

UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

VALDIOLENO PINTO DOS SANTOS

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D FDM

São Luís – Maranhão
2018

VALDIOLENO PINTO DOS SANTOS

ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D FDM

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da UFMA, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Doutor Angel Fernando Torrico Caceres

Co-orientador: Prof. Doutor Nilson Santos Costa

São Luís – Maranhão

2018

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

SANTOS, VALDIOLENO PINTO DOS.
ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D FDM /
VALDIOLENO PINTO DOS SANTOS. - 2018.
54 f.

Coorientador(a): NILSON SANTOS COSTA.
Orientador(a): ANGEL FERNANDO TORRICO CÁCERES.
Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica,
Universidade Federal do Maranhão, SÃO LUIS, 2018.

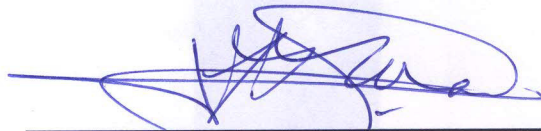
1. IMPRESSORA 3D. 2. MANUFATURA ADITIVA. 3.
PROTOTIPAGEM. I. COSTA, NILSON SANTOS. II. TORRICO
CÁCERES, ANGEL FERNANDO. III. Título.

Valdioleno Pinto dos Santos

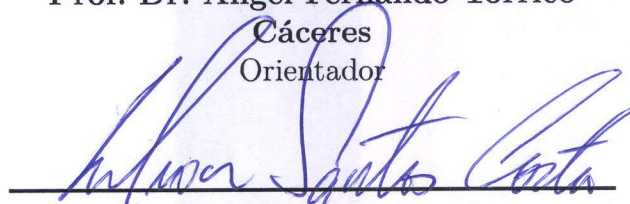
ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D FDM

Trabalho de conclusão apresentado ao curso de Engenharia Elétrica da UFMA, como requisito parcial para a obtenção do grau de bacharel em Engenharia Elétrica.

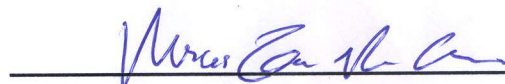
Trabalho aprovado. São Luís - MA, 19 de julho de 2018:



Prof. Dr. Angel Fernando Torrico
Cáceres
Orientador



Prof. Dr. Nilson Santos Costa
DEMAT - UFMA (Coorientador)



Prof. Msc. Marcos Tadeu rezende de
Araújo
DE.EE - UFMA



Prof. Msc. Hipólito Cavalcante
Correia
DE.EE - UFMA

São Luís - MA

2018

*Dedico à minha família, por todo o apoio e
confiança.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida e por me sustentar durante toda essa jornada. Agradeço em especial a minha mãe Maria Francinete por toda a paciência e dedicação até aqui, por ser essa mulher forte a qual eu admiro e me espelho. A minha irmã Tayna Suellen por toda a sua presteza e companheirismo e a minha família em geral, a minha namorada e futura esposa Cleudiane Santos. Aos meus amigos de curso, que trilharam junto a mim essa longa estrada, que essa seja apenas o começo das grandes realizações que estão por vir em nossas vidas. Agradeço imensamente ao Professor Prof Dr. Nilson Santos Costa por todo o apoio durante sua coordenação do projeto de inovação do edital startup FAPEMA. E ao meu orientador Prof Dr. Angel Torrico na qual foi muito solícito em ser meu orientador. De forma geral agradeço a todos que participaram da realização do meu sonho. Por ultimo, mas não menos importante agradeço a todo o corpo docente dessa Universidade, por todos os ensinamentos passados de forma tão competente e única.

RESUMO

Máquinas de prototipagem rápida são protagonista de quase todos os objetos físicos que temos ao nosso redor. Nos últimos anos essa tecnologia vem chegando com o custo cada vez menor ao consumidor final expandindo assim seu poder revolucionário. Este trabalho propõe o estudo e desenvolvimento de uma impressora 3D desktop completa baseada em projetos open source de impressoras 3D, com o foco na parte mecânica, elétrica/eletrônica da impressora. Este estudo foi feito através de artigos científicos, leitura de manuais (DataSheet) e ajuda de fóruns (especialmente da RepRap). A maioria dos componentes básicos da nossa impressora 3D pode ser encontrado nas próprias lojas de São Luís/MA.

Palavras-chave: Impressora 3D, Prototipagem, Manufatura Aditiva, RepRap, Eletrônica.

ABSTRACT

Rapid prototyping machines are protagonists of almost every physical object we have around us. In the last few years this technology has come with the ever-lower cost to the end consumer thus expanding its revolutionary power. This work proposes the study and development of a complete desktop 3D printer based on open source projects of 3D printers, focusing on the mechanical, electrical / electronic part of the printer. This study was done through scientific articles, reading of manuals (DataSheet) and help of forums (especially RepRap). Most of the basic components of our 3D printer can be found in the stores of São Luís / MA.

Keywords:3D Printer, Prototyping, Additive Manufacturing, RepRap, Electronics.

Lista de Figuras

2.1	Principais ramificações de FFF	14
2.2	Modelo CAD 3D convertido para representação STL.	15
2.3	Fatiamento do modelo em camadas.	16
2.4	Esquema geral do processo STL.	18
2.5	Esquema geral do processo IJP.	19
2.6	Esquema geral do processo FDM.	20
2.7	Esquema geral do processo LOM.	21
2.8	Esquema geral do processo SLS.	22
2.9	Esquema geral do processo 3DP.	23
2.10	Esquema geral do processo LENS.	24
2.11	RepRap Versao I – Darwin (esquerda) e Versao II – Mendel (direita)	25
3.1	Estrutura fechada (esquerda) e Estrutura aberta (direita)	29
3.2	Sistema de movimentação tipo cartesiana	31
3.3	Sistema de movimentação Corexy	32
3.4	Eletrônica Gen7	34
3.5	Eletrônica RAMPS 1.4	35
3.6	Fonte de Alimentação	36
4.1	Partes da Impressora	38
4.2	Início da montagem	39
4.3	Montagem dos motores na parte traseira	39
4.4	Posição da saída dos fios dos motores	40
4.5	Sistemas de polias	40

4.6	Diagrama de montagem das polias	41
4.7	Fixação da base da impressora	41
4.8	Fixação da parte frontal da impressora	42
4.9	Fixação da parte lateral da impressora	42
4.10	Fixação da estrutura interna da impressora	43
4.11	Plataforma da mesa aquecida	43
4.12	Suporte da mesa aquecida	43
4.13	Introdução da plataforma	44
4.14	Introdução dos motores	44
4.15	Detalhes da fixação do motores.	45
4.16	Detalhes da fixação das guias lineares.	45
4.17	Impressora parcialmente montada.	45
4.18	Impressora com o sistema corexy.	46
4.19	Diagrama do Sistema e correias	46
4.20	Visão superior da montagem do sistema de movimentação	47
4.21	Ramps 1.4	47
4.22	Esquemático da ligação	48
4.23	Esquemático da ligação	48
5.1	Software de fatiamento , Cura (Ultimaker, 2012)	49
5.2	Software Repetier host	50
5.3	Engrenagem usada sistema de posicionamento	51
5.4	Peça usada para esquadrias	51
5.5	Rosca utilizada para trasporte	52
5.6	Case utilizado para protótipo de eletrocardiograma	52
5.7	Engrenagem	53
5.8	Palmilha ortopédica	53

Lista de Tabelas

Sumário

Lista de Figuras	5
Lista de Tabelas	7
1 INTRODUÇÃO	10
1.1 Histórico	10
1.2 Justificativa	11
1.3 Objetivos	11
1.3.1 Gerais	11
1.3.2 Específicos	12
1.4 Problema	12
1.5 Estrutura do Trabalho	12
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1 Manufatura Aditiva	14
2.2 Tipos de Tecnologia de Manufatura Aditiva	16
2.2.1 Baseados em líquidos	17
2.2.2 Baseados em Sólidos	19
2.2.3 Baseados em Pó	21
2.3 Projeto RepRap	25
3 MÉTODOS E LEVANTAMENTO DESCRITIVO	27
3.1 Métodos	27
3.2 Levantamento Descritivo	28

	9
4 MONTAGEM	38
5 RESULTADOS	49
6 CONCLUSÕES	54

1 INTRODUÇÃO

1.1 Histórico

A elevada concorrência e a crescente complexidade dos produtos têm exigido das empresas alterações substanciais no processo de desenvolvimento de produtos (PDP), principalmente visando reduzir o tempo envolvido e aumentar a qualidade e a competitividade dos produtos. Essas alterações envolvem tanto aspectos de gestão desse processo como também o emprego de novas técnicas e ferramentas para projeto, análise, simulação e otimização de componentes de manufatura. O sucesso comercial de uma empresa está associado à sua habilidade em identificar as necessidades dos clientes e, rapidamente, desenvolver produtos que possam atendê-las.

Dentre todas as atividades envolvidas no PDP, a utilização de protótipo físico é essencial para melhorar a comunicação entre as equipes envolvidas no processo, de modo a reduzir a possibilidade de falhas e melhorar a qualidade do produto, atendendo aos requisitos dos usuários.

Este capítulo apresenta o princípio do processo de fabricação denominado manufatura aditiva (additive manufacturing – AM), também conhecido como impressão 3D (tridimensional), termo comumente empregado pela mídia em geral. São descritos alguns eventos importantes que antecederam o seu surgimento e algumas de suas possíveis aplicações.

As impressoras são uma realidade presente na maioria das residências e escritórios. Contudo, a impressão em três dimensões (3D) é um novo tipo que vem se popularizando, a partir da qual se torna possível a materialização física de uma peça modelada em computador, normalmente por aplicações CAD (Computer Aided Design). Em um passado recente, os processos de impressão tridimensional voltavam-se apenas para as chamadas prototipagens rápidas, ou seja, criação de projetos ou peças protótipo, as quais careciam de qualidade. Atualmente, torna-se possível a obtenção de produtos finais, os quais possuem bom acabamento e qualidade, permitindo sua utilização nas mais diversas etapas da fabricação (CARVALHO VOLPATO, 2007).

Entretanto, as máquinas comerciais de impressão 3D ainda são muito onerosas e de difícil acesso, especialmente no Brasil, ou seja, essa não é uma tecnologia largamente difundida, o que impede sua popularização. Visando solucionar os empecilhos supracitados, surgem as RepRaps, máquinas de impressão tridimensional de baixo custo, as quais podem ser montadas em casa ou compradas prontas através da Internet, explicitando a tendência atual de simplificação e democratização deste processo. Essas máquinas têm como princípio básico de funcionamento a tecnologia FDM (Fused Deposition Modeling), na qual derrete-se um filamento, geralmente de ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) ou PLA (ácido polilático), e realiza-se a extrusão do material fundido de forma controlada e sequencial, camada por camada até se obter a forma final desejada (CARVALHO VOLPATO, 2007; CAMPOS, 2011).

1.2 Justificativa

Sendo a manufatura aditiva uma tecnologia ainda de difícil ou quase inexistente acesso no estado do Maranhão, foi observada a necessidade de desenvolvimento de uma impressora 3D do tipo FDM. Tal tarefa tem o objetivo de tornar acessível esse tipo de inovação para o estado e evitar que ele fique de fora do que alguns especialistas consideram como a 4^a revolução industrial.

O estudo feito durante a realização deste trabalho contribuiu de forma significativa no aprofundamento dos conhecimentos sobre manufatura aditiva e projeto de produtos bem como o entendimento de microcontroladores Arduino, enfatizando a programação do firmware e entendimento da mecânica de máquinas operatrizes.

1.3 Objetivos

1.3.1 Gerais

Desenvolver uma impressora 3D FDM de baixo custo, robusta e confiável que servirá de ferramenta para criação de protótipos desenvolvidos no estado do Maranhão.

1.3.2 Específicos

- Estudar a técnica FDM e o funcionamento de impressoras 3D RepRap;
- Estudar o funcionamento e especificações dos tipos de cinemática e mecanismos que envolvem uma impressora 3D FDM;
- Estudar e melhorar o firmware para que o mesmo se ajuste ao mecanismo escolhido;
- Implementar os sistemas junto à impressora;
- Testar e analisar a construção e funcionamento do sistema;
- Estudar a viabilidade econômica do sistema implementado.

1.4 Problema

Apesar dos custos de aquisição de uma impressoras 3D desktop terem caído exponencialmente ao longo dos últimos anos o custo para o consumidor final ainda é alto se comparado a outros fatores como manutenção e treinamento. Observou-se que, quando se adquire uma impressora 3D profissional de grandes empresas internacionais existe uma certa deficiência no que diz respeito a peças de reposição e manutenção dessas máquinas, pois geralmente a assistência técnica fica na região sul e sudeste tornando assim o conserto oneroso.

Partindo dessa premissa, faz-se necessário o desenvolvimento de uma impressora 3D FDM de baixo custo mas ao mesmo tempo que seja robusta e de fácil manutenção que atenda um nicho de mercado voltado para pessoas que queiram adquirir essas máquinas. Buscou-se através desse estudo, a criação de uma máquina que faz uso de peças e componentes de fácil acesso no mercado local e nacional com tutoriais de montagem e possíveis erros comuns encontrados nessas máquinas.

1.5 Estrutura do Trabalho

Este trabalho é composto de seis capítulos. O primeiro é destinado à introdução; incluindo-se a justificativa deste trabalho, objetivos geral e específicos, além de uma

visão sobre o problema. O capítulo dois explica detalhadamente através de pesquisa bibliográfica os principais conceitos que envolvem a prototipagem, baseando-se em manufatura aditiva, impressoras 3D, materiais utilizados e conhecimentos sobre sistemas mecânicos aplicados nas principais impressoras do mercado. Os materiais empregados são descritos no capítulo três, cabendo o detalhamento da forma de uso e desenvolvimento destes ao longo da atividade. No quarto capítulo, está descrita a validação do projeto através da utilização da impressora 3D e fabricação de pequenos modelos tridimensionais com intuito de certificar a precisão do sistema. Para avaliação das peças são utilizadas figuras geométricas espaciais, com dimensões bem definidas, disponibilizadas para download em diversos endereços eletrônicos. Estas formas são utilizadas em fases de calibração da impressora por terem aspecto simples, sendo facilmente identificado seu tamanho, formato, peso e material consumido. No capítulo cinco, podem ser verificados os resultados obtidos. Por fim, no sexto capítulo, estão enunciadas as principais conclusões provenientes do desenvolvimento deste estudo.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Manufatura Aditiva

Os Métodos de prototipagem rápida podem ser dividida em duas categorias: Técnicas com remoção de material e com adição de material (FERREIRA, 2001). A primeira, consiste no desbaste de blocos de diversos materiais sendo assim chamada de prototipagem rápida subtrativa (SRP – Subtractive Rapid Prototyping), geralmente madeira ou espumas. O presente trabalho tem como foco do segundo caso, também conhecido como fabricação de sólidos de forma livre (FFF – Free Form Fabrication). A figura 2.1 ilustra as suas principais ramificações.

Figura 2.1: Principais ramificações de FFF



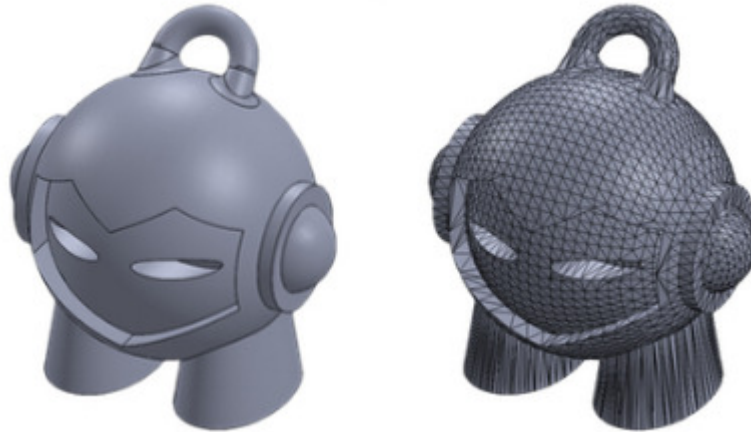
Fonte:<http://slideplayer.com.br/slide/1606823>

O que difere essas tecnologias é seu princípio físico de construção do protótipo, porém, quanto ao aspecto computacional, as etapas do processo de planejamento possuem pontos em comum. Este processo é dividido em três fases: pré-processamento, processamento do protótipo rápido e pós-processamento (WOZNY, 1997).

No pré-processamento, cria-se um modelo geométrico virtual da peça em software do tipo CAD 3D ou obtém-se seus dados digitalizados por varrimento com o auxílio de um scanner para esse fim. Em seguida, o arquivo gerado deve ser convertido para um

padrão aceito pela máquina de RP. Dentre os formatos de arquivos aceito pela máquina está o formato STL que é largamente utilizado, e consiste na representação tridimensional geométrica da superfície do objeto em malha triangular, sem detalhes de cores ou texturas comuns em sistemas CAD mas desnecessários em muitos casos na prototipagem (figura 2.2). Cada triângulo define um único vetor normal, acompanhado pelas coordenadas de um sistema cartesiano tridimensional.

Figura 2.2: Modelo CAD 3D convertido para representação STL.



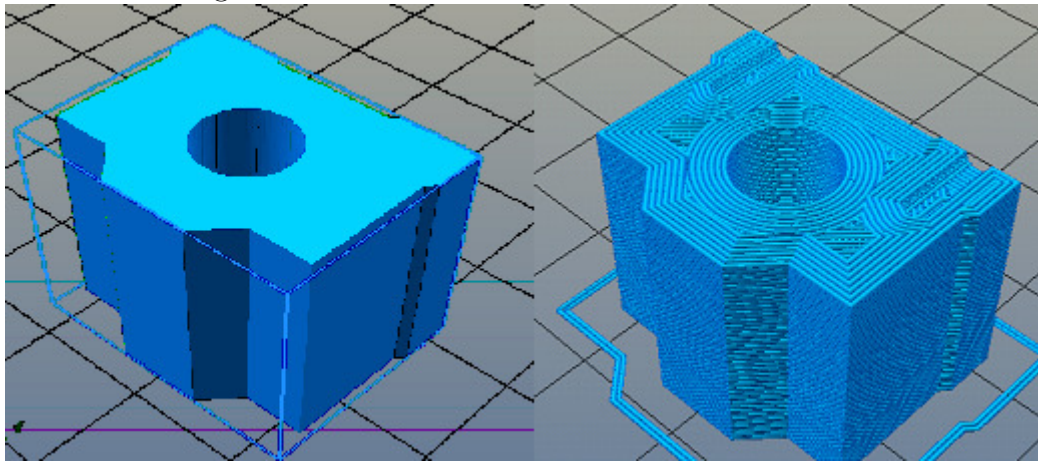
Fonte: <https://www.3dhubs.com/talk/thread/3d-printing-guide-solidworks-users-out>

Toda a preparação do modelo é feito a partir do processamento das informações contidas no arquivo STL, necessária às fases seguintes. Passando assim por uma série de ajustes referentes à validação e correção do modelo. Vale lembrar que a orientação do objeto, afeta diversas características do protótipo final, como o total de fatias geradas no slicing e a quantidade de suporte necessária (quando disponível na máquina). O suporte é necessário sempre que a ação da gravidade pode afetar alguma face do sólido, provocando a queda ou desestabilização da mesma, e é normalmente feito de um material diferente do que de fato construirá o protótipo. Após o processo, é possível removê-lo facilmente de maneira mecânica ou química.

Na etapa seguinte, o modelo sólido é fatiado em camadas que serão construídas de forma sequencial na máquina de RP (figura 2.3). As fatias representam um plano de seção transversal associado a uma espessura uniforme, e envolve definição de rotas para preenchimento de bordas, deposição de material e deposição de suporte (quando se aplica). Esta etapa possui várias configurações que variam com cada tecnologia, e é uma das partes mais importante pois determina a qualidade final e o tempo de construção da peça.

A próxima fase corresponde ao controle de geração do objeto e tem como

Figura 2.3: Fatiamento do modelo em camadas. .



Fonte:Própria do autor

função propiciar de fato a fabricação do modelo físico, através da emissão de sinais de controle que monitoram ou guiam o processo de adição.

Após ser removida da máquina, a peça pode requerer um trabalho de limpeza antes de estarem prontas para o uso, também podem ter suportes de material a serem removidos além de estar frágil, necessitando ainda de cuidados e habilidade manual

Apesar de estarem disponíveis para o uso, ainda pode ser necessário dar acabamento nas peças antes de estarem aceitáveis para o consumidor, por exemplo, aplicação de primer e pintura para melhorar o acabamento superficial. Estes processos de acabamento ou ajustes podem ser necessários quando houver encaixe entre duas peças ou mesmo em um conjunto mecânico ou eletrônico.

2.2 Tipos de Tecnologia de Manufatura Aditiva

Cada tecnologia possui suas próprias vantagens e desvantagens, cabendo a uma avaliação prévia determinar qual será a mais eficiente para o produto – a tabela 2.3 contém um resumo das características das tecnologias descritas. Alguns pontos a se considerar:

- Tempo.O termo prototipagem rápida é relativo, pois a sua celeridade é superior a outras técnicas convencionais de fabricação de protótipos, mas em tempo real a velocidade de produção é geralmente muito lenta. Dependendo do nível de precisão requerido e do tamanho do objeto, o processo pode levar de poucas horas a dias.
- Volume. Atualmente, a maioria dos equipamentos não pode fabricar itens com

volume superior a 500ml cúbicos.

- **Material.** A variedade de materiais disponíveis para a RP com adição de materiais é ainda muito limitado, como pode ser verificado na tabela 2.1.

Tecnologia	Materiais disponíveis
Estereolitografia (SLA)	Fotopolímero
Modelagem por fusão e deposição (FDM)	Termoplásticos e metais eutéticos
Sinterização seletiva a laser (SLS)	Termoplásticos e metais pulverizados
Manufatura de objetos em lâminas (LOM)	Papel
Fusão por feixe de elétrons (EBM)	Ligas de titânio

Tabela 2.1: Materiais utilizados pelas tecnologias de prototipagem rápida.

2.2.1 Baseados em líquidos

Neste grupo de processos, estão as tecnologias em que a matéria-prima utilizada para fabricar a peça encontra-se no estado líquido, antes de ser processada. Apesar de o material adicionado passar por um estado líquido ou pastoso em vários processos existentes, isto não classifica como baseado em líquido.

Stereolithography (STL) - Estereolitografia

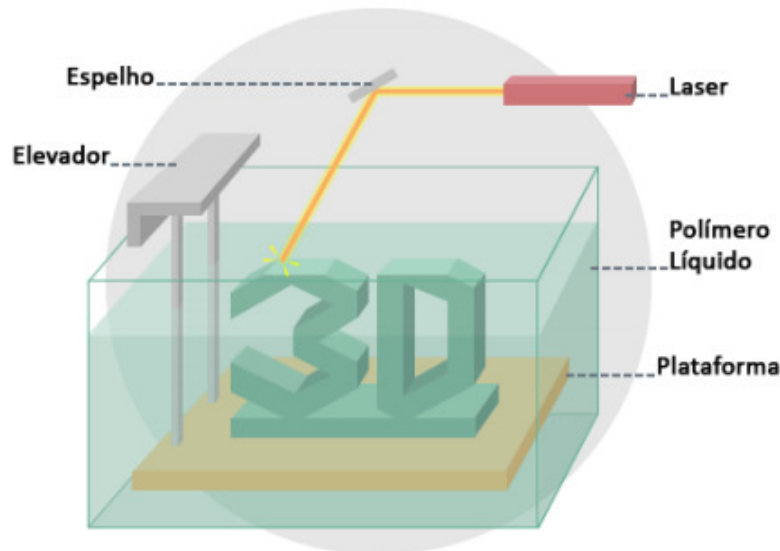
Neste sistema um feixe de laser passa sobre a superfície de um foto-polímero líquido que é sensível à luz ultravioleta e endurece quando exposto a ela, conforme Figura 2.4. O feixe de laser vai percorrendo um caminho determinado e endurecendo a polímero. Após terminar uma camada, uma plataforma que suporta a peça, desce alguns décimos de milímetro para que o líquido do tanque cubra toda superfície recém criada, então o processo recomeça.

Após a impressão da peça, algum trabalho ainda precisa ser feito, como retirada de suportes de material, e, dependendo do tipo de material, pode ser necessário completar sua cura em um forno com luz ultravioleta.

Existem uma impressora deste tipo que é mais rápida e precisa, construídas com o feixe de laser trabalhando de baixo para cima e a plataforma de sustentação vai subindo conforme as camadas vão sendo criadas. Múltiplos lasers podem trabalhar juntos

para traçar o formato da peça em alta resolução, até 10 micrometros, produzindo peças com as mais variadas propriedades para diversas aplicações.

Figura 2.4: Esquema geral do processo STL.



Fonte: (THRE3D, 2017)

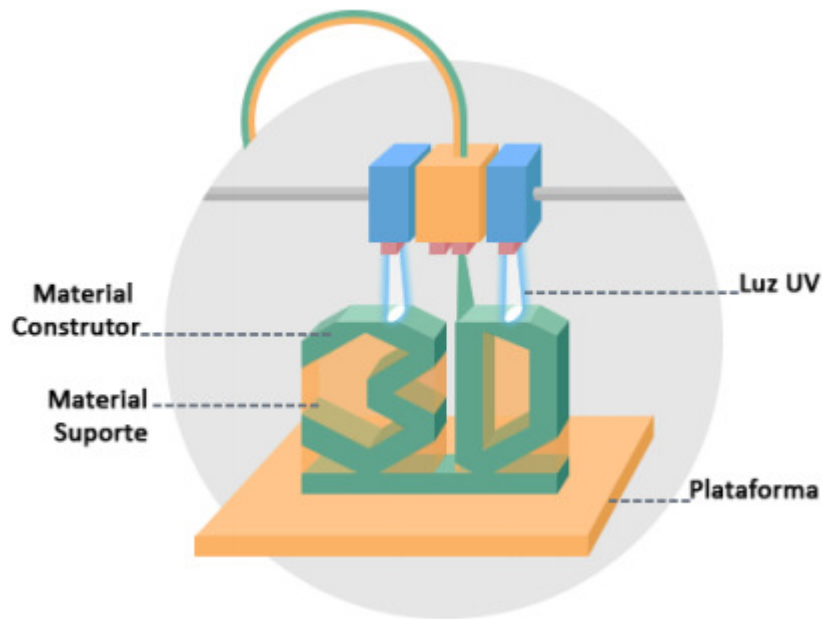
Contudo, esta tecnologia só pode imprimir com um único tipo de material por peça, e os polímeros fotossensíveis utilizados ainda não são tão resistentes quanto aqueles usados industrialmente na injeção de plásticos. Também os custos e a complexidade na manutenção deste tipo de máquina ainda são muito expressivos para usuários domésticos, fator que está abrindo oportunidades no desenvolvimento de um mercado de modelos de baixo custo que utilizam lasers UV (LIPSON e KURMAN, 2013).

Ink Jet Printing (IJP) - Impressão por Jato de Tinta

Uma das mais novas tecnologias de AM, desenvolvida em 2000 combina uma cabeça de impressão libera jatos de um polímero líquido em camadas muito finas catalisando-as com uma luz ultravioleta, Figura 2.5. Esta tecnologia proporciona rapidez e precisão, com camadas de 16 microns de espessura, sua precisão é ideal para aplicações industriais ou médicas, onde a alta resolução e velocidade podem ser importantes.

Este tipo de impressora pode também utilizar várias cabeças de impressão para misturar diferentes materiais em uma única peça, porém é limitada na variedade de materiais compatíveis. Pois eles precisam ser foto-polímeros sensíveis à luz ultravioleta, um tipo de plástico especializado e assim muito caro, no entanto relativamente frágil e

Figura 2.5: Esquema geral do processo IJP.



Fonte: (THRE3D, 2017)

limitador do leque de aplicações possíveis (LIPSON e KURMAN, 2013).

2.2.2 Baseados em Sólidos

Nos processos deste grupo, o material utilizado para a confecção das peças encontra-se no estado sólido, podendo estar na forma de filamento, lâmina, ou então não ter uma forma específica, pois será fundido(liquefeito) para ser depositado. Para estes últimos processos, a diferença é pequena em relação a alguns processos apresentados na seção anterior que utilizam material inicialmente já no estado líquido.

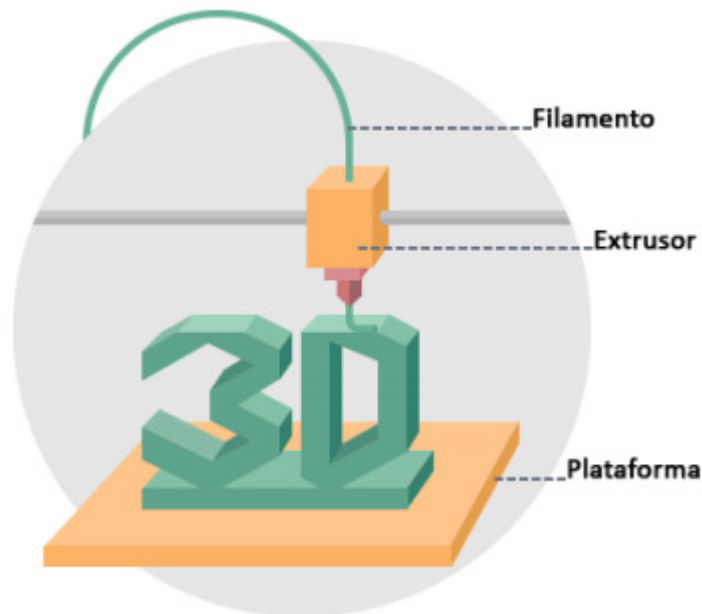
Fused Deposition Modeling (FDM) - Deposição por Material Fundido

Processo no qual um determinado material em estado plástico, é seletivamente depositado em uma plataforma através de um bico extrusor, conforme Figura 2.6. Para depositar a camada este bico vai depositando o material em todo o contorno da seção e, depois de terminado, passa a preencher o conteúdo do contorno, geralmente em movimentos de vai e vem.

Depois que a primeira camada é terminada, o bico sobe alguns décimos de milímetro e inicia a fabricação da segunda camada, e assim vai fazendo sucessivamente

até que a peça esteja completa.

Figura 2.6: Esquema geral do processo FDM.



Fonte: (THRE3D, 2017)

Uma grande vantagem deste método é a variedade de materiais compatíveis de serem aplicados, qualquer material em estado plástico, que possa ser comprimido por um bico para ser extrusado pode ser utilizado. O mais comum são filamentos de termoplásticos, tipo ABS, porém a gama é muito extensa, a impressão de comidas é um exemplo, como massa de biscoitos, de pão, pizza, queijos, chocolate, além da utilização em pesquisas médicas com a impressão de células vivas, chamada bio-impressão.

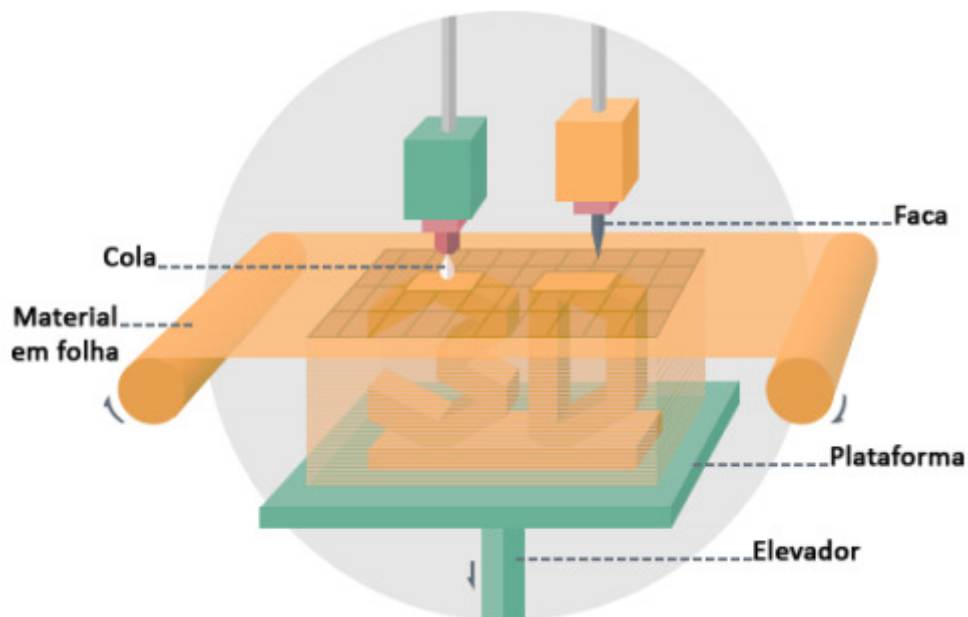
É a tecnologia mais popular encontrada no mercado e com os menores preços devido à sua simplicidade de funcionamento e componentes facilmente encontrados no mercado. Também é uma das tecnologias mais flexíveis quando se trata de diversidade de materiais, como já citado acima pode ser adaptada para inúmeras aplicações.

Tendo estas duas características como principais foi a primeira tecnologia popularmente comercializada no mercado e vem abrindo muitas possibilidades, com maior destaque para a utilização doméstica, uma das finalidades que promete criar uma ruptura na cadeia produtiva de vários segmentos de mercado, alguns sentindo mais outros menos esse impacto.

Laminated Object Modeling (LOM) - Modelagem de Objeto por Laminação

Impressoras LOM não utilizam uma cabeça de impressão na construção das camadas, convertem finas lâminas de um material, que pode ser plástico, papel ou metal, em objetos tridimensionais sólidos. Uma faca ou um feixe de laser corta a chapa seguindo o contorno de cada seção da geometria, depois de finalizado o corte da seção, uma fina folha de adesivo é aplicada sobre a camada já terminada, partindo para o sucessivo corte das camadas seguintes, conforme Figura 2.7. Depois que todas as camadas estão cortadas, a impressora as pressiona para fundi-las em um objeto sólido. Algumas dessas máquinas que trabalham com alumínio, usam frequências de ultrassom para fundi-lo, compactando as camadas e tornando o objeto resistente (LIPSON e KURMAN, 2013).

Figura 2.7: Esquema geral do processo LOM.



Fonte: (THRE3D, 2017)

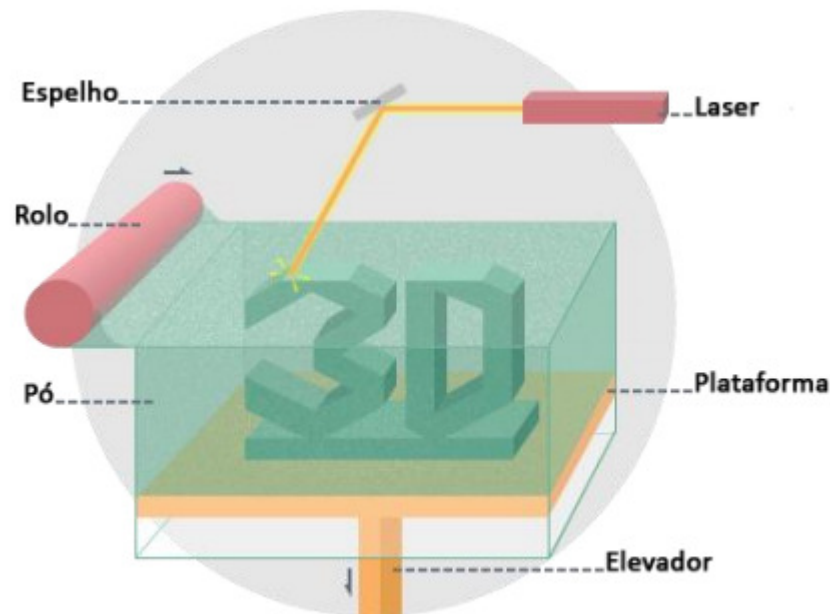
2.2.3 Baseados em Pó

Neste grupo de processos, o material utilizado encontra-se na forma de pó, sendo que uma das principais diferenças entre os processos está basicamente no uso ou não de laser para processar o material. Algumas tecnologias se diferem somente nos pequenos detalhes dos equipamentos. Uma grande vantagem geral desse grupo é que, devido ao fato de se trabalhar com pó, uma grande variedade de materiais pode ser processada. A gama de material disponível é bem mais ampla que a dos dois grupos anteriores.

Selective Laser Sintering (SLS) - Sinterização por Laser Seletivo

Tecnologia inventada em 1980 por pesquisadores da universidade o Texas, ela direciona um feixe de laser de alta potência sobre uma superfície depositada com um pó, que é sinterizado formando uma camada sólida. Após a confecção de uma camada, um rolo com o material deposita uma nova camada de pó e assim sucessivamente até que a peça esteja terminada, Figura 2.8.

Figura 2.8: Esquema geral do processo SLS.



Fonte: (THRE3D, 2017)

Existem algumas vantagens de se aplicar o laser sobre o pó em vez de líquidos, a principal delas é que o pó não fundido serve, naturalmente, como um suporte para os pontos em balanço na peça, também este pó não utilizado pode ser reaproveitado em futuros trabalhos. Outra expressiva vantagem é a variedade de materiais passíveis de serem utilizados nesta tecnologia, como termoplásticos, cerâmicos, borrachas e até metais, apesar de não ser possível misturar tipos diferentes em uma mesma peça. Por outro lado, a qualidade da superfície neste tipo de processo tende a ser porosa devido à matéria-prima base.

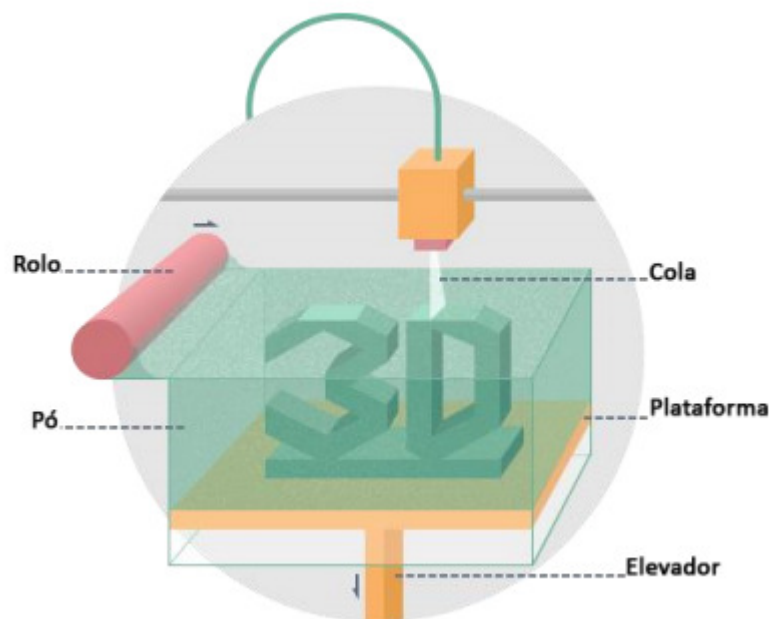
Muitas das máquinas SLS para metais ainda não são adequadas para o uso doméstico, pois precisam de uma câmara selada e preenchida com nitrogênio para que o oxigênio não reaja na fusão do material, outro ponto é que ele é um processo quente, na fabricação peças grandes pode ser necessário esperar até um dia para que se resfrie e

possa ser retirada do seu interior, bem como alguns materiais oferecem o risco de explodir se trabalhados incorretamente (LIPSON e KURMAN, 2013).

Three Dimensional Printing (3DP) - Impressão Tridimensional

Esta tecnologia foi desenvolvida nos anos 80 por pesquisadores do MIT, que posteriormente foi patenteada com este nome e teve sua fabricação licenciada a várias empresas. É um tipo de processo onde cabeças de impressão liberam jatos de um tipo de adesivo sobre uma camada de material em pó sobre uma plataforma, após o término da colagem de uma camada, a plataforma desce alguns décimos de milímetro e o sistema espalha mais pó para que seja novamente colado e assim sucessivamente até construir toda a peça, Figura 2.9.

Figura 2.9: Esquema geral do processo 3DP.



Fonte: (THRE3D, 2017)

Uma grande vantagem dessa tecnologia é sua simplicidade, pois não usam lasers ou outros componentes que requerem alta demanda de energia para funcionarem. Com ela também é possível imprimir em cores, pois minúsculas gotas de tinta podem ser adicionadas durante o processo.

Por outro lado, o uso de adesivo líquido para aglutinar as partículas não é tão preciso como os lasers, deixando uma superfície porosa, parecida com areia. Outro ponto a ser destacado é que, como são utilizados, um material base, e outro aglutinador,

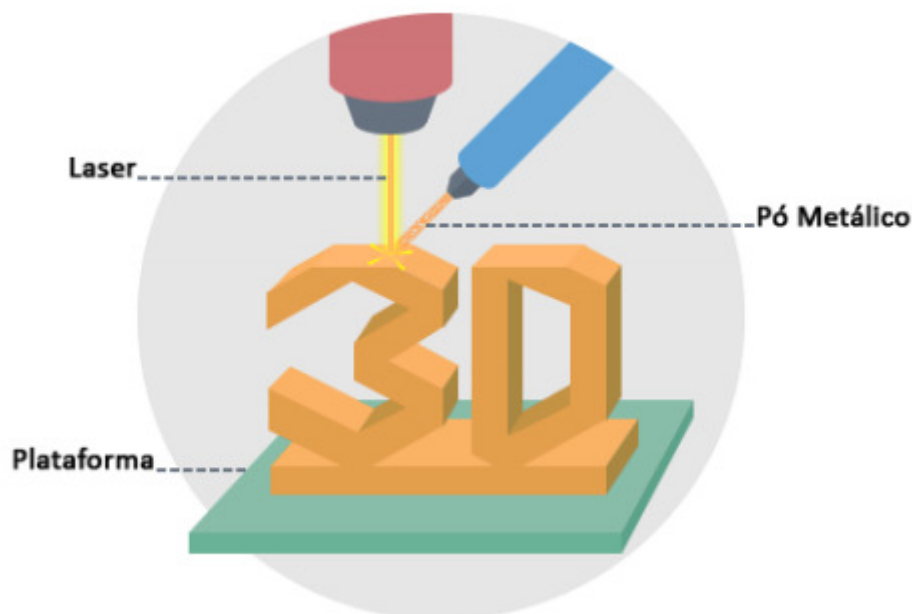
o resultado é um material compósito, necessitando, de cuidados especiais no que se refere a reaproveitamento e reciclagem da matéria prima.

Diversos materiais em pó podem ser usados, desde alguns tipos amido, que deixam a superfície com aparência de areia, até outros como argila que dão um acabamento mais fino, porém dependendo do material, após a impressão é necessário ser sinterizado em um forno para endurecer e ganhar resistência. Já foram utilizados materiais como pó de vidro, pó de borracha, serragem e até pós de metais.

Laser Engineered Net Shaping (LENS) - Modelagem por Laser de Engenharia

Este sistema funciona disparando jatos de material em pó em um feixe de laser de alta potência direcionado, algumas partículas do pó não atingem o laser e caem, porém, as que atingem são instantaneamente fundidas à superfície da peça. Assim, como o ponto focal do laser segue o contorno da peça em construção e o pico libera os jatos de pó, a peça vai crescendo gradualmente, camada por camada, Figura 2.10.

Figura 2.10: Esquema geral do processo LENS.



Fonte: (THRE3D, 2017)

A vantagem deste processo é poder utilizar materiais muito duros, como titânio, e aço inoxidável. Até que os processos com metal fossem inventados, as grandes indústrias não levaram muito a sério a impressão 3D por trabalhar apenas com polímeros, porém quando este tipo de processo apareceu, indústrias como a aeroespacial e automotiva

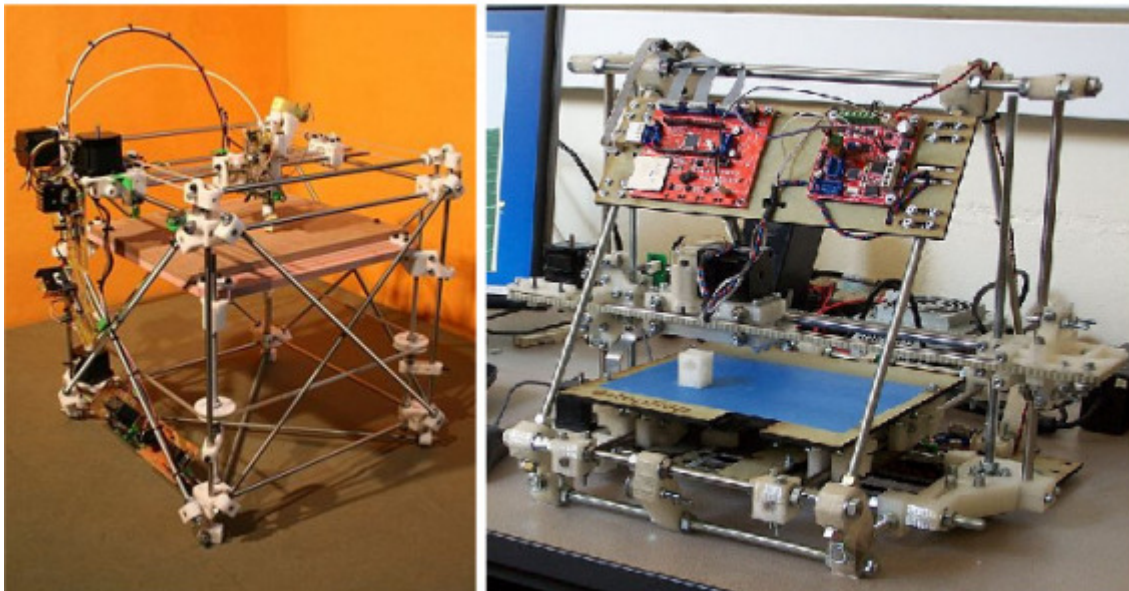
prontamente se interessaram. A tecnologia LENS hoje é utilizada para fabricar peças em metais duros, como tais como hélices de turbinas, canais de refrigeração internos, dentre outros (LIPSON e KURMAN, 2013).

2.3 Projeto RepRap

O grupo de pesquisa de Adrian Bowyer, o fundador do projeto RepRap, foca na área de biomimética, ciência que estuda os modelos e processos da natureza para tomá-los de inspiração na solução de problemas humanos (BENYUS, 1997). A partir dessa motivação, e provavelmente inspirado também pelo construtor universal de von Neumann, ele concebeu uma impressora 3D baseada na tecnologia FDM capaz de replicar-se ou até produzir uma versão melhorada de si própria, possibilitando uma difusão mais rápida da tecnologia entre os usuários comuns.

Por conta dessa capacidade evolutiva, a primeira geração de máquinas recebeu o codinome Darwin, e a segunda (que saiu de uma Darwin) o codinome Mendel (figura 2.11). Os materiais comumente utilizados por elas são os plásticos ABS e PLA.

Figura 2.11: RepRap Versao I – Darwin (esquerda) e Versao II – Mendel (direita)



Fonte: <http://reprap.org/wiki/RepRap/pt>

Por enquanto, a RepRap é uma iniciativa acadêmica, apesar de já contar com financiamentos externos. Hoje, ela é usada apenas por pesquisadores e uma esforçada base de autodidatas com conhecimentos técnicos tanto em mecânica como eletrônica. Apesar

disso, Bowyer não vê barreiras para a sua popularização, e acredita no seu potencial para romper com a manufatura, assim como o compartilhamento de mp3 forçou a indústria da música a se reinventar.

Todo o esquema de hardware, circuitos, software e montagem é disponibilizado de forma aberta na wiki do projeto, que tenta reunir também de maneira organizada os trabalhos em andamento para aperfeiçoamento. O site conta com uma comunidade bastante participativa, com representantes de diversos países e apoio de outros projetos derivados, dentre os quais destaca-se a MakerBot Industries. Fundada em 2009 por desenvolvedores que estudaram a RepRap, a empresa tem o objetivo de comercializar impressoras 3D do porte e preço propostos pelo projeto, mas ao contrário dele não foca na auto-replicação das máquinas. Abre-se mão dessa propriedade para oferecer um design que torna o processo de montagem e manutenção muito mais simples que a RepRap, corrigindo o grande empecilho para sua comercialização. A empresa hospeda também uma comunidade na internet, chamada Thingiverse, na qual os usuários de impressoras 3D divulgam seus projetos pessoais de peças, hardware e software ligados à tecnologia, disponibilizando toda a documentação.

3 MÉTODOS E LEVANTAMENTO DESCRITIVO

3.1 Métodos

Este trabalho dedica-se à documentação do desenvolvimento de uma impressora RepRap, que já conta com bastante material disponível na internet, mas é consideravelmente disperso e gera muitas dúvidas para os iniciantes. Espera-se criar uma visão completa de processo de desenvolvimento de um produto mecatrônico, relacionando as necessidades da própria comunidade RepRap e a implementação dos requisitos de engenharia, e fornecer um ponto de partida mais seguro para pessoas que desejem criar suas próprias máquinas de prototipagem rápida.

Tratando-se da implementação de um projeto existente, muitas etapas do PDP estão disponíveis na sua documentação, e outras apenas implícitas. O projeto detalhado, que corresponde à solução final encontrada para a máquina, já encontra-se bem explicitada, apesar de contar com constantes modificações. Porém, as fases de projeto informacional e conceitual necessitam de um trabalho de abstração e engenharia reversa, de modo a contextualizar o produto no processo de desenvolvimento seguindo a metodologia. Convém frisar que a metodologia proposta é feita com o objetivo de apoiar o desenvolvimento de produtos como um todo, portanto etapas podem ser realizadas ou não para determinados casos sem beneficiar ou prejudicar o seu desenvolvimento, ficando essa decisão a cargo do autor.

Nesta seção, são discutidos os princípios de solução da tabela 4.1 que formam o protótipo da RepRap Mendel a ser construído. Muitos deles serão utilizados simultaneamente na máquina para executar suas diversas funções, e por isso torna-se aqui pertinente uma breve descrição destes componentes ou conjuntos que formam o protótipo escolhido pelo projeto, e em seguida um comparativo de suas combinações. Cada um comparado de maneira absoluta, utilizando conceitos de julgamento de viabilidade, disponibilidade técnica e confrontando com os requisitos.

Vale lembrar que este trabalho foi contemplado no EDITAL FAPEMA N° 35/2015 – STARTUP apoio à difusão de ambiente de inovação em tecnologia digital no estado do Maranhão referente à linha de ação “Mais Inovação”, e no âmbito do programa “Inova Maranhão”.

3.2 Levantamento Descritivo

A indústria da manufatura pode passar por uma ruptura devido ao potencial da prototipagem rápida e, futuramente, as pessoas comuns poderão ser afetadas profundamente principalmente no acesso a produtos personalizados e no que diz respeito à forma como enxergam os processos de fabricação. Contudo, as máquinas existentes atualmente no mercado enfrentam certos fatores para penetração em massa no mercado: alto custo de aquisição e necessidade de conhecimentos técnicos para manutenção e uso adequados.

Logo, o projeto RepRap propõe uma maneira de contornar essas restrições e popularizar a tecnologia, através de uma impressora 3D capaz de replicar-se e ser montada com produtos relativamente acessíveis. Dessa forma, torna-se possível sua rápida proliferação e uma base para comercialização a baixo custo, mantendo a qualidade satisfatória. Como já foi discutido, a tecnologia FDM é a que apresenta as melhores características para atender essas expectativas, tanto pelo porte como pelo custo. Portanto, o conjunto de informações coletadas nessa fase restringe-se a este processo.

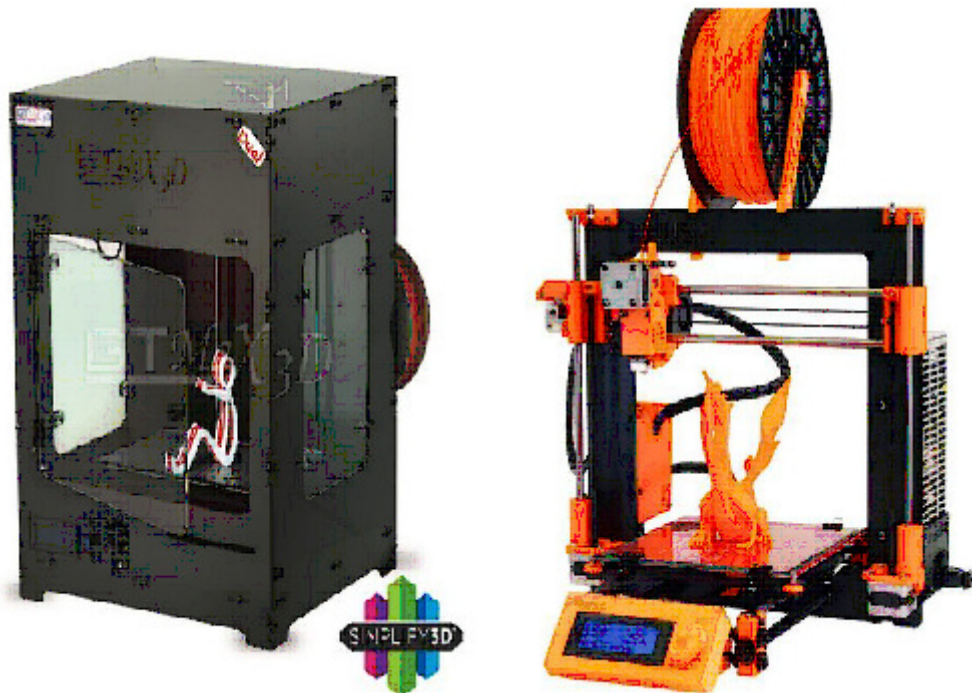
Nesta seção faz-se o levantamento técnico mais aprofundado das partes de uma impressora FDM. Bem como suas partes estruturais, mecânicas, elétrica e eletrônica e também seu software de controle. Ferramentas e processos de desenvolvimento de projeto de produto não vão ser seguido nesse trabalho pois fogem do escopo do mesmo. Mas todo passo a passo da montagem será mostrado do capítulo 4.

Estrutura

É a parte mais visível, o que dá a forma a impressora. Ainda que possa haver variações, de forma geral possui duas categorias principais: aberta e fechada. Sendo a primeira possível alcançar a peça impressa diretamente, já segunda a peça impressa fica em uma câmara fechada como mostra a figura 3.1.

Existem várias diferenças técnicas envolvendo a estrutura de uma impressora

Figura 3.1: Estrutura fechada (esquerda) e Estrutura aberta (direita)



Fonte: <https://www.gtmax3d.com.br/none-13347703>(esquerda)

<http://reprap.org/wiki/File:Prusai3-metalframe.jpg> (direita)

RepRap. E uma delas é que a estrutura fechada consegue concentrar calor dentro dela pois funciona como uma câmara quente impedindo mudança brusca de temperatura. Este fator deve ser considerado em conta pois materiais tipo ABS sofrem contrações ou empenamento das peças com a mudança de temperatura tornando assim esse tipo de estrutura recomendada para o desenvolvimento da impressora deste trabalho.

Os materiais mais usados nessas estruturas são os seguintes:

- MDF (Medium Density Fibreboard, ou Painel de Fibra de Média Densidade): Popular nas variantes de Graber i3 vendidas no Brasil, o MDF é um compósito baseado em madeira que se assemelha a compensados, mas é menos resistente, mais liso e consistente e facilmente cortável em CNCs laser e mecânicas, além de empenar menos. Também é eficaz em dissipar pequenas vibrações das estruturas. Por outro lado, absorve umidade facilmente e não resiste muito a chamas (apesar de resistir a altas temperaturas). É fácil de usar para montagens e o mais barato dentre as alternativas listadas, sendo encontrado nas repraps na variedade de 6mm de espessura. Para se revestir ou pintar, deve-se antes usar um primer baseado em óleo que não seja aerossol/spray

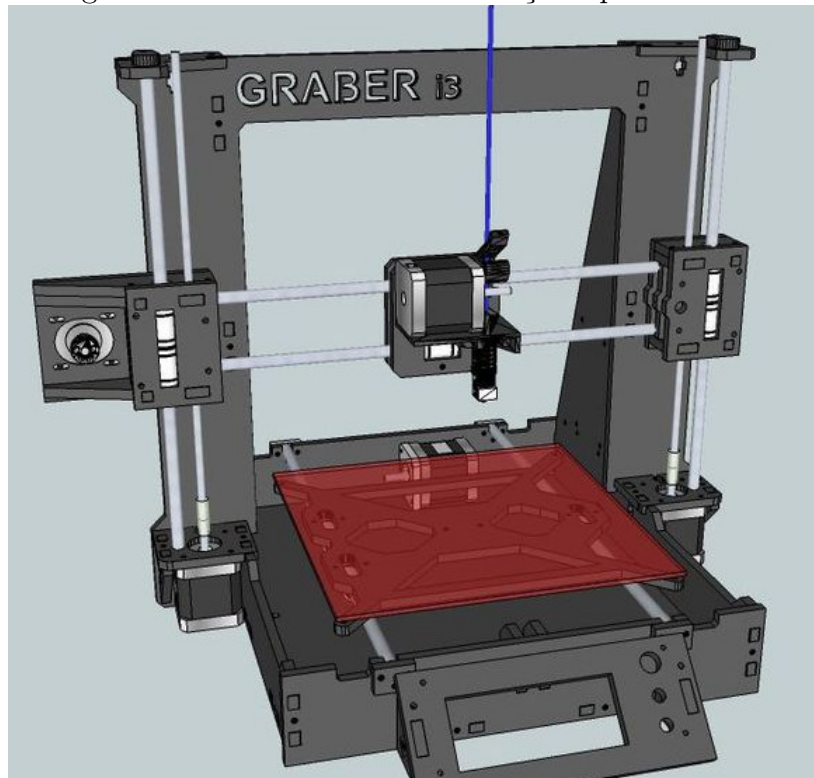
- **Acrílico (PMMA):** Disputando em popularidade com o MDF como o material de escolha dos cortes de rerap, tem em comum o fato de ser facilmente cortável em CNCs, aparência brilhante com cores vivas e esteticamente agradável, rigidez considerável e limpeza fácil. O primeiro ponto negativo é que com a alta rigidez o material é relativamente quebradiço e é especialmente propenso a rachaduras com fixação de parafusos. O segundo é que, sendo um termoplástico, tem baixa resistência a altas temperaturas, tendo a temperatura de transição vítrea em torno de 105C. É mais caro que o MDF, com o mesmo corte deste material e na mesma espessura saindo cerca de 3 vezes mais caro.
- **Alumínio:** Material resistente, não-ferromagnético (não é atraído por ímãs) e com cortes que permanecem bastante retilíneos, é mais raramente encontrado em cortes de reprints e, quando encontrado, adaptado para espessura mais fina (como 3mm) para economia em material. É mais usado em elementos usinados como perfis e blocos aquecedores. Tem alto coeficiente de condução de calor, o que pode ser indesejável se tiver contato com altas temperaturas.
- **Aço:** Usado em impressoras 3D de cunho mais industrial, geralmente de frame fechado e que precisam aguentar altíssimas temperaturas, é encontrado na variedade inoxidável e escovado para resistir também a oxidação e agentes do ambiente. Tem baixo coeficiente de condução de calor.
- **ACM (Aluminium Composite Material):** também conhecido pelo seu nome comercial DIBOND®, se trata do termoplástico polietileno ensanduichado entre duas placas de alumínio, juntando as propriedades desejáveis do metal com a do plástico. É um material bastante usado em placas de sinalização e a utilização em impressoras 3D é bem representada pelas máquinas Ultimaker 2 e Ultimaker 3.

Movimentação dos eixos

As impressoras RepRap ainda podem ser classificadas pelo tipo de sistema de movimentação que os eixos fazem. Os principais sistemas são apresentados a seguir:

- **Cartesiana:** na qual Eixos X, Y e Z correspondem ao plano cartesiano representada pela figura 3.2

Figura 3.2: Sistema de movimentação tipo cartesiana



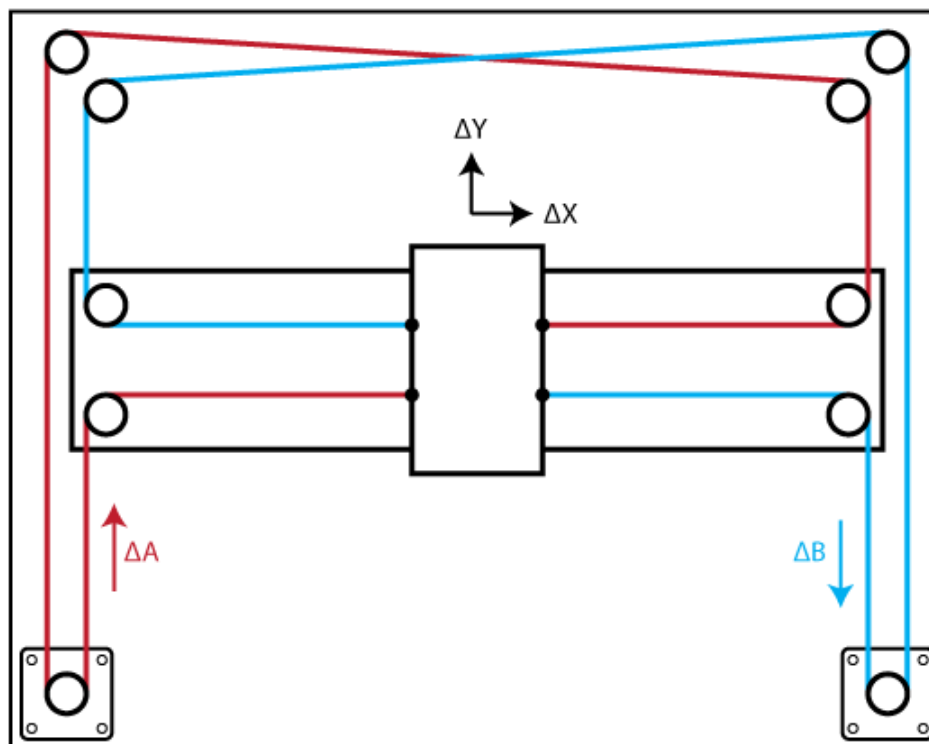
Fonte: <http://reprap.org/wiki/File:Graber3.jpg>

- Delta onde os eixos X, Y e Z são transformadas trigonométricas das posições dos três pilares (colunas verticais).
- XY (Dualwire Gantry)

O jeito mais intuitivo de pensar em um mecanismo que, em um plano, possa posicionar um elemento em uma coordenada (X,Y) determinada é haver, assim com os dois eixos, dois mecanismos (motores) fixos, independentes e perpendiculares. Qualquer um deles, ao girar, move uma correia, que movimenta o elemento em seu eixo, guiado em torno de uma barra lisa; as correias e barras não se encontram e podem ser posicionadas uma acima da outra com o suporte do elemento ocupando onde se cruzem. O nome significa algo como "pórtico com dois cabos".
- CoreXY O sistema batizado de CoreXY tornou-se popular por um sítio web3 que o explica em pormenores e ensina como construí-lo e controlá-lo. Basicamente é um sistema de eixos que permite controle fino dos eixos X e Y mas economizando em peças e evitando o cruzamento de eixos rígidos que acontece no Dualwire Gantry. É um sistema robusto, com cinemática paralela e motores fixos na estrutura, controle fácil e permitindo grandes velocidades de movimentação, tendo sido adotado em

várias reprop e impressoras 3D comerciais de estrutura fechada representada na figura 3.1 a esquerda.

Figura 3.3: Sistema de movimentação Corexy



Fonte: <http://corexy.com/theory.html>

Rolamentos

Rolamentos ou rolimãs (bearings em inglês) são dispositivos que permitem o movimento relativo controlado entre duas ou mais partes, substituindo o atrito de deslizamento pelo atrito de rolamento, visto que tem elementos denominados corpos rolantes — geralmente pequenas esferas de aço cromado — que intermediam o contato entre o elemento deslizante e a superfície de deslizamento. São elementos apropriados para alta rotação, alta precisão, baixo torque e baixa vibração. Há dois tipos principais de rolamentos usados em impressoras 3D, classificados de acordo com o movimento:

- Lineares O movimento se dá com o rolamento deslizando ao longo do comprimento do elemento maior, em linha reta. Como os corpos rolantes têm contato direto com o elemento, o uso contínuo pode causar desgaste, razão pela qual se deve usar nesse

caso materiais bem resistentes como aço. Esses rolamentos são geralmente utilizados em eixos de impressoras 3D cartesianas ou pilares laterais de impressoras 3D delta.

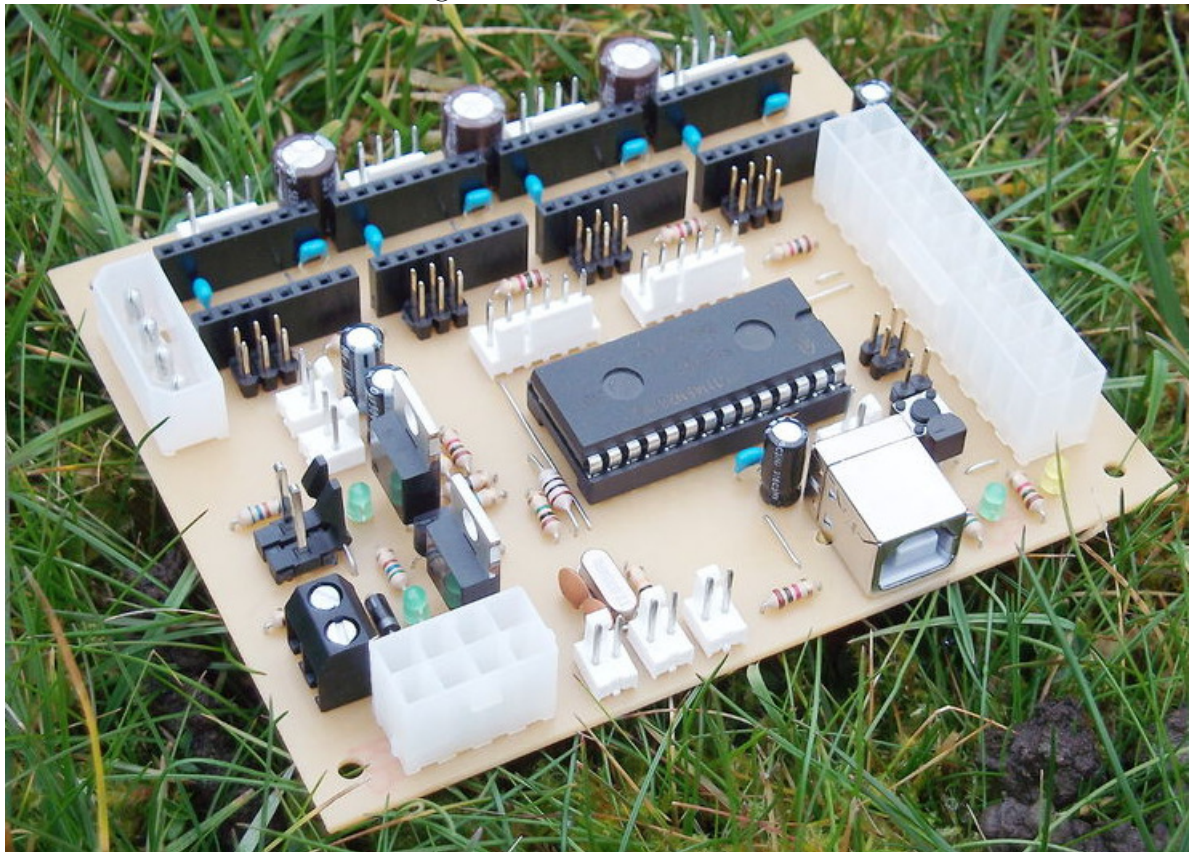
- Radiais O movimento se dá com o rolamento tendo dois anéis, o exterior deslizando em torno do anel interior, com cada anel se prendendo a um elemento de deslizamento. São geralmente utilizados para conduzir a rotação de uma correia de motor, elementos rotativos de engrenagens de extrusor ou como anteparos (idlers) à roda dentada de tração do extrusor.
- Outros tipos Os que mais serão usados em mecanismos de impressoras 3D serão os lineares e radiais, mas existem inúmeras outras configurações de rolamentos — por exemplos, as juntas de esferas para rotação esférica e as dobradiças para articulações. Também existem muitos outros tipos de rolamentos em relação a outros aspectos da construção — por exemplo, rolamentos que usam cilindros ao invés de esferas, ou mesmo fluidos ou campos magnéticos

Eletrônica

Os primeiros rascunhos de impressoras 3D do projeto reppap em 2006 mostram projetos envolvendo microcontroladores PIC com placas de expansão para o controle dos motores, sensores e temperaturas, dirigidas por um computador de mesa (Generation 1 Electronics, ou Gen1). Em seguida, já se vê o planejamento do uso de um Arduino Uno, a Gen2, ainda com uma série de placas de expansão. A geração 3, de fevereiro de 2009, aproveita a natureza open-source do arduino e cria o projeto de uma placa única com o microcontrolador ATMEGA644P e as saídas de potência necessárias; essa placa já representa o começo da interação com a Makerbot (é a placa que iria ser usada em sua primeira impressora, a CupCake) mas sofre do problema de ser uma placa microcontroladora sofisticada, difícil de colocar para vender na época em que foi concebida e mesmo difícil de montar por hobbyistas em eletrônica por envolver soldagens industriais. Em 2010 já aparecia a Gen4, e abreviando a história, em 2011 tivemos a última iteração oficial desta linha de placas microcontroladoras: a Geração 7 (figura 3.4), feita com o intuito de facilitar ao máximo ao hobbyista de eletrônica montar em casa ou na garagem, com PCB de um lado e conectores soldáveis a mão.

Em outubro de 2010, o projeto Arduino lançou o Arduino Mega. Com o mesmo poder computacional do Arduino Uno, mas mais memória e pinos (8 kiB de RAM ao invés

Figura 3.4: Eletrônica Gen7



Fonte: [http://reprap.org/wiki/Generation7 Electronics](http://reprap.org/wiki/Generation7_Electronics)

de 2, 128 KiB de flash ao invés de 32, 54 pinos digitais ao invés de 14 e 16 pinos de entrada analógica ao invés de 6), ele era ideal para ser o cérebro de uma impressora 3D. Poder-se-ia pensar até em ser uma placa dedicada, que não dependesse da conexão ativa de um computador para gerir a impressão e a pudesse conduzir desconectado dele.

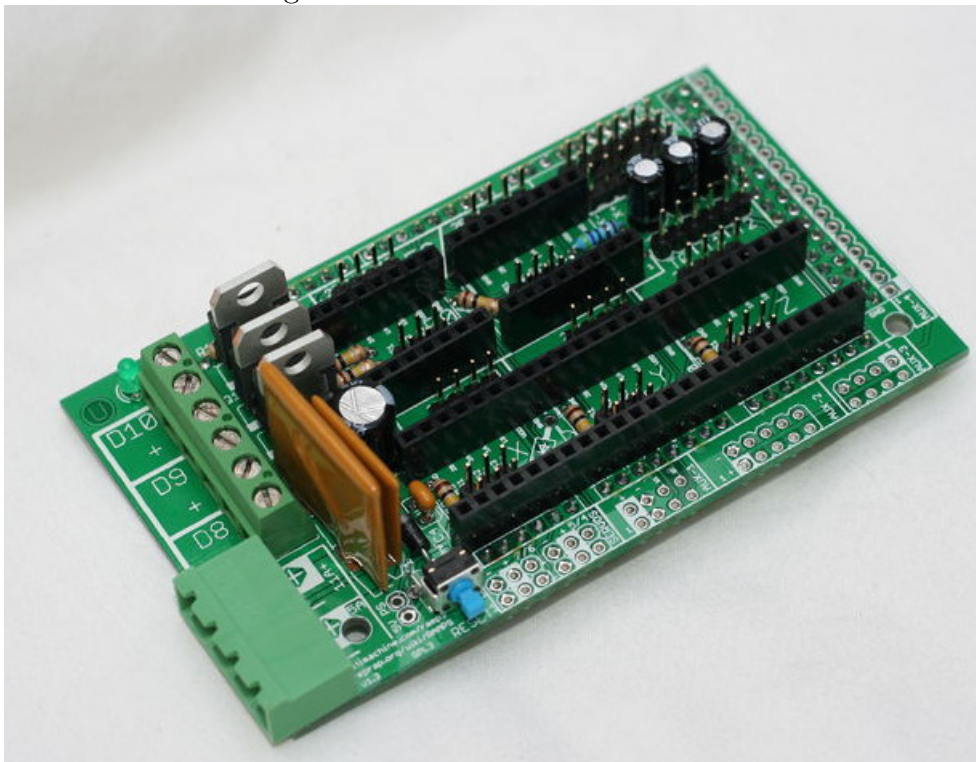
O porém é que Arduino Mega resolve completamente o problema dos pinos e memória, mas continua sendo uma placa microcontroladora de baixa potência. Em miúdos, isso quer dizer que os sinais em seu barramentos não excedem 40mA e ela não tem elementos de circuitos (FETs, relés, triacs, fusíveis e capacitores de alta potência) que gerenciam as correntes típicas de uma impressora 3D — que podem chegar a dezenas de ampères.

No entanto, a solução pra isso também é relativamente simples. Ao invés das várias placas de expansão que se colocavam em um Arduino Uno ou um PIC (basicamente porque os pinos eram insuficientes e precisavam de multiplexação para os diversos componentes de impressora 3D), uma única placa que pudesse controlar as correntes para aquecimento de mesa e extrusor, correntes enviadas para os motores e ventoinhas e até

organizar os pinos de entrada para endstops e sensores de temperaturas era suficiente.

E foi assim que nasceu, em 2011, a placa que, tendo se escorado no sucesso retumbante do Arduino Mega, até hoje é a mais usada em impressoras open-source, e também em algumas em impressoras fechadas de mercado, a RAMPS (figura 3.5) — sigla de Reprap Arduino Mega Pololu Shield. O nome especifica que é um "shield" (placa adicional, encaixável nos pinos) para o Arduino Mega especificamente e com componentes Pololu. Pololu é a marca dos drivers de motores de passo acopláveis — do tipo A4988

Figura 3.5: Eletrônica RAMPS 1.4



Fonte: http://reprap.org/wiki/File:RAMPS1_3.JPG

A placa RAMPS e os drivers são open-source, e a página da RAMPS 1.4 do projeto reprap se destaca por ser uma das páginas mais bem documentadas de projeto de hardware open-source até hoje², com não só todos os diagramas e arquivos necessários em formato Eagle, mas também com instruções detalhadas e comentadas que serviriam de guia pedagógico para um curso de introdução à microeletrônica.

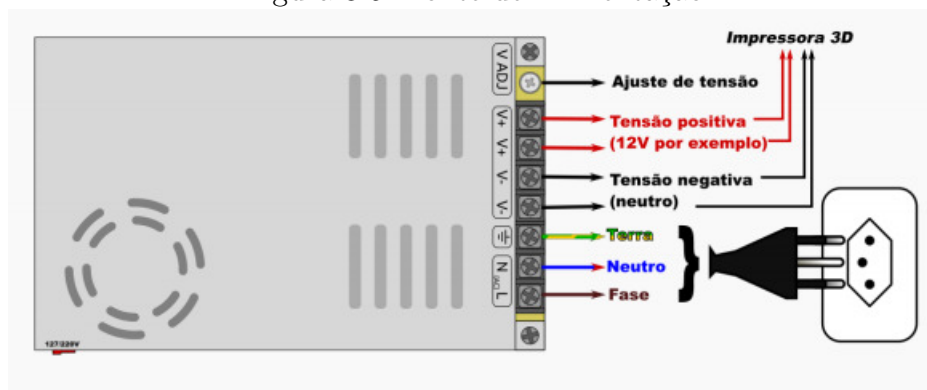
Na página também se encontra em formato vetorial o desenho que é referência para todos os hobbyistas que vão montar a sua primeira impressora 3D. Ele mostra, especialmente, todas as conexões dos componentes da impressora 3D à RAMPS, e como a RAMPS se conecta à energia (e em duas conexões de 12 V, uma que leva até 11A para a mesa, e outra que leva até 5A para todo o resto da impressora). Um detalhe importante

é que como é a RAMPS que vai gerenciar a alta potência do conjunto, é ela que se liga à fonte, não o Arduino Mega em que está conectada. Através de um diodo no meio do slot de driver do eixo X, o diodo D1, a alimentação é repassado para o Arduino, de modo que ele é ligado em conjunto com o resto da impressora. Se a tensão a ser usada pelo conjunto não for 12V, ou se a corrente for sujeita a interferências, esse diodo deve ser removido e a conexão deixada em aberto.

Fonte de Potência

A impressora 3D, como todos os dispositivos eletrônicos microcontrolados, precisa ser alimentada com uma fonte de tensão constante para o seu funcionamento (figura 3.6). As tomadas domésticas oferecem tensão alternada (127V AC ou 220V AC); é preciso o uso de um dispositivo que converta a tensão alternada em constante e esta é a função da *fonte de tensão*. A fonte se caracteriza ainda pela corrente máxima que pode entregar de forma segura. O cenário mais comum é a impressora 3D usar uma fonte de tensão de 12V com corrente máxima de 30A. Isso também caracteriza a potência máxima entregue pela fonte de tensão, que é obtida multiplicando-se a tensão constante pela corrente máxima: $12V \cdot 30A = 360W$

Figura 3.6: Fonte de Alimentação



Fonte: Guia Maker

A fonte de tensão que mais se vê sendo usada em impressoras é aquela reconhecível por sua forma de paralelepípedo de metal e chamada de "fonte industrial", sendo uma fonte chaveada que tem três parafusos de conexão para a tomada AC (fase, neutro e terra — ou, em inglês, L (line), N (neutral) e G (ground)), e dois conjuntos de parafusos de saída, um para o terra e outro para a fase (a tensão positiva, como 12V). Geralmente a fonte tem ainda um parafuso de ajuste de tensão (V ADJ), ventoinha interna com

aberturas para refrigeração e seletor lateral 127V/220V de entrada.

O nome de fonte "industrial" se deve à sua utilização como componente genérico de equipamentos da indústria (compare com as fontes de tensão como as de laptop, que também são fontes chaveadas mas "fechadas" e com cabo e conectores montados) e por apresentarem certas proteções importantes, como a carcaça metálica contra eletricidade estática, refrigeração e circuitos contra surtos e inversões

Extrusora

A extrusora é provavelmente o componente mais importante de toda a máquina. Os eixos contribuem para o seu correto posicionamento, mas normalmente o limitante da qualidade final é a extrusora. Além de poder extrudar camadas finas e em velocidades variadas, é imprescindível atingir um fluxo constante e bem calibrado.

O extrusor é o conjunto que puxa (traciona) o filamento plástico e o derrete. Essas duas funções são realizadas por partes diferentes do extrusor: uma, o tracionador ou cold end ("extremidade fria"), é a que tem um motor e engrenagem dentada que dá a força e a velocidade para o filamento ser alimentado na segunda parte, que é chamada de hot end ou hotend ("extremidade quente").

Mesa

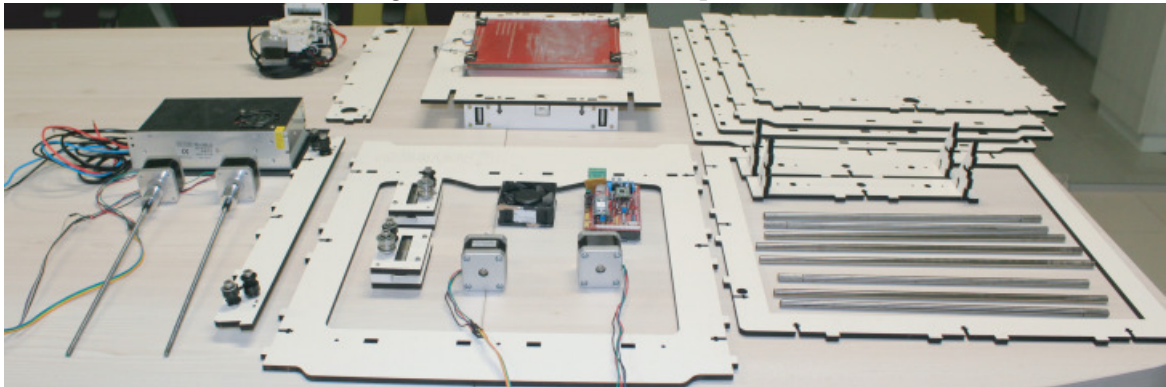
A mesa é a superfície onde a primeira camada do material é depositada, e a sua qualidade influi muito em todas as outras camadas. Uma característica infeliz do processo FDM é que os erros tendem a ser acumulativos. Se uma camada não adere à inferior como deveria, a camada seguinte não vai ter em que se sustentar e vai falhar também. O defeito então se propaga até o topo do objeto.

4 MONTAGEM

Nesse capítulo segue a montagem estrutural da impressora bem como a parte elétrica e eletrônica. Será feito o passo a passo de montagem com os principais componentes.

O planejamento do processo de construção se iniciou com a obtenção dos materiais necessários. Os componentes mecânicos puderam ser todos comprados no Brasil e o corte a laser da parte da estrutura foi feita por uma empresa local. Os eixos foram comprados no tamanho certo, a parte eletrônica como a placa controladora, os drives dos motores ,extrusoras e mesa aquecida foram comprados em forma de kit's encontrado em fornecedores no brasil. Toda parte estrutural foi cordada a laser em MDF laqueado de espessura de 6m. Seu desenho foi feito em software de CAD. Uma visão geral de todas as peças podem ser vistas na figura 4.1

Figura 4.1: Partes da Impressora



Fonte: Próprio autor

A montagem se inicia com a colocação dos motores de passo nema 17 na peça de MDF como mostra na figura 4.2

Para a fixação dos motores são usados parafusos M3 de 12mm com porcas nessa fase. A peça onde os motores foram acoplados deve ser parafusada na parte traseira do frame como mostra a figura 4.3.

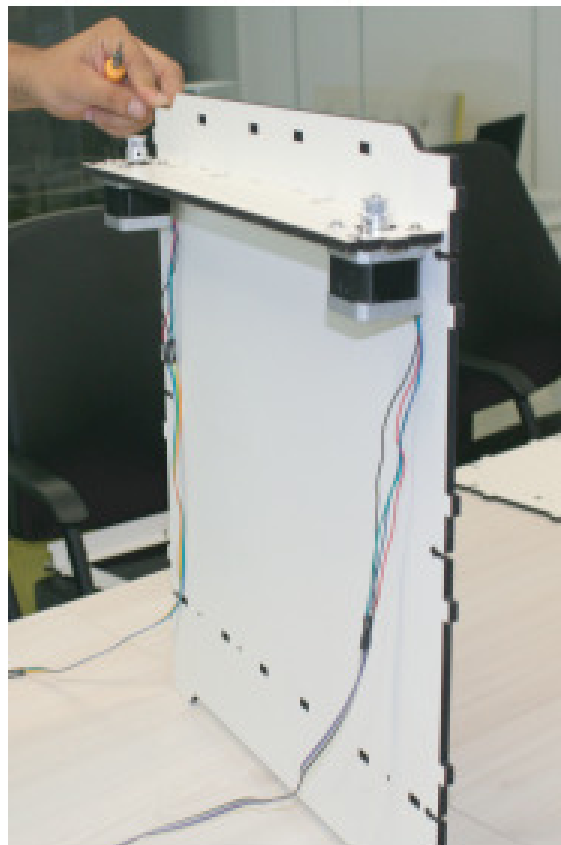
Algumas observações devem ser seguidas. As saídas dos fios devem ficar para trás como mostra a figura 4.4

Figura 4.2: Início da montagem



Fonte: Próprio autor

Figura 4.3: Montagem dos motores na parte traseira

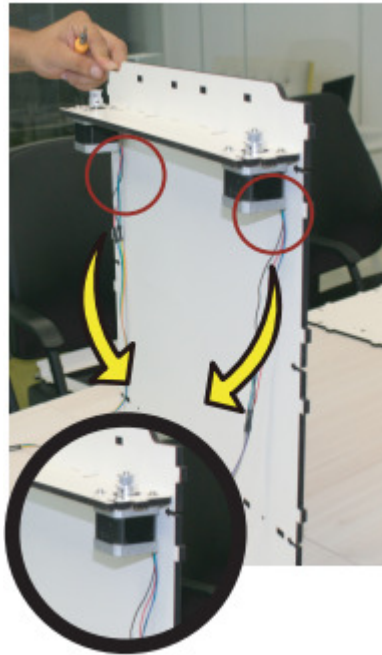


Fonte: Próprio autor

A segunda fase da montagem consiste na montagem do sistemas de polias que vai compor a sistema de movimentação da cinemática corexy. Na figura 4.5.

Já o acoplamento da polias na peça de MDF é seguido de acordo com o desenho da figura 4.6. Após o termino dessa fase, a fixação da parte das polias com a peça dianteira é feita com parafusos M3 de 20mm.

Figura 4.4: Posição da saída dos fios dos motores



Fonte: Próprio autor

Figura 4.5: Sistemas de polias



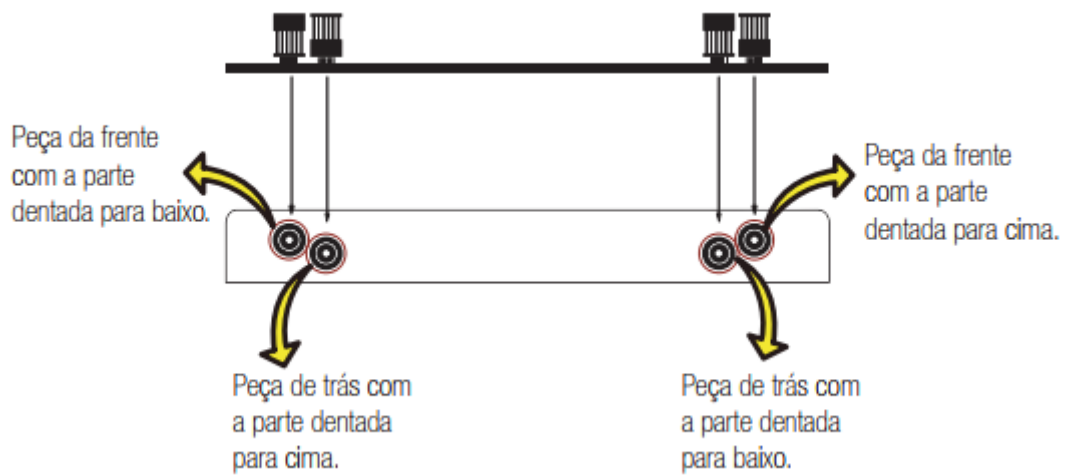
Fonte: Próprio autor

Na figura 4.7 mostra a fixação da base na parte traseira da impressora, no detalhe da figura 4.7 mostra a posição dos furos onde devem ser fixados os motores do eixo z. No caso da imagem devem ficar nas laterais.

Com parafuso M3 20mm a parte frontal é fixada na estrutura que já foi montada como mostra a figura 4.8

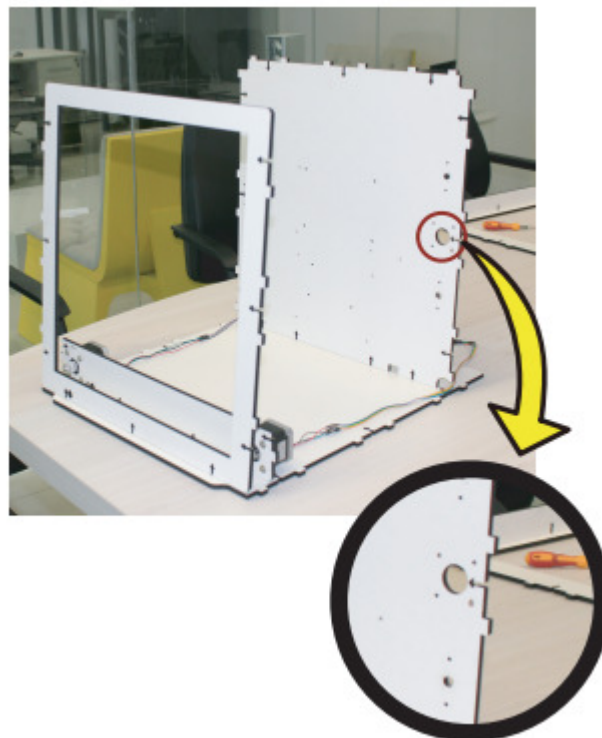
A próxima etapa é fixar as laterais da impressora com parafuso M3 de 20mm. Essas peças completam a estrutura do frame. Com atenção para o furo indicado na figura 4.9 onde ficará os motores. Eles devem ficar voltados para a parte de trás da impressora.

Figura 4.6: Diagrama de montagem das polias



Fonte: Próprio autor

Figura 4.7: Fixação da base da impressora

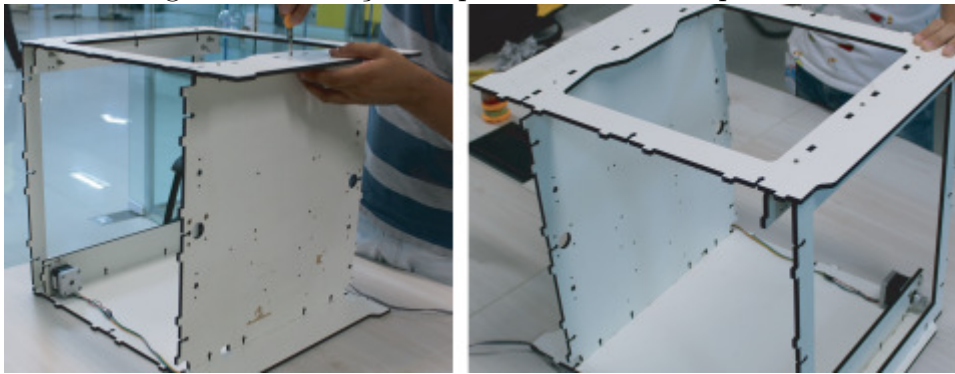


Fonte: Próprio autor

Com parafuso M3 de 20mm as estruturas internas nas duas laterais são fixadas. Essas estruturas fixará as guias lisas e barras roscadas M5 para a movimentação da mesa aquecida. Como mostrado na figura 4.10.

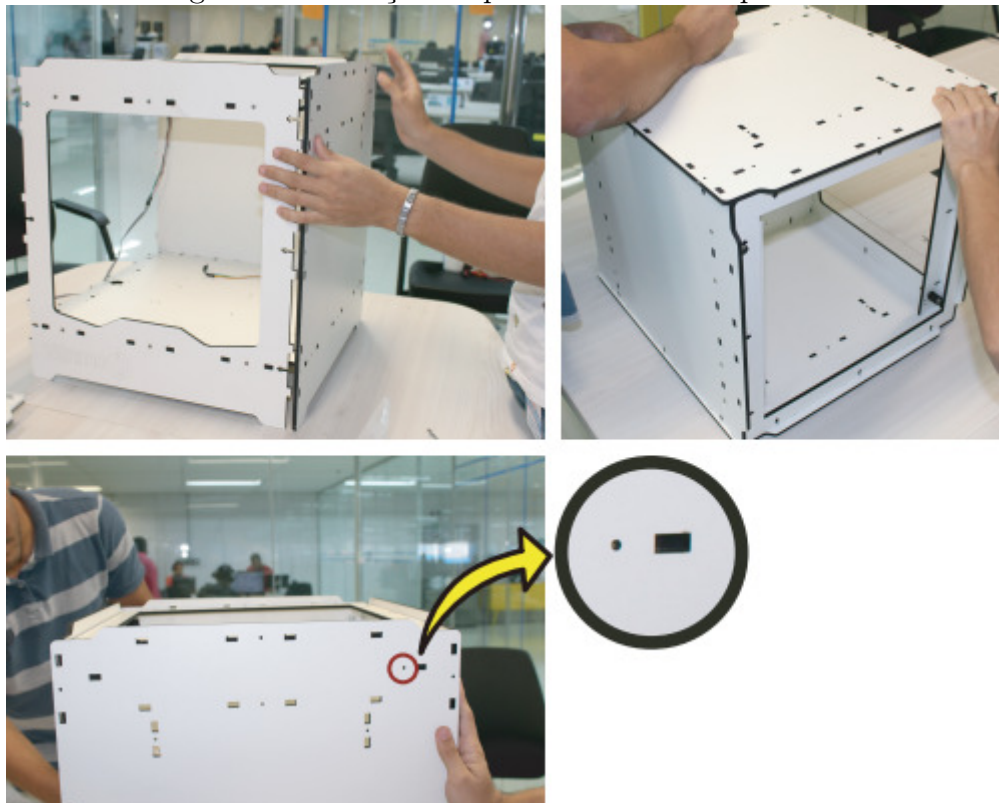
A próxima etapa consiste na montagem da plataforma onde ficará a mesa aquecida. O detalhe da montagem está na figura 4.11. Nessa etapa foi feita a modelagem

Figura 4.8: Fixação da parte frontal da impressora



Fonte: Próprio autor

Figura 4.9: Fixação da parte lateral da impressora



Fonte: Próprio autor

das peças em CAD e impressas em ABS em uma outra impressora 3D para a fixação das barras roscadas M5 no suporte da plataforma. Os rolamentos lineares também foram acoplados também nessa plataforma promovendo assim a liberdade de movimentação (detalhe da figura 4.12).

Os parafusos para fixação dessa etapa foram o M3 de 20mm. Vale salientar que devido a calibração posterior que é feita na impressora os parafusos da plataforma não deverão ser muito apertado.

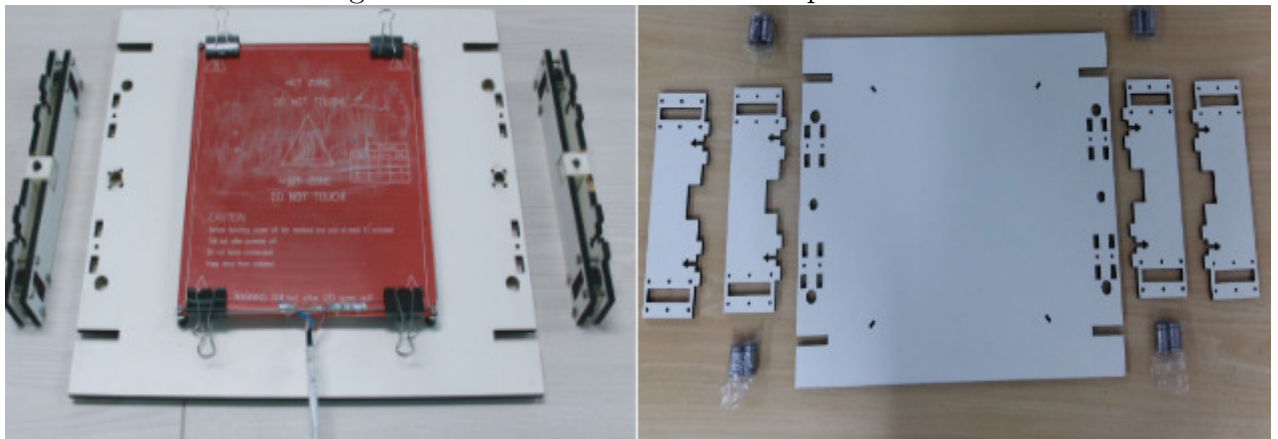
Figura 4.10: Fixação da estrutura interna da impressora



Fonte: Próprio autor

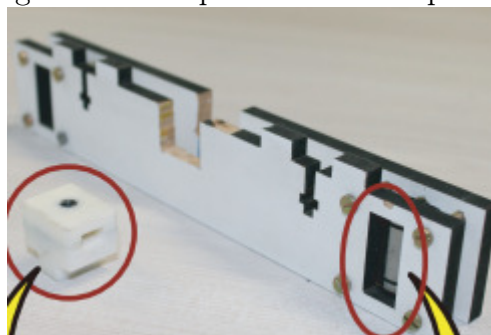
Após a montagem da plataforma esta é inserida diagonalmente como mostra a figura 4.13.

Figura 4.11: Plataforma da mesa aquecida



Fonte: Próprio autor

Figura 4.12: Suporte da mesa aquecida



Fonte: Próprio autor

Dando continuidade a montagem, a impressora dese ser virada horizontalmente para facilitar o trabalho, neste momento se insere os motores com os acopladores e barra roscadas M5 nos furos demarcados embaixo da estrutura. Esses motores junto com a

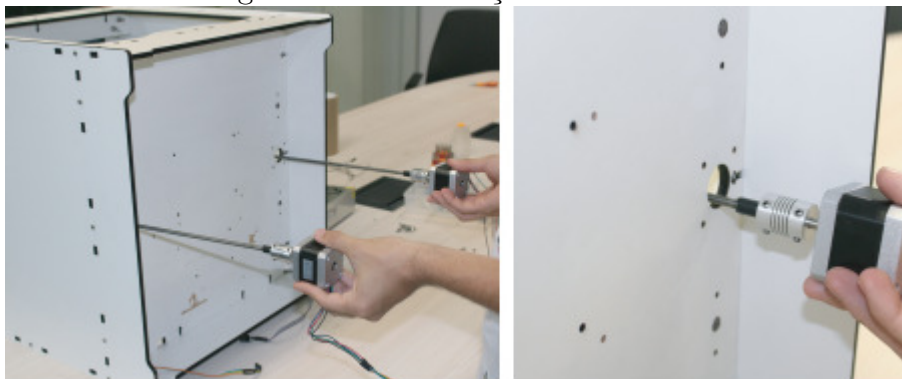
Figura 4.13: Introdução da plataforma



Fonte: Próprio autor

montagem das barras lisas compõem o eixo Z da impressora(figura 4.14). Atentar para o detalhe da figura onde os parafusos M3 de 10mm devem ser fixados nos motores(figura 4.15).

Figura 4.14: Introdução dos motores



Fonte: Próprio autor

Na figura 4.16 temos os detalhes da colocação das guias lisas. Nessa parte as barras devem ser colocadas com cuidado pois as esferas contidas no rolamentos podem soltar com a introdução errada das barras lisas.

Finalizando essa ultima etapa a impressora deve ficar como na figura 4.17. O próximo passo é colocar a cinemática Corexy como descrita no capítulo 3.

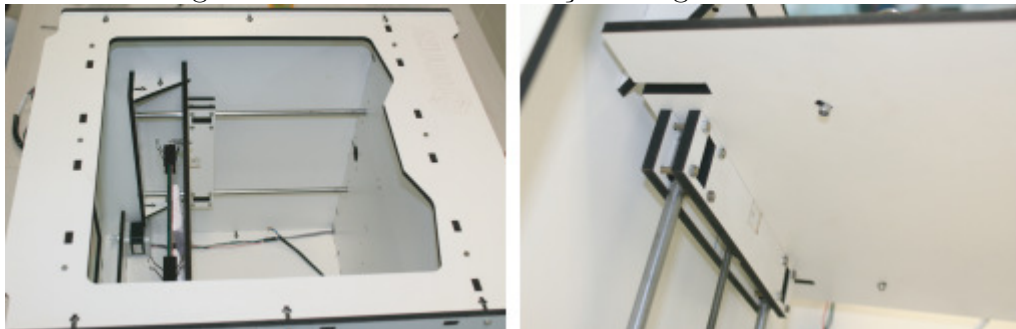
Dando continuidade na montagem da impressora, o sistema corexy é montado colocando-se as barras nas peças denominadas "carros" tanto no eixo x quanto no eixo y. Com os mesmo cuidados para que as esferas dentro do rolamento não se soltem com a introdução dos guias lineares. Na figura 4.18 tem-se a esquerda a montagem do sistema e

Figura 4.15: Detalhes da fixação do motores.



Fonte: Próprio autor

Figura 4.16: Detalhes da fixação das guias lineares.



Fonte: Próprio autor

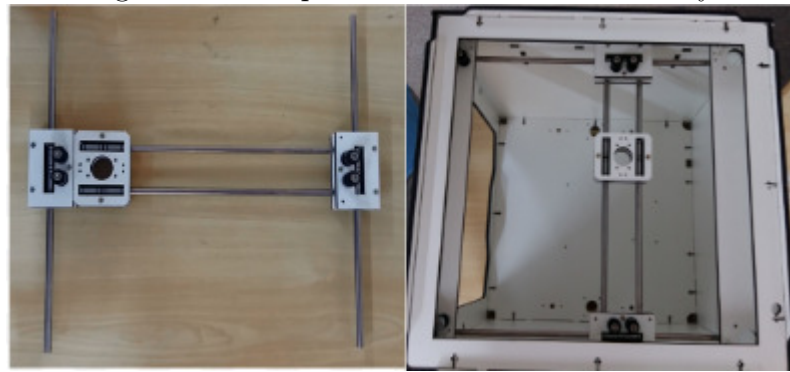
a direita a inserção do sistema junto a impressora. O próximo passo é colocar as correias dentadas.

Figura 4.17: Impressora parcialmente montada.



Fonte: Próprio autor

Figura 4.18: Impressora com o sistema corexy.

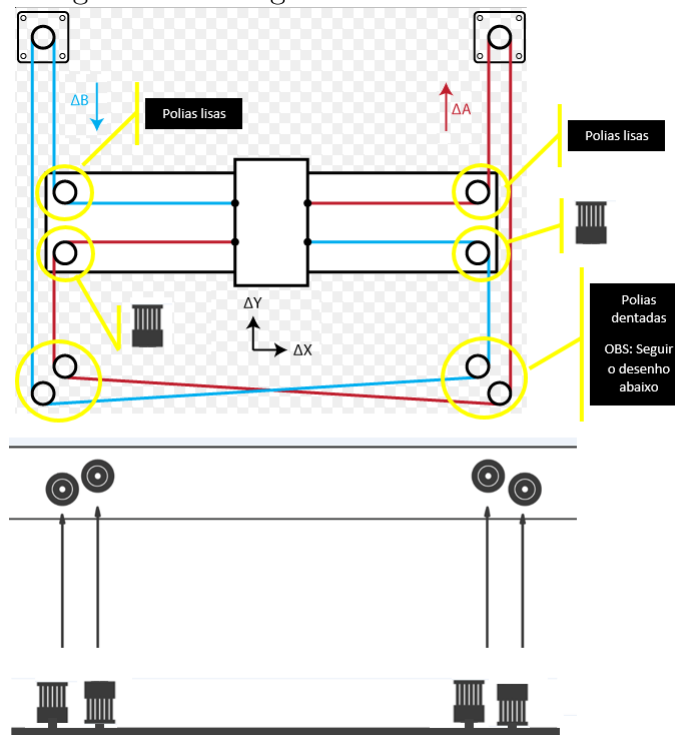


Fonte: Próprio autor

Já com o sistema da cinemática corexy colocado dentro da impressora, se inicia a introdução das correias dentadas. Para a impressora foi escolhida a correia Gt2 de 6mm, encontrada facilmente para a venda no Brasil. Para sua movimentação suave é usado também as polias Gt2 de 20 dentes geralmente vendidas juntas em forma de kit.

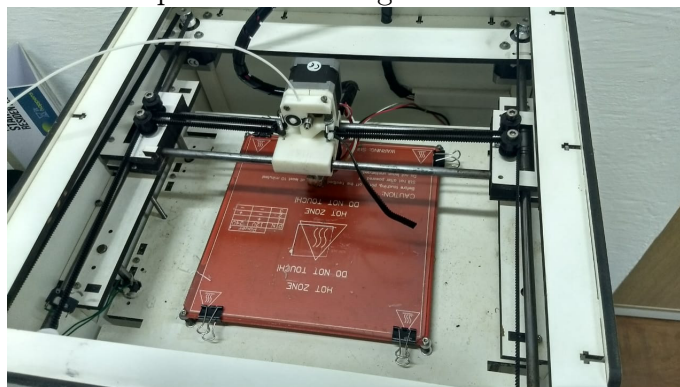
No diagrama da figura 4.19 nas cores vermelho e azul foi utilizada uma correia Gt2 de 6mm de 3 metros e 6 polias Gt2 de 20 dentes. Na figura 4.20 tem-se uma visão superior da montagem.

Figura 4.19: Diagrama do Sistema e correias



Fonte: Próprio autor

Figura 4.20: Visão superior da montagem do sistema de movimentação

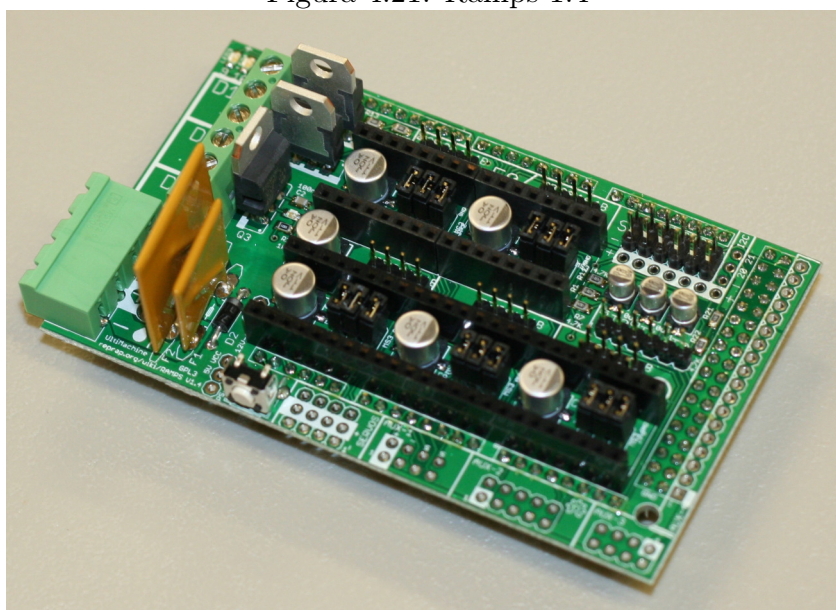


Fonte: Próprio autor

Com o término da montagem da estrutura e da parte mecânica dar-se início a montagem da parte eletrônica.

Como descrito no capítulo 3 a eletrônica usada para controle da impressora e seus periféricos foi o Arduíno Mega e uma Shields para Arduíno mega chamada RAMPS na versão 1.4. Na figura 4.20.

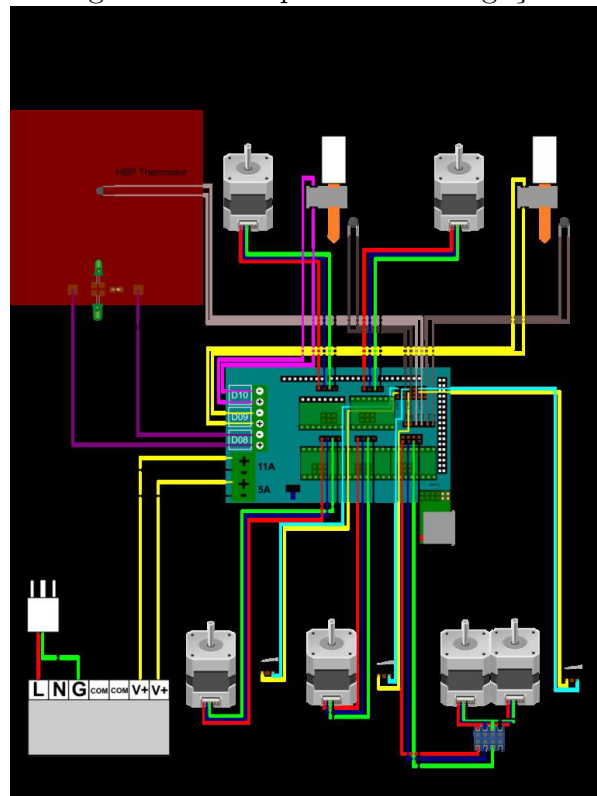
Figura 4.21: Ramps 1.4



Fonte: https://reprap.org/mediawiki/images/8/8c/RAMPS1-3_in.JPG

Na figura 4.21 tem-se visão geral do esquemático de ligação da placa. Vale salientar que, se tratando de um projeto open hardware há uma extensa lista de documentação da montagem na qual podemos encontrar facilmente em sites e fóruns. O guia do esquemático para o projeto da impressora foi retirado de <http://www.instructables.com/id/Wiring-3D-Printer-RAMPS-14/>.

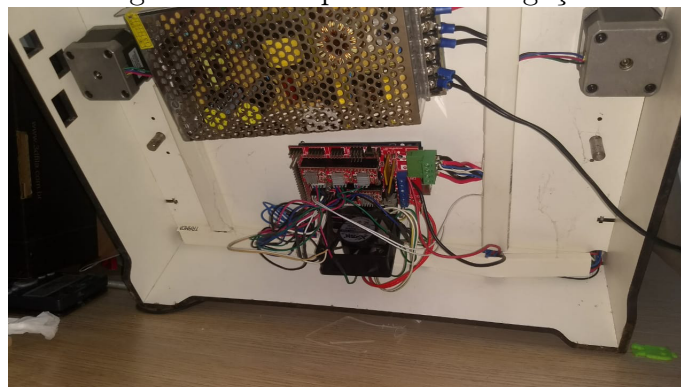
Figura 4.22: Esquemático da ligação



Fonte: <https://cdn.instructables.com/FLY/OVPK/JD2FC2ZK/FLYOVPKJD2FC2ZK.LARGE.jpg>

Na figura 4.22 tem-se uma visão geral da montagem da parte eletrônica fixada na impressora na parte inferior.

Figura 4.23: Esquemático da ligação



Fonte: Próprio autor

Com isso finaliza-se a montagem da parte eletrônica da impressora podendo assim prosseguir com a calibração e posteriormente testes com impressão que serão visto no capítulo seguinte.

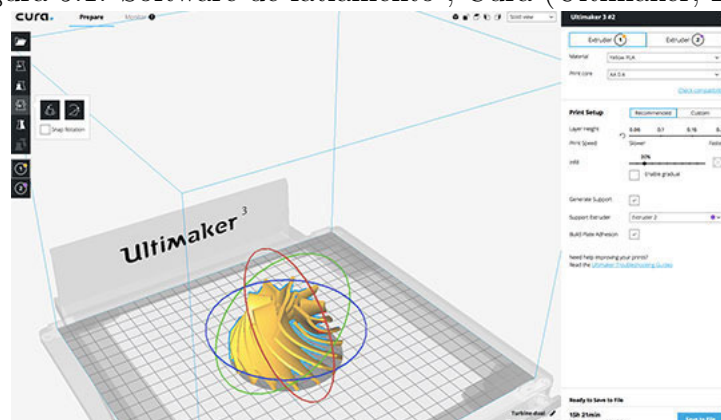
5 RESULTADOS

Com o término da montagem e calibração da Impressora 3D (parte mecânica e eletrônica) vem a parte dos testes experimentais. primeiramente é preciso ter o objeto geométrico em 3D como descrito no capítulo 2. Dentre as opções tem-se a possibilidade de modelar em algum software CAD, ou fazer o download do arquivo em algum repositório on-line ou ainda digitalizar algum objeto real com um scanner para esse fim. Em posse desse arquivo, ele deve ser convertido para uma extensão na qual a máquina possa aceitar.

Para a impressora desse trabalho a extensão é em formato STL, que é um padrão largamente usado em impressoras 3D e consiste em uma representação da superfície do objeto em malha triangular, para a maioria dos modelos não é necessário detalhes como cores e certas texturas.

Na etapa seguinte, o modelo é fatiado em camadas que serão construídas de forma sequencial na máquina. Existem diversos software de fatiamento para esse uso. E o escolhido para esse trabalho foi o CURA (Ultimaker,2012),(figura 5.1) pois além de ser gratuito e de código aberto, possui uma extensa biblioteca na qual pode ser mais facilmente configurado.

Figura 5.1: Software de fatiamento , Cura (Ultimaker, 2012)



Fonte:<https://ultimaker.com/img/support/Adjustment-tools@2x.jpg>

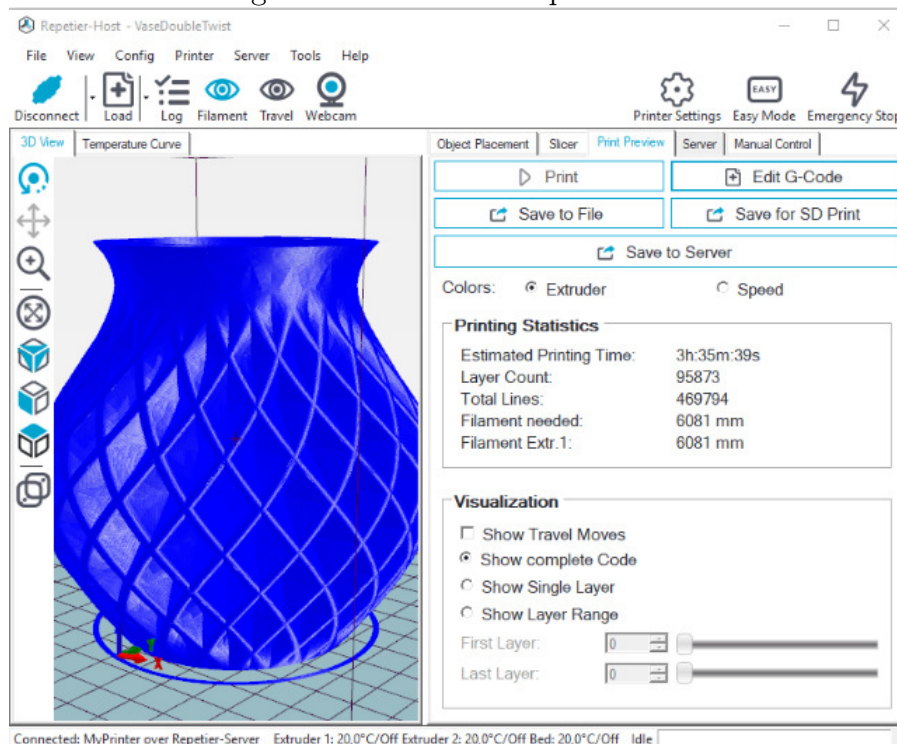
As camadas fatiadas representam um plano 2D associado a uma espessura uniforme, definindo assim as rotas na qual o bico que faz a deposição de material fundido passará. Esta etapa possui várias configurações que variam com cada tecnologia, e é uma

das partes mais importante pois determina a qualidade final e o tempo de construção da peça. Sendo assim o usuário que irá manipular a impressora deverá ter um conhecimento prévio do fatiador e suas configurações.

Depois do fatiamento é gerado um arquivo de comandos do tipo G-Code, que se constitui de uma série de códigos típicos de sistemas de comando numéricos computadorizados para máquinas industriais. No caso de impressora 3D possui informações de temperatura, trajetória de impressão, posicionamento e outras rotinas para a máquina.

O código G-Code pode ser transferido para a impressora basicamente através de 3 maneiras: Um cartão de memória na qual possa inserir diretamente na placa controladora através de shields apropriada, através de comunicação WIFI ou bluetooth na qual também a controladora deve ser ativada para essa função e por último e mais comum, através de um software de interface. O software usado é o Repetier host(figura 5.2). Esse software permite a transferência do G-Code para a impressora e além disso configurar a temperatura da mesa de impressão e a temperatura do bico quente.

Figura 5.2: Software Repetier host



Fonte:<https://www.repetier-server.com/en/wp-content/uploads/2015/06/Repetier-Host-Server-Workflow2.png>

A seguir alguns exemplos de peças impressas, inclusive de protótipos usados

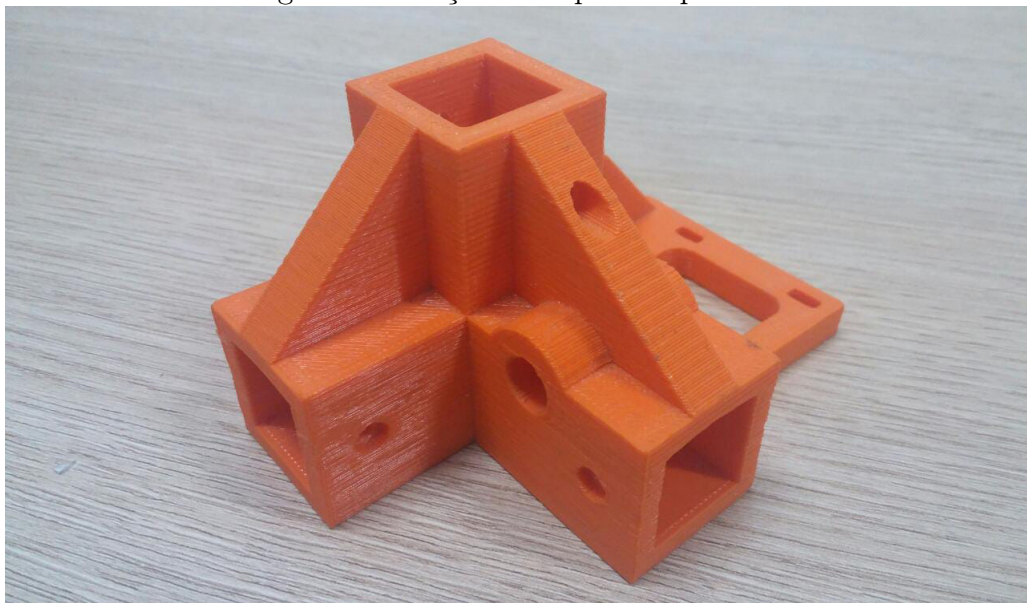
para validar produtos.

Figura 5.3: Engrenagem usada sistema de posicionamento



Fonte:Próprio autor

Figura 5.4: Peça usada para esquadrias



Fonte:Próprio autor

Figura 5.5: Rosca utilizada para transporte



Fonte:Próprio autor

Figura 5.6: Case utilizado para protótipo de eletrocardiograma



Fonte:Próprio autor

Figura 5.7: Engrenagem



Fonte:Próprio autor

Figura 5.8: Palmilha ortopédica



Fonte:Próprio autor

6 CONCLUSÕES

Este trabalho destacou como o desenvolvimento de uma impressora de baixo custo pode contribuir para os processos e desenvolvimentos de produtos e movimentar a economia do estado, sendo esse, ainda muito carente desse tipo de tecnologia, até mesmo dentro das universidades. Além disso, por meio dos estudos realizados procurou-se estabelecer a importância da prototipagem rápida na concepção de novos produtos, o tempo de ciclo de desenvolvimento e aumentando a qualidade de Pré-Produção de um produto.

Foi analisada a tecnologia de Prototipagem Rápida FDM e o funcionamento de uma impressora 3D e seu detalhamento em relação ao seu mecanismo. Através das análises de outras impressora 3D existentes no mercado chegou-se ao projeto RepRap. Nele pôde-se ter o entendimento mais profundo sobre o funcionamento de uma impressora 3D desktop, já que se trata de um projeto aberto e colaborativo de construção de impressora 3D de baixo custo. Entretanto, nesta busca o que ficou evidente é que era necessário otimizar o projeto levando em conta o objetivo do trabalho tais como robustez e confiabilidade para que se pudesse no futuro ser comercializada, portanto, para cada fase houve uma melhor decisão que se adequava as necessidades. Avalio-se os materiais de construção, resistência mecânica e a precisão dimensional.

Após a montagem da impressora e testes de funcionamento observou-se os resultados realizados com a impressora FDM, foi possível identificar que os objetivos foram alcançados e que agora se tem a possibilidade de se comercializar-la como produto.

Hoje a impressora construída a partir desse trabalho consegue imprimir qualquer tipo de objeto com precisão. Ela já ajudou várias pessoas que queriam fazer protótipos mais apresentável para servir como prova de conceito dos seus projetos, inclusive dentro da própria universidade federal do maranhão e até alguns patenteáveis. Observou-se ainda que a utilização dessa tecnologia fomenta a criação de novos produtos que podem alcançar o mercado e assim contribuir para a criação de um ecossistema de inovação do nosso estado.

Referências Bibliográficas

- BENYUS, J. *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature*. New York: William Morrow, Company, 1997.
- CAMPOS, L. E. S. *Impressoras 3D: Definições, tecnologias e aplicações*. [S.l.: s.n.], 2011. ISBN 978-987-27142-4-6.
- CARVALHO, J.; VOLPATO, N. Prototipagem rápida como processo de fabricação. In: VOLPATO, N. (Ed.). *Prototipagem rápida: tecnologias e aplicações*. São Paulo: Edgard Blücher, 2007. ISBN 9788521203889.
- FERREIRA, J. M. G. C. et al. Desenvolvimento integrado de produtos e ferramentas por metodologias de engenharia inversa e prototipagem rápida. In: *3º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto*. Florianópolis, SC.: [s.n.], 2001.
- LIPSON, H.; KURMAN, M. *Fabricated: The New World of 3D Printing*. [S.l.]: Wiley, 2013. ISBN 9781118416945.
- RAMPS. *RepRap Arduino Mega Pololu Shield*. 2017. <https://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4>. Acesso em: Setembro de 2017.
- THRE3D. *THRE3D - 3D Printing, Simplified*. 2017. <<https://thre3d.com>>. Acesso em: 17 de maio de 2017.
- WOZNY, M. Cad and interfaces, jtec/wtec panel report on rapid prototyping in europe and japan. In: *Rapid Prototyping Association of the Society of Manufacturing Engineers*. [S.l.: s.n.], 1997. v. 1, p. 69–90.