás (o que simplifica o projeto consideravelmente) e a facilidade de instalação de maneira análoga à mesa fria, sendo necessário apenas realizar a regulação de tensão aplicada à pastilha. Sua utilização é adequada tanto à adoção apenas da mesa fria quanto ao caso de controle de temperatura do ambiente de impressão.

5.3 VERIFICAÇÃO DE CONFORMIDADE DAS PEÇAS

Para a verificação de conformidade das peças impressas no protótipo, serão necessárias peças de controle, impressas em polímero na impressora base montada pela autora. Elas serão medidas e terão suas dimensões registradas para que se possa realizar a comparação entre resultados esperados e obtidos. Elas também serão guardadas para comparação visual ao fim dos testes.

Espera-se que com o projeto desenvolvido se tenha uma impressora 3D capaz de criar objetos com similaridade geométrica aos modelos propostos. Para tanto, serão utilizados três modelos de sólidos geométricos básicos (cone, paralelepípedo e pirâmide), todos eles com uma altura de 20 milímetros. Será realizada a impressão destes modelos na impressora 3D convencional de base, utilizando filamento polimérico e preenchimento de 40%, e no protótipo desenvolvido, inicialmente também com preenchimento 40%. Então, serão realizadas medições comparativas entre os sólidos análogos obtidos, assim como a inspeção visual das peças impressas pela nova máquina, permitindo avaliar a qualidade de impressão obtida. Para a avaliação estética também foram selecionados dois objetos complexos: um urso sentado no estilo “*low polygon*”, apresentado na Figura 9 e um gato deitado, mostrado na Figura 10, ambos obtidos na plataforma online *Thingiverse*. Optou-se por estes dois modelos para possibilitar tanto a avaliação do comportamento da

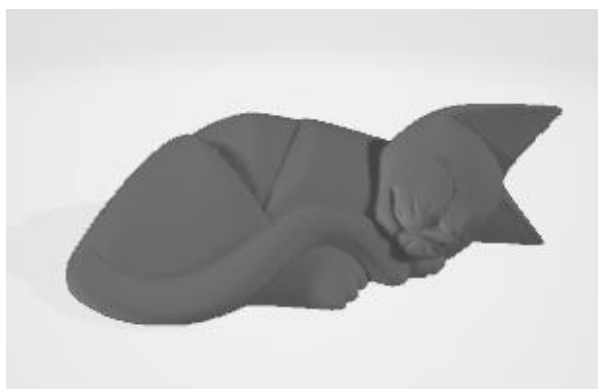
impressão em formatos com menos curvas (no caso do urso) quanto em formatos mais orgânicos (como o do gato).

Figura 9 - Modelo de urso poligonal



Fonte: Autoria própria.

Figura 10 - Modelo orgânico de gato



Fonte: Autoria própria.

Os modelos de sólidos foram escolhidos por serem de fácil inspeção e trazerem algumas características relevantes para a avaliação dos resultados: com o cilindro, é possível analisar o erro de circularidade e a qualidade de empilhamento de camadas com este processo; com o paralelepípedo, avalia-se os ângulos de canto obtidos com esse tipo de impressão; e com a pirâmide, a construção de camadas não alinhadas verticalmente. Com estas situações se obtém boa parte dos sólidos que se espera imprimir. Neste projeto ainda não será abordado o uso de material de suporte, sendo esta uma discussão posterior.

6 DESENVOLVIMENTO

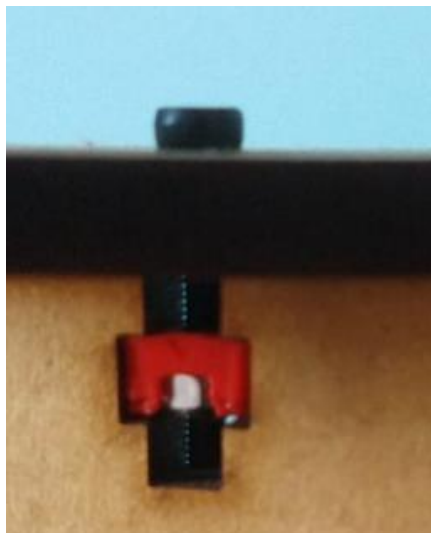
Nesta seção será apresentado todo o desenvolvimento realizado no projeto. As seções agrupam os grandes grupos de problemas a se atacar durante o projeto.

6.1 CONSTRUÇÃO DO MODELO DE BASE DA IMPRESSORA

Como dito na seção 5.2, o modelo de base escolhido para o projeto e para realizar a impressão das peças de referência foi o Graber i3. Como as mudanças propostas se concentram na mesa fria e na extrusão de chocolate, foi viável reaproveitar grande parte do projeto.

Como o *frame* não entra em contato direto com o chocolate em nenhum momento, foi decidido adquiri-lo no seu modelo padrão, cortado a laser em madeira. Havia também a opção de obter o *frame* em acrílico, mas o seu custo seria 50% maior em relação ao executado sem que trouxesse grandes vantagens ao projeto. O projeto original utiliza o padrão imperial de parafusos e possui diversos pontos para encaixe de porca para a fixação de peças, conforme exemplificado na Figura 11. Para contornar eventuais dificuldades de aquisição de elementos de fixação, o vendedor do *frame* envia adaptadores dos encaixes do padrão da impressora para porcas de padrão métrico M4, como mostrado na Figura 12, permitindo a montagem com parafusos facilmente encontrados em qualquer parte do Brasil e resultando nas quantidades de parafusos apresentadas na Tabela 1.

Figura 11 - *Frame* com pontos de fixação para porcas do padrão imperial



Fonte: Autoria própria.

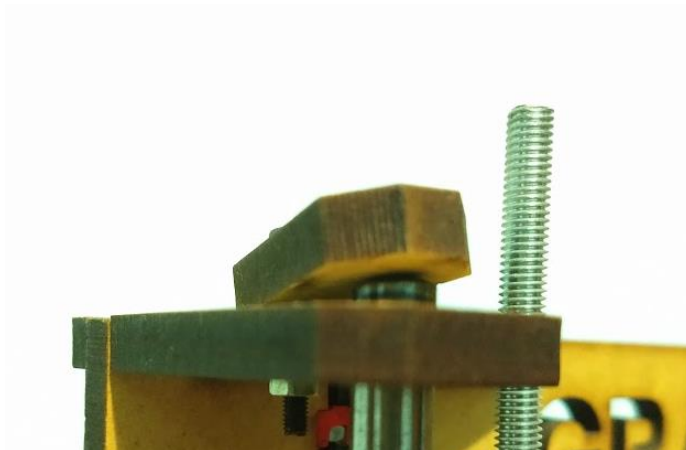
Figura 12 - Adaptador de porca do padrão imperial para o padrão métrico



Fonte: Autoria própria.

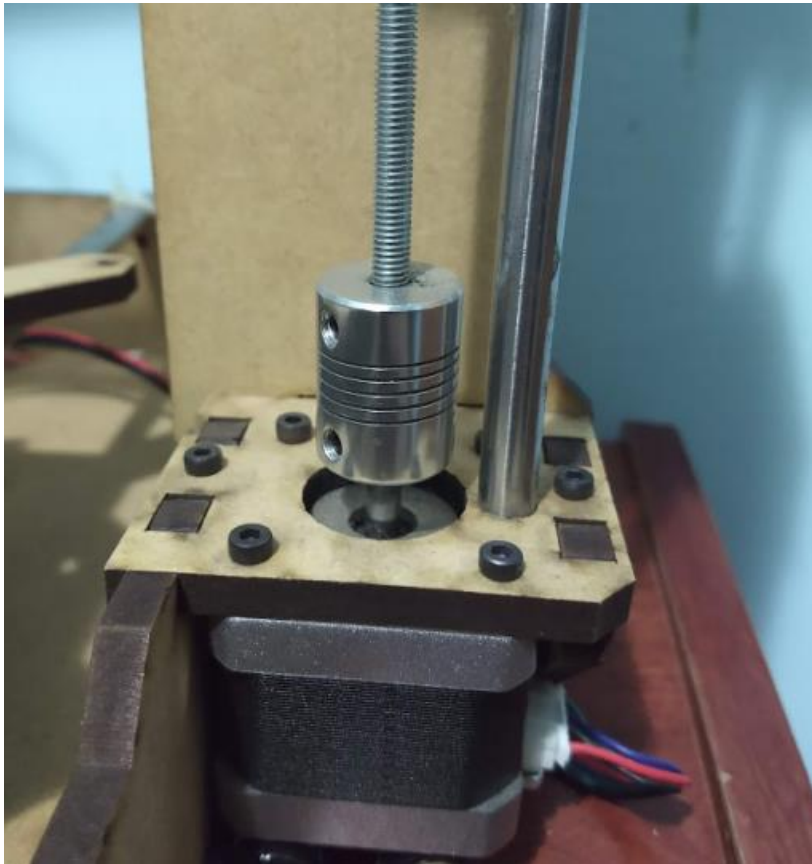
Com o *frame* montado, foi iniciada a etapa de montagem das guias, sem-fins e motores. As guias foram compradas já nas dimensões corretas para evitar a necessidade de retrabalho. No entanto, na sua chegada foi observada uma incompatibilidade entre o tamanho efetivo e o requisitado, fazendo com que as peças de apoio das extremidades das guias precisassem ser montadas de maneira inadequada como visto na Figura 13. Como esta forma de montagem não prejudicou o funcionamento efetivo do conjunto, manteve-se estas peças conforme recebido. Para os sem-fins, foi comprada uma barra roscada de 1 metro de comprimento no padrão de rosca M5. Ela foi cortada em duas partes, que foram acopladas aos motores de movimentação vertical, e suas fixações realizadas com um acoplamento flexível comercial, como visto na Figura 14.

Figura 13 - Guia com comprimento incorreto



Fonte: Autoria própria.

Figura 14 - Acoplamento entre barra roscada e motor de passo da impressora



Fonte: Autoria própria.

Como foi utilizado um motor de passo de $1,8^\circ$, implicando 200 passos por volta do motor (PVM) e micropasso (CMP) do *driver* de $1/32$ passo, com correias GT2 de passo (PC) 2 mm e polias de 20 dentes (DP), pela Equação 1, tem-se uma resolução (N) de 160 passos por mm na movimentação por correia. De forma análoga, pela Equação 2, como foi usada uma barra roscada de passo (PF) 0,8mm/volta (do padrão M5), tem-se uma resolução (N) de 8000 passos/mm para esse tipo de movimentação.

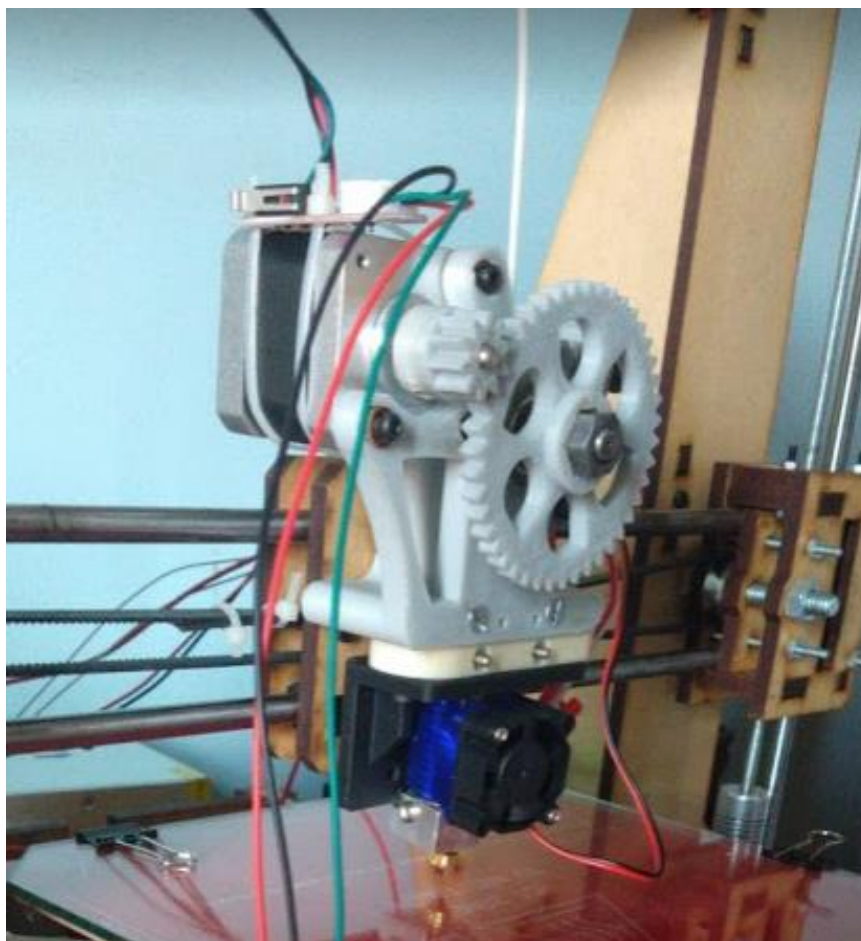
$$N = \frac{CMP * PVM}{PC * DP} \quad (1)$$

$$N = \frac{CMP * PVM}{PF} \quad (2)$$

Para reduzir os problemas de incompatibilidade dos componentes elétricos, foi comprado um *kit* composto por um Arduino Mega 2560, uma placa RAMPS 1.4, 5 *drivers* de motor de passo modelo 8825 (já com seus dissipadores de calor), uma tela de LCD com controle modelo 12864, 5 sensores de fim de curso e uma mesa quente

modelo MK2B. Após a chegada dos componentes, foi observado que os cabos para ligação da placa RAMPS à fonte de energia e à mesa não eram inclusos no conjunto, devendo ser adquiridos separadamente. Estes cabos foram comprados garantindo que suportassem a corrente máxima prevista de 11 A (JOY - IT, 2018), já que é o componente que concentra a potência recebida da fonte.

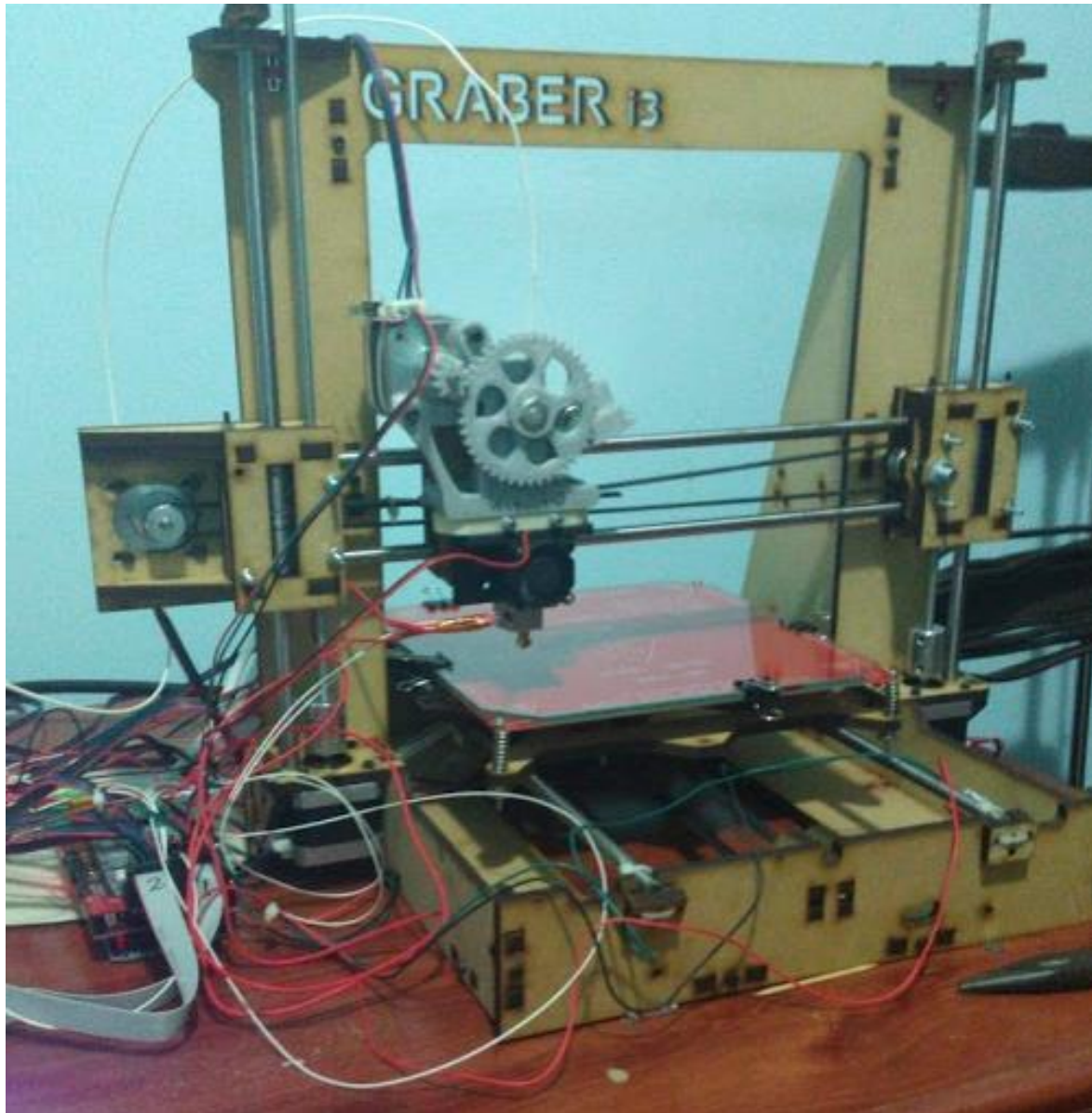
Figura 15 - Mecanismo de controle de filamento original



Fonte: Autoria própria.

O conjunto que realiza a movimentação do filamento foi montado conforme visto na Figura 15 e na Figura 16. No entanto, durante os testes foi observado que esta montagem causava esmagamento do filamento, o que impossibilitava a movimentação correta do material e, por consequência, a obtenção de peças finais conforme desejado.

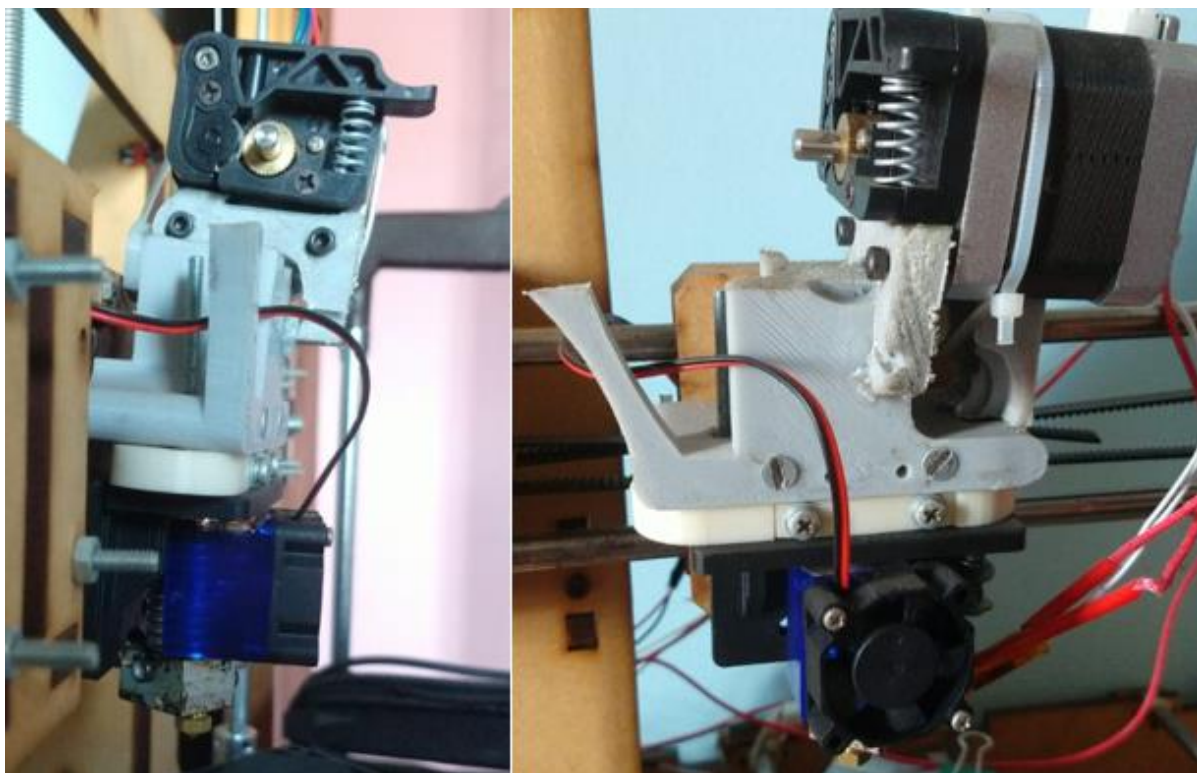
Figura 16 - Impressora montada para impressão de polímeros



Fonte: Autoria própria.

Dado o problema de movimentação do filamento e a dependência da peça de suporte para a fixação do *hot end* ao carro de movimentação, foi necessário adquirir um novo sistema de tração do material. O ponto de fixação do motor em relação à base também precisou ser alterado na nova configuração, gerando o resultado visto na Figura 17. Com esta montagem, o problema de esmagamento do material foi solucionado e a impressora funcionou conforme esperado.

Figura 17 - Configuração alterada da extrusora



Fonte: Autoria própria.

6.2 EXECUÇÃO DAS PEÇAS DE REFERÊNCIA

Conforme descrito na seção 5.3, deveriam ser impressas peças em polímero para comparação dos resultados. Para uma menor variabilidade, a impressão das peças de controle foi executada na mesma impressora que seria adaptada para o chocolate. Desta maneira, reduz-se as fontes de variabilidade.

Foram impressas as peças propostas na seção 5.3, utilizando ABS branco, parede com espessura de três camadas e preenchimento do tipo honeycomb de 40%. O resultado é mostrado na Figura 18. Foram observados pequenos deslocamentos de camadas e empenamentos, comuns em impressoras 3D domésticas, mas ainda com uma boa fidelidade ao modelo digital.

Figura 18 - Peças impressas em ABS

Fonte: Autoria própria.

Na primeira versão da montagem os parafusos de fixação da correia da mesa não utilizavam contra porca. Após a realização de testes com a impressão de algumas peças, a vibração gerada pelo motor no movimento da mesa fez com que estes parafusos se soltassem, o que gerou o deslocamento de camadas. Os sinais iniciais deste problema já se apresentavam na Figura 18, sendo possível observar na figura do urso uma região de menor coesão com o restante da figura. Na Figura 19 vê-se o resultado final da peça quando a porca se soltou. O sistema foi capaz de completar a impressão, mas a geometria foi totalmente comprometida.

Figura 19 - Peça com deslocamento de camadas



Fonte: Autoria própria.

6.3 TIPO DE CHOCOLATE UTILIZADO PARA A IMPRESSÃO

É fácil observar que existem diversos tipos de chocolates no mercado: branco, ao leite, meio amargo, amargo e tipo cobertura são alguns dos mais comuns vistos. A seleção do tipo de chocolate deve levar em consideração aspectos como facilidade de trabalho, textura e sabor. Garantir pequena alteração destas características após o trabalho também é importante, já que ajudam a definir se o produto final é viável comercialmente ou não.

Aos 34°C o chocolate ainda não passou pela separação entre a manteiga de cacau e a massa de chocolate (LANNES, 1997). Normalmente os processos de moldagem do chocolate líquido o aquecem acima de 34°C, e por isso é necessário que ele passe pelo processo de temperagem (ou têmpera) do chocolate, baixando a temperatura durante agitação intensa para reunir os componentes. Concluiu-se que

este processo, por incluir a etapa de aquecimento e de resfriamento, seria inadequado para o projeto. Assim, foi escolhido o método de temperagem sem resfriamento, que consiste em aquecer o chocolate a uma temperatura entre 32°C e 34°C, evitando a separação da manteiga de cacau e, assim, mantendo as características desejáveis para o chocolate: aspecto brilhante, maior fragilidade e temperatura de fusão acima da temperatura ambiente.

Para avaliação das características sensoriais obtidas com esta hipótese, foi realizado um teste preliminar manualmente. Uma panela de alumínio foi colocada em um banho de gelo. Então derreteu-se o chocolate utilizando a técnica descrita e colocou-se em um saco culinário plástico. Foram dadas pequenas batidas no saco para remoção de eventuais bolhas de ar e abriu-se um pequeno orifício no saco com uma tesoura. Em seguida, manualmente, foram realizados movimentos aproximadamente ovais com o fio de chocolate derretido sobre a panela de alumínio. Tentou-se no processo manter o movimento uniforme e empilhar camadas do fio de chocolate. O resultado obtido pode ser visto na Figura 20.

Figura 20 - Teste manual de solidificação de chocolate em camadas



Fonte: Autoria própria.

Conforme pode-se observar, com um processo manual sem grande padronização já obteve-se uma peça razoavelmente uniforme de aproximadamente 15mm de altura. Uma amostra deste mesmo chocolate derretido foi resfriada por método convencional, apenas sendo levado à geladeira. Inicialmente, tanto o chocolate no banho de gelo quanto o resfriado em geladeira apresentaram características muito similares de textura e sabor. Portanto, inicialmente a técnica de

temperagem com aquecimento abaixo de 34°C se mostra eficiente para a finalidade deste trabalho e o uso da mesa fria para a solidificação de peças de até 20mm de altura tende a ser viável.

O próximo teste preliminar executado foi a utilização de um bico de impressora regular, obtido juntamente com o *hot end*, de 0,4mm de diâmetro. Neste teste o bico não foi aquecido. O chocolate foi derretido a 34°C, aferidos com o auxílio de um termômetro culinário. Para o teste, foi montado um conjunto simples para armazenamento temporário do chocolate, utilizando um pacote plástico preso ao bico. Não foram encontrados vazamentos no conjunto.

Figura 21 - Conjunto de teste para bico de impressão



Fonte: Autoria própria.

Inseriu-se o chocolate no conjunto, realizando a extrusão sobre superfície resfriada, assim como no primeiro teste preliminar. Neste caso foi observado entupimento do bico após poucos segundos do chocolate sendo extrudado. A hipótese considerada para justificar este ponto seria a de que o bico estava frio demais para o chocolate, que teria se solidificado no orifício estreito. Assim, a possibilidade de apenas pré-aquecer o chocolate e não aquecer o *hot end* da impressora é totalmente tirado de cogitação. Outra hipótese considerada era a de presença de grânulos que teriam causado o entupimento, mas como o chocolate estava homogêneo e com a textura dentro do normal, esta possibilidade perdeu força.

Figura 22 - Conjunto de teste com chocolate



Fonte: Autoria própria.

6.4 MESA RESFRIADA

A mesa fria é um ponto crucial para o projeto, já que uma mesa quente impossibilitaria o uso do chocolate para construção de um sólido. As principais características identificadas pela autora como necessárias para este subsistema são:

- a) capacidade de resfriamento uniforme na superfície:
 - é preciso garantir que todas as partes da superfície estão resfriadas igualmente para que o produto gerado seja uniforme.
- b) capacidade de resfriamento suficiente para a solidificação de uma camada de chocolate:
 - como é impressa uma camada por vez e, inicialmente, o único sistema para resfriamento do material é a mesa, é necessário que ela consiga retirar pelo menos o calor correspondente à solidificação de uma camada de material.
- c) baixa massa:
 - os motores de impressoras 3D não são muito robustos, e, portanto, é interessante que o sistema da mesa seja leve.
- d) ser compacto:
 - o sistema já ocupa um espaço considerável na casa de um consumidor, não sendo interessante aumentá-lo;

- um sistema de resfriamento compacto torna-se mais atraente para o consumidor final.
- e) fácil montagem:
- o conceito de impressoras 3D caseiras é de um sistema de montagem e utilização simples;
 - algo complexo pode demorar para ser montado, causar quebras de outras peças ou ter maiores chances de montagem incorreta. Deve-se buscar reduzir estes riscos.

Considerando estes requisitos, o sistema de resfriamento por pastilhas termelétricas, também conhecidas como pastilhas de Peltier, torna-se interessante. Seu uso mais conhecido é em bebedouros, mas ela apresenta todas as propriedades listadas acima, tendo um custo relativamente baixo (as pastilhas usadas nos testes custaram por volta de R\$25,00). Assim, o desenvolvimento foi iniciado com elas.

Conforme descrito na seção de métodos, tem-se a intenção de manter os drivers utilizados na impressora de base. Portanto, a intenção é que a mesa fria possa ser ligada da mesma maneira que se ligava a mesa quente. Com essa ligação, deve ser aferido se o frio gerado é suficiente para a solidificação do material. A primeira proposta é ter a impressora em ambiente aberto, contando com o frio gerado apenas pela mesa fria.

A mesa quente do projeto base exige uma corrente de 10A e tensão de 12V (ou seja, 120W) (USAINFO, 2021). Como a tensão máxima da pastilha de Peltier é de 15V (HB CORPORATION, 2019), não há risco de queima do componente desde que ele seja ligado corretamente.

Considerou-se para o cálculo da carga térmica que estamos trabalhando em um sistema fechado, trabalhando com a massa de 90g de chocolate, que seria o tamanho de uma barra de chocolate comumente encontrada em supermercados. Sabe-se que, para a configuração adotada, esta hipótese é extremamente simplista; no entanto, o cálculo da mesa fria como um sistema aberto, que seria o modelo mais próximo da realidade, seria extremamente complexo. Assim, a adoção de uma estimativa baseada numa simplificação se mostra mais viável para esta aplicação. Caso seja necessário realizar impressões maiores, as peças podem ser subdivididas e facilmente soldadas umas às outras.

Adotou-se o calor específico do chocolate de acordo com a Tabela 2 para os cálculos. Deseja-se que a peça chegue a uma temperatura de geladeira (cerca de 6°C), já que é a condição onde, conhecidamente, a solidificação do chocolate ocorre de forma correta, como foi comprovado nos testes preliminares executados com o chocolate demonstrados na seção 6.3.

A densidade do chocolate ao leite é cerca de 1300kg/m³ (BANKS, 2012). Com isso, a carga prevista de 90g ocupa um volume de 69,3 mm³. Como o orifício de saída do chocolate é de 0,4mm, aproximadamente circular, tem-se a área de, aproximadamente, 0,1257mm². Considerando uma velocidade de impressão similar às que são utilizadas em polímeros, de 150mm/s (GTMAX3D, 2021), tem-se uma taxa de deposição de 18,85mm³/s. Assim, a carga prevista inicialmente seria impressa em 5,7 horas. Considerando a temperatura de geladeira como 6°C (FREIRE JUNIOR, 2019), e a temperatura de solidificação do chocolate como sendo 30°C de acordo com a Tabela 2, vamos separar o resfriamento do chocolate em 3 etapas: queda de temperatura de 34°C (temperatura de trabalho) para 30°C; Congelamento do chocolate; e resfriamento do chocolate já congelado. Sendo C_s o calor específico abaixo do congelamento, C_L o calor específico acima do congelamento e L o calor latente do chocolate, o calor total trocado é a soma de Q₁, Q₂ e Q₃, descritos respectivamente nas equações 3, 4 e 5. Desta forma, o calor total removido no processo é de 15,7 kcal. Considerando o tempo de impressão proposto, espera-se uma remoção de cerca de 2,76 kcal/hora, que equivale a 3,2 W em conversão direta.

Tabela 2 - Características térmicas de alimentos

Produto	Temperatura Início de Congelamento °C	Água %	Calor Específico kcal/kg. °C		Calor latente kcal/kg
			Acima do congelamento	Abaixo do congelamento	
Diversos					
Açúcar	-	36	0.49	0.31	29
Cerveja	-2.2	92	1.0	-	-
Chocolate, massa	35-30	55	0.55	0.30	22
Fermento	-	71	0.77	0.41	57
Margarina	-	16	0.32	0.25	13
Mel	-	18	0.35	0.26	15
Óleo vegetal	-	-	0.32	0.25	13
Suco laranja	-	89	0.91	0.47	72

Fonte: ASHRAE (1982)

$$Q_1 = m * C_L * \Delta T_1 = 0,09 * 0,55 * (30 - 34) = -0,198 \text{ kcal} \quad (3)$$

$$Q_2 = m * L = 0,09 * (-22) = -1,980 \text{ kcal} \quad (4)$$

$$Q_3 = m * C_s * \Delta T_2 = 0,09 * 0,30 * (6 - 30) = -2,826 \text{ kcal} \quad (5)$$

Como será considerado um tempo de resfriamento da mesa e ela será composta pelo elemento de resfriamento e uma camada fina de material com boa condutividade térmica (alumínio), o efeito da parede será desconsiderado. Assim, o processo deve retirar 9,233 kcal/h do chocolate, ou seja, 10,738 W.

Para montar a mesa fria, não será necessário regular a tensão fornecida ao módulo de Peltier. Conforme já citado anteriormente, a tensão fornecida à mesa quente na impressora 3D regular é de 12 V. Como o módulo suporta até 15 V, a tensão da fonte não será suficiente para queimá-lo.

A corrente consumida pela pastilha é diretamente proporcional à tensão aplicada nela. Assim sendo, com a informação do fabricante de que ela consome 6 A em 15 V, obtém-se que a corrente consumida no caso da aplicação é de 4,8 A. Observando as curvas disponibilizadas pelo fabricante e considerando o lado quente a 25 °C, o delta de temperatura entre os dois lados chega a 60°C e o calor retirado chega a 50 W. Considerando a diferença de escala, mesmo que o módulo apresente um rendimento abaixo de 30% ainda é suficiente para o resfriamento necessário desconsiderando as perdas para o ambiente.

Para a montagem da mesa fria, foi adquirida uma chapa de alumínio de 1mm com um furo quadrado no centro para fixação da pastilha Peltier, conforme apresentado na Figura 23. Aplicou-se uma camada de pasta térmica ao lado quente da pastilha de Peltier e foi fixado um dissipador de calor a ele, como visto na Figura 24. Sobre o dissipador de calor foi acoplado um ventilador de 12 V, normalmente utilizado em computadores. As duas peças não foram montadas de maneira concêntrica para otimizar a circulação do ar, considerando a diferença de escala entre elas. A montagem final é apresentada na Figura 25. Do lado frio, ao redor do componente eletrônico, foi adicionada uma camada de papelão para atuar como isolante térmico, ilustrado na Figura 26. Adicionou-se pasta térmica também ao lado frio da pastilha e sobre ela foi posicionada uma placa de aço inox quadrada, com lado

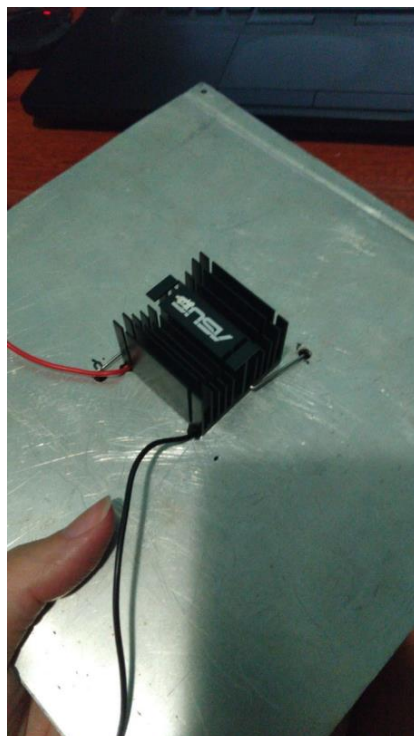
medindo 200mm e espessura 0,4mm. A fixação foi feita usando presilhas de pressão. A montagem final do lado frio é apresentada na Figura 27.

Figura 23 - Chapa de alumínio estrutural



Fonte: Autoria própria.

Figura 24 - Placa estrutural com dissipador fixado



Fonte: Autoria própria.

Figura 25 - Montagem final do conjunto dissipador de calor



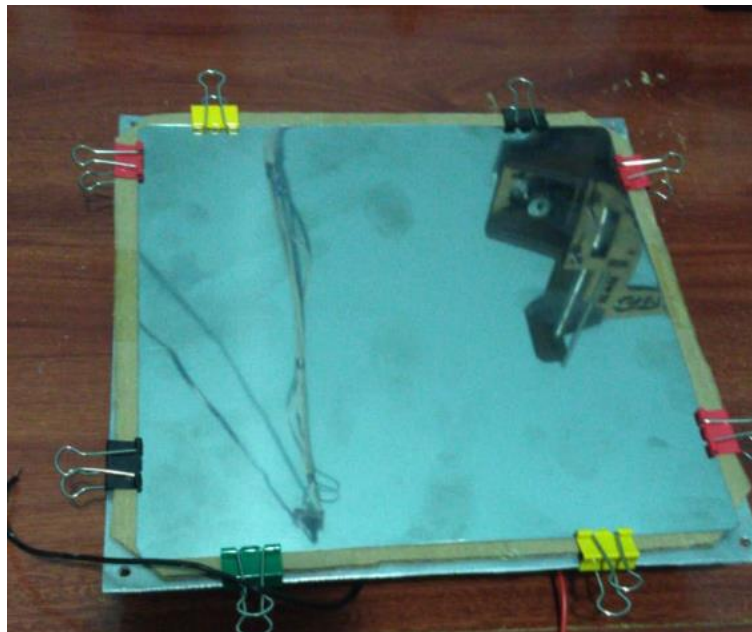
Fonte: Autoria própria.

Figura 26 - Camada de isolante térmico na montagem



Fonte: Autoria própria.

Figura 27 – Montagem de chapa de aço inox para impressão



Fonte: Autoria própria.

Com a montagem executada a mesa foi ligada. Ela não apresentou queima do componente eletrônico ou superaquecimento, conforme esperado. Os resultados dos testes realizados com esta configuração serão apresentados na seção 7.

7 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A impressão das peças em polímero ABS foi bastante fiel ao que foi proposto no modelo digital, mas houve empenamento em algumas extremidades de peças, como pode ser observado na Figura 18. Este é um sério problema para peças comerciais, já que pode afetar diretamente tanto a função quanto a estética delas. Impressoras domésticas apresentam este problema com frequência, e a utilização de impressoras fechadas comprovadamente reduz a ocorrência desse comportamento (MOKKA 3D, 2020).

Com exceção de pequenos deslocamentos de camada, as peças não geométricas (urso e gato, na Figura 18) apresentaram uma boa correspondência estética com os seus modelos digitais (Figura 9 e Figura 10, respectivamente), podendo ser usadas para fins decorativos por clientes com baixo nível de exigência quanto a rugosidade. A cor do material se manteve a mesma após a impressão, não tendo sido necessário realizar pós-tratamentos para tal resultado. Não foram realizados testes com peças que tivessem solicitação mecânica, já que a proposta inicial do projeto abrange mais diretamente a finalidade de decoração.

Não houve tempo hábil para a execução do projeto completo. Ele se mostrou mais complexo do que esperado inicialmente, sendo que não foi possível explorar o problema da movimentação do chocolate até o bico de extrusão. Com o advento da pandemia de Covid-19, a distribuição de tempo entre as tarefas foi dificultada, o que também atrapalhou o desenvolvimento proposto.

Entretanto, como visto na seção 6.4, foi possível executar um protótipo de mesa resfriada para o projeto. Para os testes com chocolate ela foi testada sendo conectada diretamente à fonte de 12V. Meia barra de chocolate da marca Hershey's do tipo meio amargo foi derretida lentamente em forno de micro-ondas, com o cuidado de evitar o superaquecimento do chocolate. Então, com o auxílio de uma colher, foi depositada a primeira camada de chocolate sobre a placa, conforme visto na Figura 28. Nesta primeira camada foi observado que a solidificação ocorreu conforme esperado na região imediatamente acima da pastilha de Peltier, mas longe dela o material não se congelou (Figura 29). Como observado na Figura 30, foi possível obter camadas de cerca de 10 mm de altura nesta configuração, mesmo sem precisão alguma no controle de como as camadas foram geradas. A proposta de atingir 20mm de altura não pôde ser atingida com a configuração proposta, assim como as perdas para o

ambiente foram muito maiores do que foi considerado na seção 6.4 e a distribuição de calor muito menos eficiente.

Figura 28 - Primeira camada de chocolate no teste



Fonte: Autoria própria.

Figura 29 - Chocolate não solidificado



Fonte: Autoria própria.

Figura 30 - Altura de camada obtida



Fonte: Autoria própria.

8 CONCLUSÕES

O desenvolvimento do projeto mostrou-se muito complexo para a execução em apenas seis meses, que foi o tempo proposto. É necessário mais tempo dedicado para viabilizar a execução da proposta. Desta forma, os objetivos gerais propostos não puderam ser atingidos mas os objetivos específicos foram executados, já que foram estudados o modo de solidificação do chocolate e a proposta inicial de mesa resfriada.

O modelo base de impressora mostrou-se adequado às necessidades propostas, sendo capaz de produzir peças com uma qualidade estética bastante aceitável. Seu custo mostrou-se razoavelmente acessível, ficando abaixo dos R\$1500,00, mas sua montagem apresentou dificuldades inesperadas, como a variação de dimensão das guias e a inadequação do conjunto extrusor.

A mesa fria proposta não foi capaz de capturar calor o suficiente do material de impressão. A condução de calor através da placa de aço inox foi menor do que esperado no dimensionamento, não sendo capaz de realizar o congelamento do chocolate em regiões distantes do componente de resfriamento. Um melhor dimensionamento e desenvolvimento da mesa fria pode ser realizado em trabalhos futuros.

Não houve tempo suficiente para desenvolver uma proposta para a extrusão do chocolate, ficando também como sugestão para trabalhos futuros.

9 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Dados os resultados obtidos, observa-se a possibilidade de realizar trabalhos futuros com o objetivo de atingir o resultado final esperado:

- a) Avaliar formas de atingir maior número de camadas sem prejudicar as características da peça final;
- b) Estudar maneiras de melhorar o resfriamento de cada camada, facilitando a solidificação do material;
- c) Melhorar a distribuição do frio pela mesa como um todo;
- d) Desenvolver a extrusora de chocolate.

10 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

3DLAB. Resistência da peça na impressão 3D e altura da camada: entenda a relação. **3dlab**, 2021. Disponível em: <<https://3dlab.com.br/resistencia-da-peca-na-impressao-3d/>>. Acesso em: 8 Junho 2021.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS Designation: F2792 – 12a. **Additive 3d**, 2013. Disponível em: <<http://www.additive3d.com>>.

BANKS, H. **The Density of Chocolate**. H&D Fitzgerald Ltd. Density Metrologists. St. Asaph. 2012.

CHOC EDGE. 3D Chocolate Printing Guide. **Choc Edge**, 2021. Disponível em: <<http://chocedge.com/faq.html>>. Acesso em: 06 Junho 2021.

FOOD INK. Home. **Food Ink**, 2017. Disponível em: <<http://foodink.io/#eclectic>>. Acesso em: 6 Junho 2021.

FREIRE JUNIOR,. Conservação a frio. **Agência Embrapa de Informação Tecnológica**, 2019. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/tecnologia_de_alimentos/arvore/CO NT000fid5sgie02wyiv80z4s473caciza4.html>. Acesso em: 8 Junho 2021.

GARCÍA-SERGOVIA, P. et al. 3D printing of gels based on xanthan/konjac gums. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, n. 64, 2020.

GTMAX3D. IMPRESSORA 3D PRO - GTMAX3D CORE A2V2 + SOFTWARE SIMPLIFY3D + 1 KG DE FILAMENTO ABS. **GTMAX3D**, 2021. Disponível em: <<https://www.gtmax3d.com.br/impressora-3d-pro/gtmax3d-core-a2v2-simplify3d>>. Acesso em: 8 Junho 2021.

HB CORPORATION. **Thermoelectric Cooler TEC1-12706**. [S.l.]. 2019.

IMPRESORAS3D. Tipos de impressoras 3d. **Impresoras3D**, 2017. Disponível em: <<https://www.impresoras3d.com/pt/tipos-de-impressoras-3d/>>. Acesso em: 8 Junho 2021.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 2037**: Stainless Steel Food-Industry Tubes. [S.l.]: [s.n.], 1992.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 21469**: Safety of machinery — Lubricants with incidental product contact — Hygiene requirements. [S.l.]: [s.n.], 2009.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 22000**: Food safety management systems — Requirements for any organization in the food chain. [S.l.]: [s.n.], 2015.

JOY - IT. **Ramps 1.4 with Display & 5x A4988 Motordriver**. [S.l.]. 2018.

KRASSENSTEIN, B. New Airbus A350 XWB Aircraft Contains Over 1,000 3D Printed Parts. **https://3dprint.com/**, 2015. Disponível em: <<https://3dprint.com/63169/airbus-a350-xwb-3d-print/>>. Acesso em: 07 Junho 2021.

LANNES, S. C. D. S. **Estudo das propriedades físico-químicas e de textura de chocolate**. Universidade de São Paulo. São Paulo. 1997.

LEANDRO, S. M. **PROPOSTA DE UM MODELO PARA REFEIÇÕES DIGITAIS**. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 2017.

LIMA, W. Montar uma impressora 3D – Parte 1. **Print Green 3D**, 2015. Disponível em: <<https://blog.printgreen3d.com.br/index.php/2015/09/17/montar-uma-impressora-3d-parte-1/>>. Acesso em: 07 Junho 2021.

MISRA, R. Take a Look at the First Successfully Transplanted, 3D-Printed Skull. **Gizmodo**, 2014. Disponível em: <<https://gizmodo.com/take-a-look-at-the-first-successfully-transplanted-3d-1553869043>>. Acesso em: 07 Junho 2021.

MOKKA 3D. Como Evitar o Empenamento (Warping) no ABS. **Mokka 3D**, 2020. Disponível em: <<https://mokka3d.com.br/2021/01/13/como-evitar-o-empenamento-warping-no-abs/>>. Acesso em: 8 Junho 2021.

PÉREZ, B. et al. Impact of macronutrients printability and 3D-printer parameters on 3D-food printing: A review. **Elsevier**, 2019.

R7. Estudante faz casa impressa em 3D e representará Brasil na Rússia. **R7**, 2020. Disponível em: <<https://noticias.r7.com/tecnologia-e-ciencia/estudante-faz-casa-impressa-em-3d-e-representara-brasil-na-russia-03092020>>. Acesso em: 07 Junho 2021.

SCULPTEO. The History of 3D Printing: 3D Printing Technologies from the 80s to Today. **Sculpteo**, 2021. Disponível em: <<https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/basics-of-3d-printing/the-history-of-3d-printing/>>. Acesso em: 7 Junho 2021.

SETHI3D. Impressora Sethi3D AiP - 1.75mm com Simplify3D®. **Sethi3d**, 2017. Disponível em: <<https://www.sethi3d.com.br/impressora-sethi3d-aip-175mm-com-simplify3d>>. Acesso em: 8 Junho 2021.

SUN, J. et al. An Overview of 3D Printing Technologies for Food Fabrication. **Food Bioprocess Technol**, New York, 2015.

USAINFO. Mesa aquecida MK2B PCB 12V / 24V para Impressora 3D RepRap. **Usainfo Eletrônica & Robótica**, 2021. Disponível em: <<https://www.usinainfo.com.br/impressora-3d-e-cnc-arduino/mesa-aquecida-mk2b-pcb-12v-24v-para-impressora-3d-reprap-4611.html>>. Acesso em: 8 Junho 2021.

V., C. A guide to 3D Printed Food – revolution in the kitchen? **3D Natives**, 2019. Disponível em: <<https://www.3dnatives.com/en/3d-printing-food-a-new-revolution-in-cooking/#!>>. Acesso em: 6 Junho 2021.

WHITAKER, M. The history of 3D printing in healthcare. **The Bulletin**, 96, n. 7, 2014. 228-229. Disponível em: <<https://publishing.rcseng.ac.uk/doi/full/10.1308/147363514X13990346756481>>. Acesso em: 07 jun. 2021.

ZHENG, et al. 3D printing performance of gels from wheat starch, flour and whole meal. **Food Chemistry**, n. 356, 2021.

