

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE MECÂNICA
ENGENHARIA MECÂNICA**

DOUGLAS EDUARDO MIRANDA FRANCO

**ESTUDO E PROJETO DE ADAPTAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE
MANUFATURA ADITIVA A PARTIR DA ESTRUTURA DE UMA
FRESADORA POR COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2014

DOUGLAS EDUARDO MIRANDA FRANCO

**ESTUDO E PROJETO DE ADAPTAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE
MANUFATURA ADITIVA A PARTIR DA ESTRUTURA DE UMA
FRESADORA POR COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, do Departamento de Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho

PONTA GROSSA

2014



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO E PROJETO DE ADAPTAÇÃO DE UMA MÁQUINA DE MANUFATURA ADITIVA A PARTIR DA ESTRUTURA DE UMA FRESADORA POR COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO

por

DOUGLAS EDUARDO MIRANDA FRANCO

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 8 de agosto de 2014 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho
Orientador

Prof. Me. Ruimar Rubens De Gouveia
Membro Titular

Prof. Me. Francisco Emilio Dusi
Membro Titular

Prof. Dr. Luiz Eduardo Melo Lima
Responsável pelos Trabalhos
de Conclusão de Curso

Prof. Dr. Laercio Javarez Junior
Coordenador do Curso de
Engenharia Mecânica

Dedico este trabalho a minha família e amigos por terem me dado tanto apoio quando precisei, segurando a minha mão antes de me deixar cair e guiando a minha mente nos momentos de desilusão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Vasconcelos de Carvalho, pela paciência de ter conseguido me ajudar mesmo passando por todas as turbulências do nascimento de seu terceiro filho.

A minha família por me dar a oportunidade de cursar uma faculdade mesmo distante de casa, me dando todo o apoio e auxílio as necessidades que tive durante todos esses anos.

Ao Sr. Antenor Montibeller Filho pela sua imensa generosidade de ter me oferecido de tudo possível para que este trabalho pudesse ser finalizado, por mostrar que o conhecimento não tem limites e que ensinar o próximo de puro coração é além do que gratificante

Agradeço a minha companheira Emily Camila Antunes, que sempre por perto esteve comigo em todas as etapas da escrita desse trabalho me dando forças e incentivos com suas palavras de carinho e amor.

Enfim, a todos os que por algum motivo contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

FRANCO, Douglas Eduardo Miranda. **Estudo e projeto de adaptação de uma máquina de manufatura aditiva a partir da estrutura de uma fresadora por comando numérico computadorizado**. 2014. 72. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2014.

Este trabalho apresenta um estudo de comparação das estruturas de máquinas de manufatura aditiva por FDM e de máquinas de fresa por comando numérico computadorizado. Um projeto de partes essenciais de uma impressora código aberto foi realizado para a adaptação de uma máquina fresadora por comando numérico computadorizado já existente. Este trabalho conta também com informações básicas de funcionamento das fresas CNC e das impressoras FDM, suas novas tecnologias de impressão e materiais já impressos.

Palavras-chave: Manufatura Aditiva. Fresa. Comando Numérico Computadorizado. FDM. RepRap.

ABSTRACT

FRANCO, Douglas Eduardo Miranda Franco. **Study and design adaptation of an additive manufacturing machine from the structure of a milling machine by computerized numeric control**. 2014. 72. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica - Federal Technology University - Paraná. Ponta Grossa, 2014.

This paper presents a study comparing of FDM additive manufacturing machines and milling cutter machines by computerized numerical control structures. Was performed an essential parts design of an open source printer for the adaptation on an existing milling machine controlled by computerized numeric control. . This paper also has basic CNC mills and FDM printer's information, their new printing technology and materials already used to print.

Keywords: Additive Manufacturing. Milling Cutter. Computerized Numeric Control. FDM. RepRap.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Esquema de fresa CNC	15
Figura 2 – Tecnologias de adição de material.....	21
Figura 3 - Aparato e método para a criação de objetos 3D.....	24
Figura 4 – Filamentos ABS para impressão 3D.	26
Figura 5 – Nozzle	27
Figura 6 - Aplicação do material de apoio.	28
Figura 7 - Modelo de deposição por fusão	28
Figura 8 - Estrutura das impressoras RepRap	31
Figura 9 - Fresa CNC construída pelo professor José Alexandre Campos	32
Figura 10 – Estrutura de portal de impressoras FDM RepRap.....	33
Figura 11 - Pastas compartilhadas para realização dos trabalhos	37
Figura 12 - Ficha de catalogação preenchida	42
Figura 13 - Desenho técnico 3D-EST-001	43
Figura 14 - Montagem completa fresa CNC.....	44
Figura 15 - Local de fixação 3D.EXT.001	47
Figura 16 - Detalhes peças extrusor.	48
Figura 17 - Cálculo de peso do cabeçote extrusor	49
Figura 18 - Propriedades Aço ASTM A36	50
Figura 19 - Estudo de tensões 3D.EXT.001	50
Figura 20 – Malha e estudos de tensão, deformação e deslocamento na peça.....	51
Figura 21 - Esquema de ligação RAMPS 1.4.....	53
Figura 22 – Cabeçote extrusor impresso por FDM.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Modelos de impressoras RepRap e suas características.....	30
Tabela 2 - Limitações fresa CNC existente	34
Tabela 3 - Lista de materiais catalogados fresa CNC	44
Tabela 4 - Peças utilizadas para cabeçote extrusor	46
Tabela 5 - Resultados de testes em material ABS	52
Tabela 6 - Lista de eletrônicos para transformação CNC em impressora 3D.....	53
Tabela 7 - Método de obtenção das peças	54

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
1.1 JUSTIFICATIVA.....	13
1.2 OBJETIVOS.....	14
1.2.1 Objetivo geral.....	14
1.2.2 Objetivos específicos	14
2 REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO - FRESAGEM.....	15
2.1.1 Código G.....	16
2.2 PROTOTIPAGEM RÁPIDA.....	18
2.2.1 Prototipagem Rápida	18
2.2.2 Manufatura Aditiva	20
2.2.3 Aplicações	23
2.3 PROCESSO FDM.....	23
2.3.1 Estado da arte.....	23
2.3.2 Particularidades	25
2.3.3 Impressoras FDM – Caso RepRap	29
2.3.3.1 Modelos	30
2.3.3.2 Componentes.....	30
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	32
3.1 ANÁLISE DO EQUIPAMENTO EXISTENTE	32
3.1.1 Estrutura	32
3.2 MÉTODO DE TRABALHO	34
3.2.1 Alocação da máquina CNC em um laboratório para estudo	35
3.2.2 Desmontagem da máquina.....	36
3.2.2.1 Catalogação das peças.....	36
3.2.3 Estudo das peças não conhecidas pelo grupo.....	38
3.2.4 Projeto em CAD das peças desmontadas	38
3.2.5 Modelagem de peças necessárias para transformação em impressora 3D ...	38
3.2.6 Estudo da parte elétrica da máquina	39
3.2.7 Compra/fabricação dos equipamentos necessários para a transformação em uma impressora 3D	39
3.2.8 Aplicação das modificações necessárias para a transformação em uma impressora 3D.....	40
3.2.9 Remontagem da máquina.....	40
4 RESULTADOS	40
4.1 RESULTADOS DAS ETAPAS	40
4.1.1 Alocação da máquina CNC em um laboratório para estudo	40
4.1.2 Desmontagem da máquina, estudo das peças não conhecidas pelo grupo e projeto em CAD das peças desmontadas.	41

4.1.3 Modelagem de peças necessárias para transformação em impressora 3D ...	46
4.1.4 Estudo da parte elétrica da máquina	52
4.1.5 Compra/fabricação dos equipamentos necessários para a transformação em uma impressora 3D	54
4.1.6 Aplicação das modificações necessárias para a transformação em uma impressora 3D	56
5 CONCLUSÃO	57
6 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS	58
REFERÊNCIAS	59
APÊNDICE A - Ficha de catalogação	62
ANEXO A - Desenho técnico da montagem do cabeçote extrusor. Peça número 3D.EXT.007	65
ANEXO B - E3D V6 1.75 UNIVERSAL	67
ANEXO C - Motor de passo Nema 17	69
ANEXO D - Hotend E3D V6	71

1 INTRODUÇÃO

Em um projeto de um novo produto, são necessárias horas de estudos sobre quais materiais são necessários para sua construção, quais serão as etapas de sua produção e como esse produto se parecerá após a sua execução para a venda.

A transformação de uma peça imaginária para o real é um processo muito delicado e trabalhoso, aonde quanto mais realista seu protótipo ficar, mais sensível será a percepção do projetista. Esta sensibilidade de percepção auxilia na busca de erros e melhorias para a peça antes de uma produção em massa, onde um erro na linha final pode causar danos financeiros altíssimos.

Muitos métodos para a obtenção de um protótipo já foram utilizados. Em épocas antigas, marceneiros usavam da madeira e esculpiam os protótipos na busca de chegar em uma forma que se parecesse muito com o projeto. Eram feitos também protótipos em gesso, isopor e outros. Para os níveis exigidos de precisão da época, estas técnicas eram aceitáveis.

Com o avanço das tecnologias e a necessidade de uma diminuição no tempo de projeto de um produto, estes se tornaram cada vez mais complexos e muito parecido com a realidade. Programas de desenho auxiliado por computadores (CAD) começaram a ser utilizados, onde poderiam ser feitos desenhos em 2 dimensões e 3 dimensões, aumentando ainda mais a sensibilidade do projetista. Surgiu então a necessidade da utilização de meios mais precisos para a produção de protótipos.

Como resposta a essa necessidade, começaram a ser usadas máquinas com comando numérico computadorizado (CNC). O CNC surgiu em 1949 por John C. Parsons. O CNC é uma linguagem basicamente constituída por coordenadas cartesianas e alguns códigos que determinam a localização de um ponto em um volume predeterminado. Equipamentos de usinagem como tornos, fresas, furadeiras entre outros hoje utilizam essa linguagem para efetuar o trabalho. O CNC dá a capacidade de trabalho em vários eixos simultâneos, efetuando a retirada de matéria usinada por camadas de acordo com a ferramenta utilizada. Esse processo é muito preciso e dá a possibilidade da criação de formas bastante diferenciadas.

Um grande limitador da utilização de maquinários de usinagem com linguagem CNC é o custo de produção. Para o uso deste tipo de maquinários ser

viável, a produção tem que ser em alta escala e sem interrupção. Como a fabricação de protótipos se limitam em poucas quantidades de peças que são usadas para testes e análises, o custo para a fabricação de protótipos por CNC acabam ficando caros e pouco viáveis.

Sempre em busca de maneiras para viabilizar os processos, máquinas de prototipagem rápida (PR) vem se mostrando bastante promissora para a produção de protótipos. Essa tecnologia utiliza o CNC para efetuar um movimento de um cabeçote extrusor e fazer a adição de finas camadas de materiais, uma em topo da outra, obtendo assim a forma final. Máquinas de prototipagem rápida são comercialmente chamadas de Impressoras 3D.

Muitos materiais podem ser utilizados para a impressão, entre eles estão plásticos (ABS, polímeros, acrílico), metais (aço, titânio, ouro, prata), compostos cerâmicos, papel, borracha, areia e até mesmo o açúcar (Karasinski, 2013). Existem muitos modelos de impressoras 3D, todas com o mesmo princípio de adição de camadas, mas devido ao material o método pode mudar. Em nosso estudo será abordado as impressoras Fused Deposition Modeling (FDM), que significa em tradução direta, Deposição por Fusão de Material, onde o material é fundido e depositado em camadas.

Assim como as fresadoras CNC, as impressoras FDM compartilham da mesma estrutura. A movimentação dos eixos no espaço se faz da mesma forma nos dois métodos. Pensando nesta similaridade, surge então o propósito do estudo, um projeto de adaptação de uma máquina de prototipagem rápida por adição de camadas a partir da estrutura de uma fresadora por comando numérico computadorizado.

1.1 JUSTIFICATIVA

O presente estudo tem como visão a adaptação de uma máquina de fresa CNC para uma máquina de manufatura aditiva por FDM. Isto traz como objetivo obter esta adaptação efetuando o mínimo de modificações físicas possíveis, com isto, a mesma máquina pode ser utilizada no futuro com o princípio do qual foi construído.

A estrutura de uma máquina fresa CNC é calculada para ser rígida e obter altas velocidades de corte. Impressoras 3D por processo FDM não compartilham de uma estrutura tão rígida, não suportando então grandes velocidades e suas impressões podem levar cerca de 3 a 72 horas, dependendo do tamanho e da complexibilidade do objeto (GORNÍ, 2001). A junção do método FDM em uma estrutura rígida e superdimensionada pode gerar um aumento significativo no tempo de produção de peças impressas.

A tecnologia de impressão 3D não é nova, mas está se difundindo muito mais no século XXI. Existem muito a ser pesquisado e conhecido sobre esse assunto. Com isso, este trabalho também tem como objetivo criar um grupo de estudos na Universidade Tecnológica Federal do Paraná com a finalidade de integrar os participantes sobre o assunto e instiga-los a continuar, abrindo assim mais uma linha de pesquisa na universidade.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Estudar e projetar a adaptação de uma máquina de manufatura aditiva a partir da estrutura de uma fresadora por comando numérico computadorizado.

1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- Estudar a estrutura de uma máquina de usinagem por fresa CNC projetada pelo professor José Alexandre de Campos, UTFPR-PG, e a estrutura de uma impressora 3D por FDM.
- Projetar as modificações necessárias para a adaptação dos componentes de uma impressora 3D por FDM na máquina de usinagem por fresa CNC.
- Criação de um grupo de estudos com a finalidade de inteirar-los sobre o assunto e manter os estudos sobre a tecnologia de impressão presente na faculdade.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 COMANDO NUMÉRICO COMPUTADORIZADO - FRESAGEM

A fresagem é um método de usinagem onde a ferramenta utilizada para a usinagem é fixa ao longo do eixo Z, sofrendo rotação linearmente ao o eixo, e através da movimentação de uma mesa (eixos X, Y e Z) onde um bloco a ser usinado é fixado ocorre a retirada do material. Abaixo podemos ver um exemplo de fresadora e suas partes.

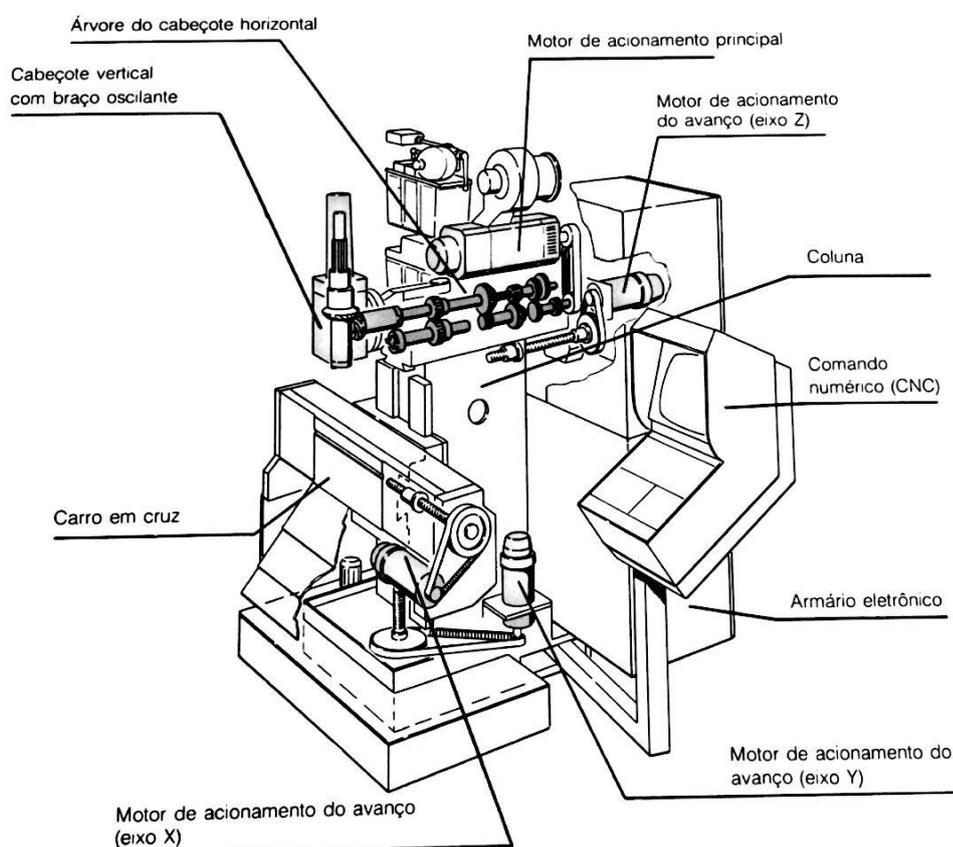


Figura 1 - Esquema de fresa CNC
Fonte: MAHO AG (1990)

Analisando a figura, podemos ver que existem motores de acionamento nos três eixos X, Y e Z da máquina. Esses motores são responsáveis pelo movimento de translado dos eixos, não necessitando assim de força física. Para poder produzir um

movimento tridimensional desejado na ferramenta, estes 3 eixos podem, ao mesmo tempo, ser interpolados linearmente. (MAHO AG, 1990)

O método de interpolação de movimentação dos eixos é feito através de controles numéricos controlados pelo computador. Estes controles são feitos por códigos que enviam sinais para os motores fazendo com que eles se movimentem separadamente ou em conjunto, efetuando assim a movimentação do bloco sobre a ferramenta e assim a usinagem.

2.1.1 Código G

O código G é a linguagem utilizada pelo computador controlador da fresadora. Um código G cria um programa de controle numérico que consiste de várias sentenças, que são introduzidas linha por linha na memória dos programas. (MAHO AG, 1990)

Esta linguagem é capaz de controlar toda a máquina, tendo assim códigos específicos para tipos de movimentação dos eixos, ponto de partida e parada, avanço, rotação, correção ferramental e controles de liga e desliga da máquina.

Existem muitos tipos de código G normatizadas e utilizadas por diferentes distribuidoras de maquinários. No quadro abaixo podemos analisar os códigos e seus significados do padrão ISO 1056, para melhor entendimento.

Código	Função
G00	Posicionamento rápido
G01	Interpolação linear
G02	Interpolação circular no sentido horário (CW)
G03	Interpolação circular no sentido anti-horário (CCW)
G04	Temporização (Dwell)
G05	Não registrado
G06	Interpolação parabólica
G07	Não registrado
G08	Aceleração
G09	Desaceleração
G10 a G16	Não registrado
G17	Seleção do plano XY
G18	Seleção do plano ZX

G19	Seleção do plano YZ
G20	Programação em sistema Inglês (Polegadas)
G21	Programação em sistema Internacional (Métrico)
G22 a G24	Não registrado
G25 a G27	Permanentemente não registrado
G28	Retorna a posição do Zero máquina
G29 a G32	Não registrados
G33	Corte em linha, com avanço constante
G34	Corte em linha, com avanço acelerando
G35	Corte em linha, com avanço desacelerando
G36 a G39	Permanentemente não registrado
G40	Cancelamento da compensação do diâmetro da ferramenta
G41	Compensação do diâmetro da ferramenta (Esquerda)
G42	Compensação do diâmetro da ferramenta (Direita)
G43	Compensação do comprimento da ferramenta (Positivo)
G44	Compensação do comprimento da ferramenta (Negativo)
G45 a G52	Compensações de comprimentos das ferramentas
G53	Cancelamento das configurações de posicionamento fora do zero fixo
G54	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (01)
G55	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (02)
G56	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (03)
G57	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (04)
G58	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (05)
G59	Zeragem dos eixos fora do zero fixo (06)
G60	Posicionamento exato (Fino)
G61	Posicionamento exato (Médio)
G62	Posicionamento (Groceiro)
G63	Habilitar óleo refrigerante por dentro da ferramenta
G64 a G67	Não registrados
G68	Compensação da ferramenta por dentro do raio de canto
G69	Compensação da ferramenta por fora do raio de canto
G70	Programa em Polegadas
G71	Programa em metros
G72 a G79	Não registrados
G80	Cancelamento dos ciclos fixos
G81 a G89	Ciclos fixos
G90	Posicionamento absoluto
G91	Posicionamento incremental

G92	Zeragem de eixos (mandatário sobre os G54...)
G93	Avanço dado em tempo inverso (Inverse Time)
G94	Avanço dado em minutos
G95	Avanço por revolução
G96	Avanço constante sobre superfícies
G97	Rotação do fuso dado em RPM
G98 e G99	Não registrados

Quadro 1 - Códigos G e suas funções (ISO 1056)
Fonte: Mundo CNC (2008)

Cada linha é constituída pela letra N e o número da linha, em seguida, por um tipo de código seguido pelo valor desejado para o código. Por exemplo:

```
N10 G70
N11 G63
N12 G60 X10 Y10 Z10
```

Este código significa que na linha 10, será empregado o sistema de polegadas, na linha 11 será ligado o liquido refrigerante de corte e que na linha 12 a ferramenta fará um posicionamento exato para a coordenada X=10 Y=10 e Z=10.

2.2 PROTOTIPAGEM RÁPIDA

2.2.1 Prototipagem Rápida

Com mais de 20 anos de história, a PR era usada para a fabricação de protótipos feitos exclusivamente de polímeros, com o objetivo de comunicação e inspeção. PR é um termo que abraça algumas tecnologias para produção de peças precisas diretamente de modelos CAD em algumas horas, com pouca intervenção de humanos (PHAM et al, 1997).

Com os protótipos impressos por meio da PR, podia-se testar, manusear e sanar dúvidas sobre os projetos com mais agilidade, obtendo assim um grande ganho em questão de tempo.

Como o polímero, enquanto material, era o limitador desta tecnologia PR, novos estudos foram alavancados para a busca de diferentes materiais capazes de

serem utilizados. Essa transição é o ponto culminante de uma série de desenvolvimentos evolucionários em materiais e processos, combinados com a redução de custos da tecnologia. (CAMPBELL et al, 2012)

A partir destes estudos, máquinas foram desenvolvidas com tecnologias capazes de usar diferentes materiais em seus processos. Karasinski (2013), em uma publicação de infográfico, cita materiais que hoje podem ser impressos:

- Plásticos (ABS, polímeros, acrílico);
- Metais (aço, titânio, ouro, prata);
- Compostos de cerâmica;
- Papel;
- Açúcar;
- Borracha;
- Areia e
- Tecidos humanos.

Isto fez com que as peças impressas em máquinas de Prototipagem Rápida ganhassem uma grande precisão e este alavanque fez com que estas pudessem ser utilizadas diretamente no local projetado, sem precisar de outros métodos de usinagem para serem fabricadas. Este fato fez com que a Prototipagem Rápida fosse chamada de Manufatura Aditiva (MA).

Campbell et al, (2012), mostra alguns pontos que podem aumentar em muito a utilização da MA no dia a dia em diversos ramos da engenharia e outros. Entre os citados ele diz:

- Se houver um aumento da velocidade de fabricação significativa, peças ficarão disponíveis em minutos e não horas.
- É possível que processos de MA sejam usados em conjunto com outros processos de manufatura e que também possam ser automatizados.
- Uma área de aplicação completamente nova que pode se desenvolver é a engenharia de tecidos, onde abordagens de MA são usados para gerar estruturas que irão resultar em implantes médicos.

2.2.2 Manufatura Aditiva

Muitos trabalhos sobre MA foram publicados nos últimos anos. Thrimurthulu et al (2003), Brajliah et al (2011) e Mello et al (2013) tratam em seus trabalhos sobre diversos assuntos a respeito da MA. Assuntos sobre como diferentes tipos de materiais já impressos e tipos de processos de impressão estão sendo descobertos; dificuldades de implementação da MA em empresas; qualidade superficial dos diferentes materiais impressos e mais. Todos eles definem MA como um processo de fusão de material e adição por pequenas camadas. Essas camadas são colocadas uma ao topo da outra por diferentes tipos de processos de fusão até obter o objeto projetado. Mesma ideia da prototipagem rápida, mas mais eficiente.

Com a diversidade de materiais que podem ser impressos, foram surgindo diferentes tipos de máquinas e processos de fabricação. Pham e Gault (1997) dedicaram seu trabalho em explicar os tipos existentes de MA na época. Com os dados, o fluxograma apresentado na figura 2 foi criado:

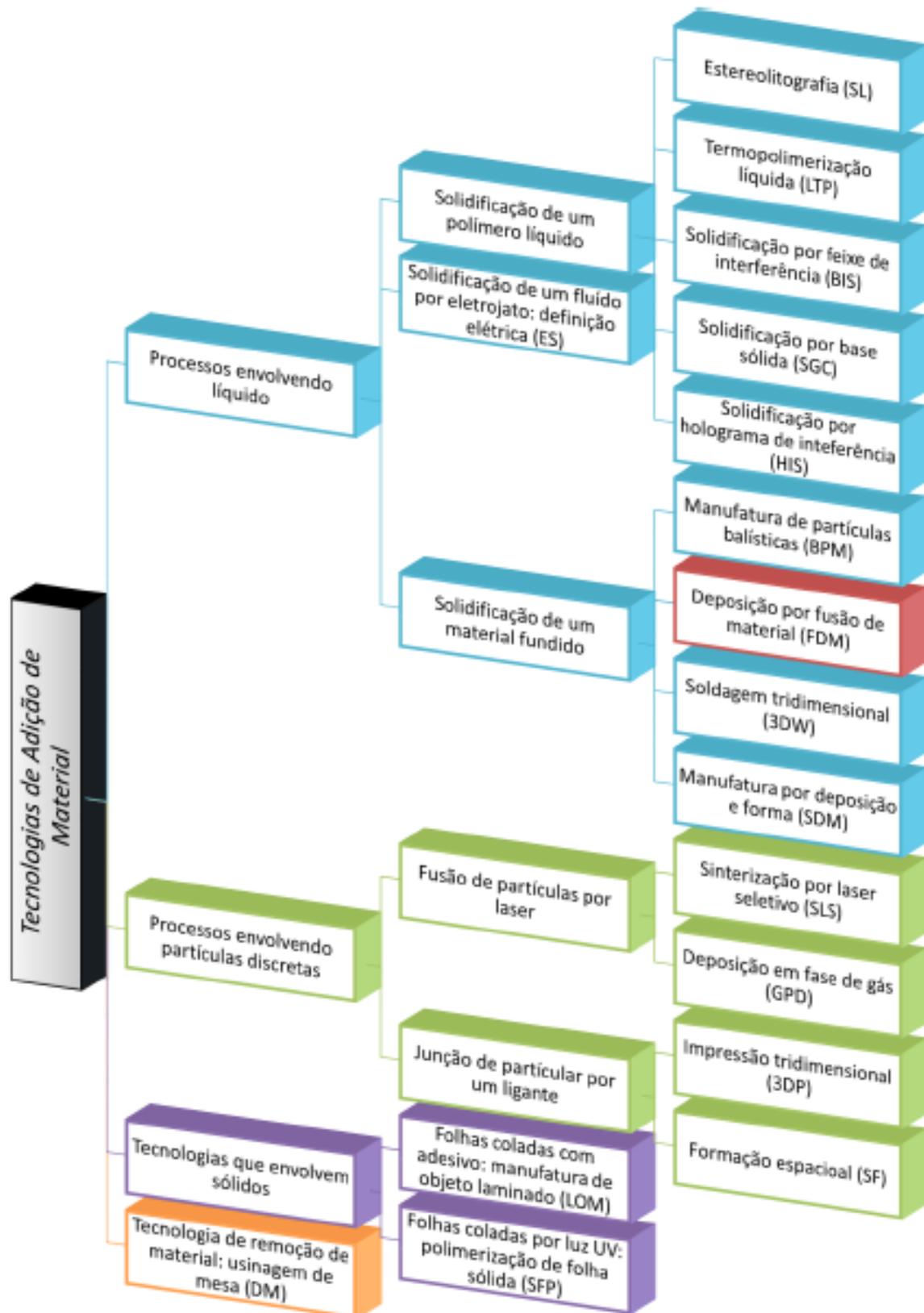


Figura 2 – Tecnologias de adição de material.
Fonte: PHAN (1997)

Mello et al (2013) e Campbell et al (2012) mostram que existe um grande número de tecnologias já aplicadas comercialmente por empresas. Algumas das mais usadas são a *stereolithography* (SL) pela 3D Systems, a *fused deposition modelling* (FDM) pela Stratasys e *selective laser sintering* (SLS) pela DTM.

Para a obtenção de peças por meio da MA, alguns processos devem ser respeitados. Gibson et al, (2009) em seu livro publicado mostra em seu primeiro capítulo os processos genéricos para a obtenção de peças com MA:

1. Projeto em CAD;
2. Conversão para formato STL;
3. Transferência do formato STL para a máquina;
4. Ajustes da Máquina;
5. Impressão;
6. Remoção da peça da máquina;
7. Pós processamento (limpeza) e
8. Aplicação.

Projeto em CAD são os desenhos feitos em computador, onde medidas e formas são informados no programa e figuras em 3D ou 2D são geradas. Exemplos de programas CAD são: SolidWorks, Solid Edge, Inventor, AutoCAD e Sketchup. O formato STL é gerado, muitas vezes, pelos próprios programas de CAD. Este formato é uma extensão do arquivo de desenho suportado pelos softwares das impressoras 3D. A transferência do formato STL para a máquina é feito através de portas seriais.

Os ajustes se fazem diferentemente de máquina para máquina devido aos diferentes processos de impressão. Nesta etapa de ajustes, programas particulares de cada máquina criam códigos que definem a movimentação dos eixos, muito parecida com o processo de usinagem por CNC.

A remoção da peça, pós processamento são as últimas etapas de fabricação onde se diferenciam de processo em processo de impressão.

2.2.3 Aplicações

Com a grande variedade de materiais que hoje podem ser impressos, as aplicações de objetos em 3 dimensões de impressão por MA são diversas. A disseminação desta tecnologia é tão importante que com seu crescimento não ficamos somente presos nas áreas de engenharia em um todo. Campbell et al, (2012), exemplificou algumas das áreas que já existem pesquisas em andamento:

- Os fabricantes automotivos exploraram a tecnologia por causa da capacidade de ajudar os novos produtos a chegar ao mercado mais rapidamente e de uma forma previsível.
- Empresas aeroespaciais estão interessados nestas tecnologias devido à capacidade de obter produtos altamente complexos e de alto desempenho.
- Indústrias médicas estão particularmente interessados em tecnologia de MA por conta da facilidade em que os dados de imagens médicas 3D podem ser convertidos em objetos sólidos.

2.3 PROCESSO FDM

2.3.1 Estado da arte

Como visto na figura 2, o processo Deposição por Fusão de Material (FDM) foi ressaltado pois ele é um dos assuntos do trabalho.

O processo FDM foi patenteado por Crump (1992). Em sua patente, com auxílio da figura 3, ele explica como é constituído um equipamento para a criação de objetos 3D por FDM. Ele especifica que o maquinário é composto por uma cabeça de deposição móvel com suplemento de material que solidifica a uma temperatura predeterminada. A base tem movimento relativos aos eixos X, Y e Z e essa movimentação composta é capaz de criar componentes 3D com a deposição do material por camadas.

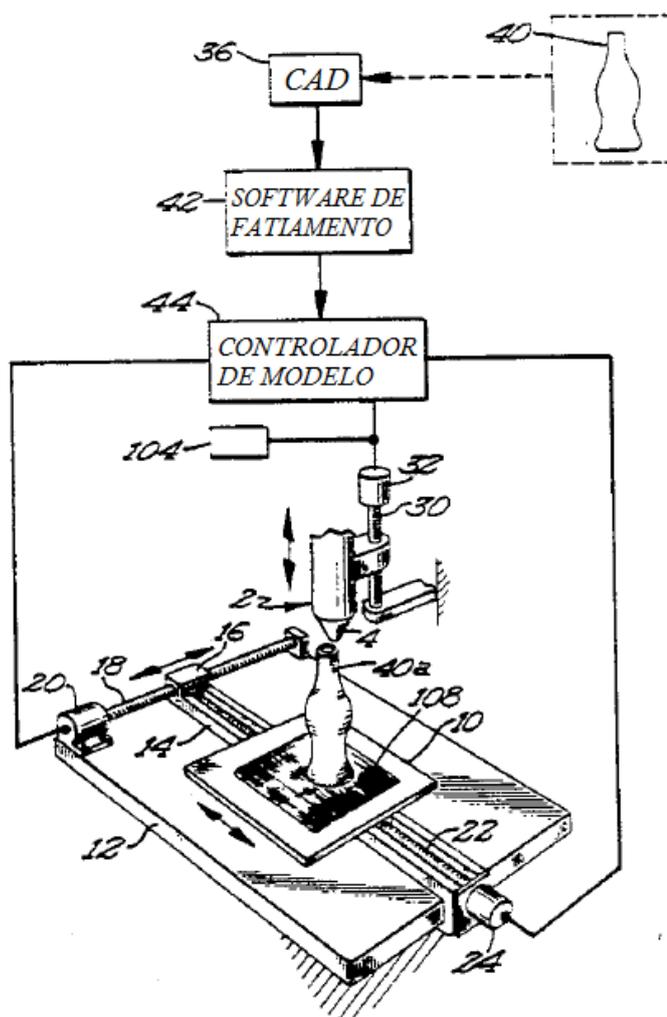


Figura 3 - Aparato e método para a criação de objetos 3D
Fonte: CRUMP (1992)

Estudos de novas tecnologias foram feitos visualizando o aperfeiçoamento desta técnica. Percebe-se que a tecnologia fornecida pelos processos FDM já está sendo utilizada em larga escala em diversas áreas. Sá et al, (2008) mostrou em seu trabalho a possibilidade da conversão de imagens tomográficas biomédicas, em modelos teóricos tridimensionais utilizando a MA por FDM para a produção dos modelos.

Dos Santos et al (2009) criou uma ferramenta experimental onde através de ultrassom de mulheres grávidas se conseguia extrair um desenho 3D do esqueleto da criança e este era impresso para análise de cirurgias que poderiam ser necessárias. Um pouco mais tarde, em 2010, conseguiu obter modelos 3D de crianças que sofriam má formação no útero para explicar às mães o motivo.

A área de MA na biomédica está sendo muito pesquisada na atualidade. Já existem casos surpreendentes aonde pais produzem próteses mecânicas que se mechem para filhos que nasceram com problemas. Um caso foi mostrado por Reilly (2013) onde o pai produziu uma prótese para a mão do filho em casa com uma máquina impressora FDM. A prótese custou cerca de \$5,00 – \$10,00, enquanto uma prótese feita em laboratório custaria mais de \$30.000,00.

Murugesan et al, (2012), diz que uma vantagem deste sistema é que ele pode ser visto como um mecanismo de prototipagem de mesa em um escritório de design já que os materiais que são usados são baratos, não-tóxicos, sem cheiro e ambientalmente corretos. Há também uma grande variedade de cores e materiais disponíveis, tais como a cera da carcaça de investimento, plástico ABS, ABS da classe médica (MABS) e elastômeros.

Nos Estados Unidos, um grupo chamado Defense Distributed criou a primeira arma, chamada Liberator, impressa totalmente em plástico e utilizando a tecnologia FDM. (Hadhazy, 2013).

A NASA tem trabalhado no desenvolvimento de novos produtos com o FDM, assim eles seriam capazes de imprimir a estrutura total de Veículos Aéreos não Tripulados (UVAs) (EITEL, 2014).

Através desses exemplos podemos perceber o quanto a tecnologia de impressão FDM é difundida, podendo ser utilizadas para trabalhos simples em casa até a casos mais precisos e delicados. Isto se faz pelo fato das impressoras FDM não terem um custo muito elevado e obter um bom resultado com as peças impressas.

2.3.2 Particularidades

O FDM é um dos diversos processos existentes para a criação de impressos em 3 dimensões. Como todos os outros processos, ele apresenta algumas particularidades.

Gibson et al (2009), esclarece que o processo para impressão de FDM se decorre dos seguintes passos:

- Carregamento do material;
- Derretimento do material;
- Aplicação de pressão para forçar o material a sair pelo bocal;
- Extrusão;
- Impressão de acordo com um caminho predefinido e de uma maneira controlada;
- União do material a si mesmo ou de materiais de construção secundários, para formar uma estrutura sólida coerente;
- Inclusão de estruturas de suporte para auxiliar recursos de geometria complexa.

Materiais impressos pelos processos FDM são Plásticos (ABS, polímeros, acrílico). Estes materiais, para serem impressos, são fabricados em filamentos de diferentes cores e enrolados em forma de rolos cilíndricos, como na figura 4.



Figura 4 – Filamentos ABS para impressão 3D.
Fonte: Robtec (2014) - Editado

Como no primeiro passo proposto por Gibson et al (2009), estes filamentos são acoplados a máquina FDM e a ponta é levada ao cabeçote extrusor. Os três próximos passos são executados pelo cabeçote extrusor, que aquece o material até 0.5°C acima do ponto de fusão, isso faz com que o material se solidifique 0.1

segundos após a extrusão, se soldando com as outras camadas já extrudadas. (PHAM et al 1997).

Na extrusora tem-se uma peça que é chamada de *nozzle* (nariz), que pode ser vista na figura 5. Esta peça pode ter formato cilíndrico ou hexagonal. Contém um orifício que passa por toda a sua estrutura. A estrutura desse nariz determina o formato e tamanho do filamento extrudado. Um nariz com diâmetro de furo maior vai proporcionar o fluxo maior de material (mais velocidade de impressão), mas resultará em uma peça com pequena precisão comparado com o desenho do CAD original. (GIBSON 2009).



Figura 5 – Nozzle
Fonte: Autoria própria

O quinto passo é a impressão. Podemos dividir este passo em duas etapas:

1. Movimento nos eixos X e Y juntamente com a extrusão. Aqui a velocidades de movimento dos eixos é importante. Muito rápida exige do cabeçote uma extrusão maior e muito lenta pode ocasionar na aglomeração de material.
2. Movimento ou do caçote ou da base de impressão no eixo Z. Esta distância tem de ser igual ou pouco superior a largura das camadas impressas.

O sexto passo é a repetição da 1ª etapa do quinto passo com o novo percurso da extrusão. A inclusão de materiais de apoio se faz vezes manuais ou vezes pelos próprios bicos injetores. Esses materiais servem de apoio para as camadas futuras que podem ter o risco de caírem ou se deformarem, como no caso de peças que terão alguma geometria em balanço (figura 6).

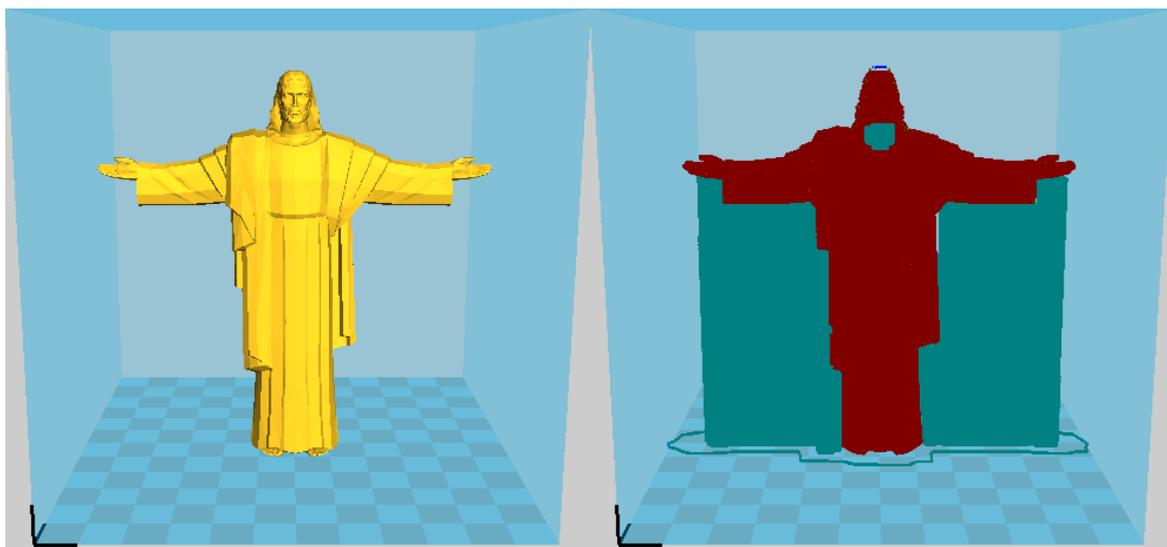


Figura 6 - Aplicação do material de apoio.
Fonte: Autoria própria

A figura 7 mostra os eixos, o cabeçote extrusor, o filamento exemplificado na quinta etapa proposta por Gibson e os materiais de apoio.

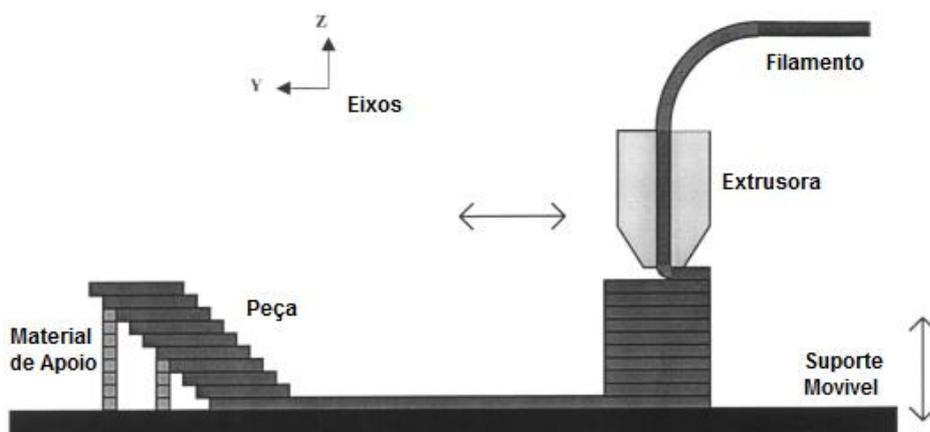


Figura 7 - Modelo de deposição por fusão
Fonte: PHAN (1997) - Editado

Alguns modelos de impressoras são compostos por dois ou mais cabeçotes extrusores. Com isto, um ou mais ficam responsáveis pela injeção dos materiais de impressão, com cores diferenciadas por exemplo, e outro cabeçote fica responsável pela injeção dos materiais de apoio.

Este material de apoio é removido após a impressão por simples quebra ou por meio de compostos químicos que reagem com o apoio mas não reagem com o material impresso.

2.3.3 Impressoras FDM – Caso RepRap

O comércio de impressoras 3D e seus componentes estão crescendo exponencialmente. Alguns modelos importados de impressoras são a Makerbot, Stratasys e 3D Systems. O mercado brasileiro conta com a marca Cliever. Os valores de aquisição são de R\$ 5.000,00 para mais simples e R\$ 30.000,00 para as mais robustas e precisas. Como uma alternativa de redução do valor de aquisição, surgiram as impressoras RepRap com custo na ordem de R\$ 2.000,00.

As impressoras RepRap foram inicialmente criadas por Adrian Bowyer. Elas são impressoras FDM de estrutura simples e fáceis de manusear. O mais interessante dessa impressora é que com uma, você pode imprimir peças que fazem parte da própria impressora e assim criar outra idêntica ou melhorada de acordo com o seu projeto. Essa ideia de criação faz com que a tecnologia da impressão 3D por FDM seja mais difundida e seus diversos modelos de máquinas trazem opções satisfatórias para todos os tipos de necessidades.

Hoje em dia o projeto RepRap é composto por 16 pessoas espalhadas em todo o mundo e muitas outras que ajudam informalmente, já que este projeto é aberto e qualquer pessoa pode modificar e melhorar sua própria impressora, desde que respeite os direitos autorais dos autores.

Adrian Bowyer tem em mente essa propagação das impressoras para que não precisemos mais sair de casa para comprar peças pequenas que poderiam ser impressas em casa, bastando simplesmente que a pessoa crie seu próprio projeto ou faça um download, como é feito com músicas e filmes hoje em dia, evitando o aglomerado de estoques e transportes. (REPRAP, 2014)

2.3.3.1 Modelos

Como dito anteriormente, já existem diversos modelos das impressoras RepRap, com variadas estruturas e métodos de trabalho. Estas impressoras foram criadas pelos colaboradores direto da empresa RepRap contando também com as modificações vindas de todo o mundo.

Abaixo na tabela 1 é listado alguns dos principais modelos de impressoras com suas principais características:

Tabela 1 - Modelos de impressoras RepRap e suas características	
Modelos	Características
Original Huxley	A RepRap mini original
Darwin	A primeira RepRap
Wallace	Pequena RepRap designada a ser montada com menos peças e diminuir a complexidade de montagem
Original Mendel	Totalmente funcional, mas mais complicada que outras variações.
RepRapPro Huxley	Pequena RepRap, desenhada para reduzir a quantidade de peças de montagem e ter portabilidade
RepRapPro Tricolour Mendel	RepRap projetada para obter muitos materiais de muitas cores na impressão 3D.

Fonte: RepRap (2014)

A partir destas impressoras, muitas outras foram sendo criadas, modificadas e disponibilizadas para fabricação comunitária.

2.3.3.2 Componentes

Como uma impressora RepRap tem o princípio de ser simples, básica e funcional, pode-se entender que sua estrutura é a essencial para qualquer impressora 3D por FDM. A estrutura de uma impressora RepRap pode ser vista na figura abaixo:

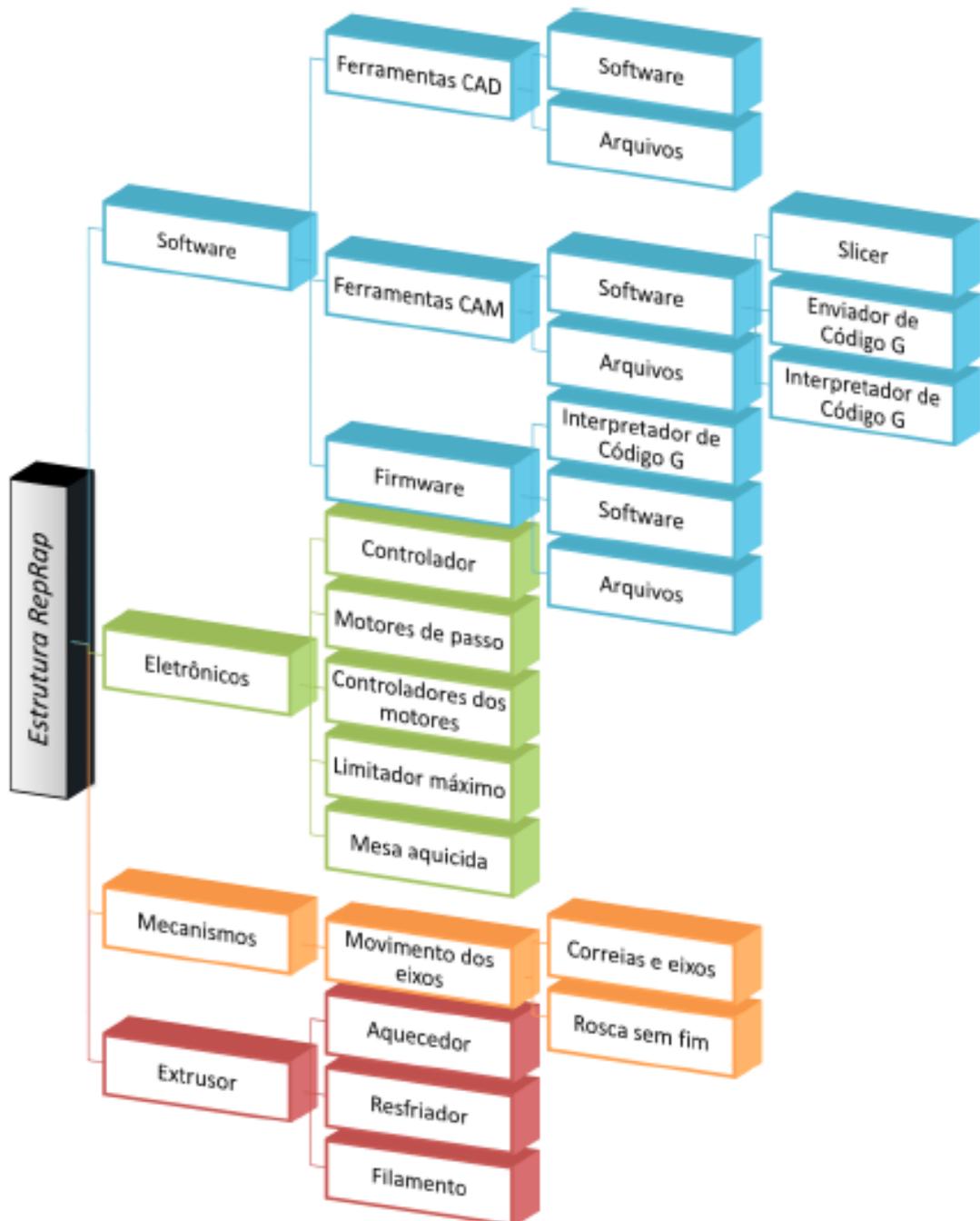


Figura 8 - Estrutura das impressoras RepRap
 Fonte: RepRap (2014)

Analisando seus componentes, vemos que ela é constituída pela estrutura que faz os mecanismos, os eletrônicos responsáveis pela robotização do processo, o extrusor capaz de depositar o material e os softwares que fazem a linguagem para os componentes eletrônicos. Respeitando esses componentes, qualquer adaptação pode ser feita livremente.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 ANÁLISE DO EQUIPAMENTO EXISTENTE

3.1.1 Estrutura

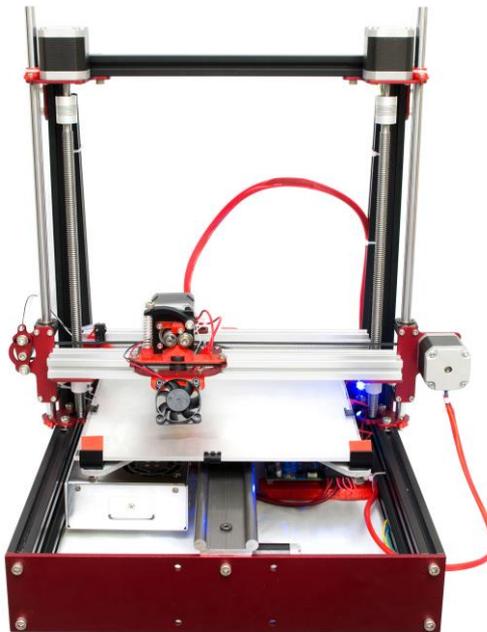
O trabalho tem como um dos objetivos a construção de uma máquina de prototipagem rápida por adição de camadas a partir de uma estrutura de uma fresadora CNC.

O equipamento utilizado como estudo será uma máquina construída pelo professor José Alexandre de Campos. Este equipamento é uma máquina didática para fabricação de pequenos modelos tridimensionais pelo processo de fresagem CNC e foi construído a fim de obter o título de bacharel em Engenharia Mecânica pela faculdade Centro Universitário Positivo no ano de 2007. Este trabalho encontra-se no laboratório de CAD da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa.



Figura 9 - Fresa CNC construída pelo professor José Alexandre Campos
Fonte: Autoria própria

A estrutura utilizada por Campos et al (2007) foi a de portal. Esta estrutura garante uma boa rigidez e também é muito difundida nas impressoras 3D RepRap, como mostra a figura:



**Figura 10 – Estrutura de portal de impressoras FDM RepRap
Fonte: RepRap MendelMax 2.0 (2014)**

A semelhança na estrutura da máquina utilizada para a realização do estudo e as máquinas RepRap é o que faz com que possamos prosseguir com a adaptação.

Campos et al, (2007) em seus cálculos percebeu que esta estrutura fornecia ao seu projeto uma grande rigidez para processos de usinagem de pequenas peças. Por ser uma estrutura rígida também garante menos vibração.

É válido lembrar que processos de MA não necessitam de tão grande rigidez estrutural. Com base nisso podemos nos ver superdimensionados estruturalmente em relação ao processo de adaptação do processo FDM neste equipamento. Abaixo podemos verificar as especificações da CNC existente:

Tabela 2 - Limitações fresa CNC existente

Propriedade	Características
Avanço de corte programável	1 -1000 mm/min
Curso da mesa (eixo X)	500 mm
Curso da mesa (eixo X)	300 mm
Curso do cabeçote (eixo Z)	250 mm
Distância entre o nariz da árvore e a mesa	50 a 300 mm
Superfície da mesa	750 x 500 mm
Largura das ranhuras x distância	8 x 30 mm
Número de ranhuras (rasgos "T")	16
Peso admissível sobre a mesa	90 kg
Velocidade do cabeçote	27000 rpm
Diâmetro porta ferramenta (pinça)	3 a 10 mm
Peso total	137 kg
Área ocupada	0,5397 m ²
Altura	1000 mm

Fonte: CAMPOS et al (2007)

Os motores de passo e rolamentos de esferas utilizados por Campos et al, (2007) nos garantem uma alta velocidade e uma grande precisão de posicionamento, este será um grande diferencial para o trabalho

3.2 MÉTODO DE TRABALHO

Neste capítulo serão descritos o método utilizado para a obtenção dos objetivos e os materiais utilizados para este.

Durante o primeiro semestre foi realizado um estudo teórico aprofundado sobre as tecnologias das impressoras 3D, os processos FDM e as estruturas das impressoras comerciais e RepRap existentes na atualidade para assim seguir com a efetivação dos trabalhos.

No sétimo mês, foi formado um grupo e realizado estudos sobre o plano de trabalho a ser efetuado. A formação de um grupo foi feita com o princípio de integrar estes alunos aos assuntos relacionados a impressora 3D e instiga-los a continuar com o projeto mesmo após a conclusão deste trabalho, cumprindo assim com um dos objetivos propostos.

À escolha do professor orientador Dr. Marcelo Carvalho, o grupo foi formado por três alunos de Engenharia Mecânica e dois alunos de Engenharia Eletrônica da UTFPR/PG.

Ainda neste mesmo mês, com a equipe formada, foram definidos os passos necessários para a conclusão da primeira parte do projeto. Este estudo resultou nas seguintes etapas:

1. Alocação da máquina CNC em um laboratório para estudo;
2. Desmontagem da máquina;
3. Estudo das peças não conhecidas pelo grupo;
4. Projeto em CAD das peças desmontadas;
5. Modelagem de peças necessárias para transformação em impressora 3D;
6. Estudo da parte elétrica da máquina;
7. Compra dos equipamentos necessários para a transformação em uma impressora 3D;
8. Aplicação das modificações necessárias para a transformação em uma impressora 3D;
9. Remontagem da máquina.

3.2.1 Alocação da máquina CNC em um laboratório para estudo

Esta etapa foi a primeira escolhida pelo grupo de trabalho devido a necessidade de um laboratório onde poderia ser efetuada as atividades sem interferência externa, como movimento de outros alunos que não fizessem parte do grupo.

A partir do primeiro momento que a máquina fosse alocada, não seria interessante move-la devido a quantidade de peças que seriam desmontadas, e não poderia ser admitido nenhum tipo de perda de peças.

3.2.2 Desmontagem da máquina

Nesta etapa é efetuada a desmontagem das peças da máquina para a realização das próximas etapas do trabalho.

A desmontagem da máquina ficou a cargo primeiramente dos alunos de Engenharia Mecânica devido a facilidade de manuseio e familiarização das ferramentas.

A correta realização desta etapa se faz importante para a continuação dos trabalhos e a realização das seguintes:

- Estudo das peças não conhecidas pelo grupo;
- Projeto em CAD das peças desmontadas;
- Modelagem de peças necessárias para transformação em impressora 3D;
- Estudo da parte elétrica do sistema.

Devido a isto, foi criado um método de catalogação que será explicado.

3.2.2.1 Catalogação das peças

A catalogação foi uma sub etapa acrescentada para facilitar a continuação dos trabalhos. Esta etapa foi acrescentada para garantir que todas as peças tivessem uma atenção detalhada na análise de funcionamento.

Para a realização desta, foi criado uma folha padrão de catalogação (apêndice A) que será preenchida para cada peça desmontada. Esta folha contém informações de nome do aluno responsável pela desmontagem da peça, nome da peça, descrição, data de desmontagem, outras informações importantes e fotos da peça.

O nome da peça é um código criado através de uma padronização dos componentes da máquina, para isto, uma divisão de três diferentes partes foi feita:

- Peças da estrutura;
- Peças elétricas e
- Peças que realizam movimentação.

Peças de estrutura recebem o código “EST.” no nome, peças de elétrica recebem o código “ELE.” e peças de movimentação recebem o código “MOV.”.

Antes do código todas as peças recebem um prefixo 3D. Após o código é inserido um número de 3 casas descrevendo a ordem crescente de desmontagem. Um exemplo de nome de peça é “3D.EST.001”. Pelo nome podemos saber que esta peça faz parte da estrutura da máquina e que ela foi a primeira peça a ser desmontada.

Foi criada uma pasta compartilhada on-line para o envio de todas as fichas preenchidas, assim como também os arquivos de desenho e demais que fazem parte do projeto. Esta pasta auxilia no controle de peças e é disponibilizada para todos os integrantes do grupo, podendo ser aberta por eles a qualquer momento e em qualquer computador para continuar os estudos e análises necessárias sem a necessidade de se utilizar apenas um computador, como pode ser visto na figura 11 abaixo:

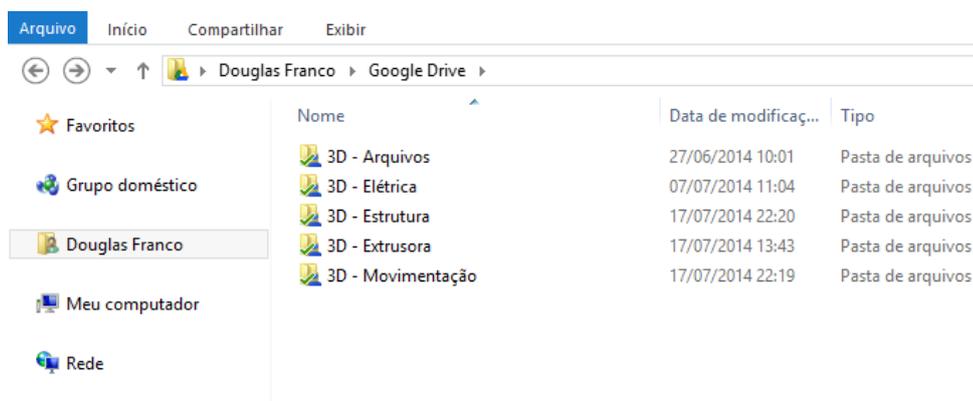


Figura 11 - Pastas compartilhadas para realização dos trabalhos
Fonte: Autoria própria

Também foram criados subpastas de acordo com as divisões dos componentes das máquinas. Na pasta “3D - Arquivos” estão os padrões de fichas de catalogação e demais arquivos para a realização dos desenhos.

3.2.3 Estudo das peças não conhecidas pelo grupo

A divisão das etapas deixou claro que algumas delas seriam efetuadas pelos alunos de mecânica e outras seriam pelos alunos de eletrônica.

Com isso, esta etapa de “estudo das peças não conhecidas pelo grupo” foi acrescentada para que houvesse uma interação entre os alunos e acontecesse a divisão de conhecimento dos alunos de mecânica com os alunos de eletrônica e vice-versa.

Esta interação faria com que esta etapa fosse mais intensa, mas tiraria todas as dúvidas de todos os integrantes e aumentaria o conhecimento em áreas diferentes do regular.

3.2.4 Projeto em CAD das peças desmontadas

As peças, após desmontadas e analisadas serão desenhadas em 3D através do método CAD. O meio virtual 3D é muito utilizado para projetos mecânicos e facilitará muito na realização da etapa de “modelagem de peças necessárias para transformação em impressora 3D”.

Como dito anteriormente, na pasta on-line “3D – Arquivos” foram disponibilizados arquivos que servirão de padrões para a realização desta etapa.

Dentre estes arquivos estavam formatos de folha com carimbos seguindo normas ISO, garantindo assim que todos os desenhos ficariam iguais e seguiriam o padrão de nomenclatura e descrição feita na etapa de catalogação das peças.

3.2.5 Modelagem de peças necessárias para transformação em impressora 3D

Esta etapa é responsável para a conclusão de mais um dos objetivos do trabalho, a adaptação de uma máquina CNC em impressora 3D.

Na sua realização, será utilizada uma metodologia chamada de Desenvolvimento Integrado de Produto (DIP). Esta metodologia preza pela realização de etapas presentes sempre pensando nas etapas futuras. Assim, as peças aqui criadas serão projetadas já pensando em sua fabricação e montagem, facilitando assim as próximas etapas do projeto.

Com isso, será desenvolvido um projeto que contenha peças simples e de fácil fabricação de acordo com os recursos que temos em nossos laboratórios.

Com os desenhos realizados na etapa passada, será fácil prosseguir com o projeto. Com a ajuda da literatura pesquisada, serão necessárias as seguintes modificações para a transformação da máquina em impressora 3D:

- Um apoio fixo na parte móvel dos eixos (X, Y e Z) para o cabeçote extrusor;
- Adaptação dos sensores de contato que limitarão os pontos máximos dos eixos;
- Sustentação do rolo de filamento;
- Nova caixa de circuitos elétricos.

3.2.6 Estudo da parte elétrica da máquina

Não é um objetivo o aprofundamento deste trabalho nas partes eletrônicas necessárias para a adaptação da máquina CNC em uma impressora 3D, mas sim integrar os alunos de Engenharia Eletrônica no grupo e ter uma discussão referentes a tecnologia de manufatura aditiva.

Foram disponibilizadas fontes bibliográficas para pesquisa e após o entendimento do processo, será iniciado a busca das melhores partes eletrônicas a serem utilizadas.

3.2.7 Compra/fabricação dos equipamentos necessários para a transformação em uma impressora 3D

Nesta etapa será realizada um estudo de quais peças projetadas na etapa de “Modelagem de peças necessárias para transformação em impressora 3D” poderiam ser fabricadas com os recursos da universidade e quais peças deveriam ser compradas.

Será levado em conta a tecnologia que cada peça envolve para sua fabricação e se a universidade dispõe desta tecnologia para efetuar a sua produção.

3.2.8 Aplicação das modificações necessárias para a transformação em uma impressora 3D.

Depois de todos os estudos, compra e fabricação dos equipamentos, serão efetuadas as modificações projetadas na etapa de “Modelagem de peças necessárias para transformação em impressora 3D”.

Esta etapa foi deixada na ordem antes da etapa de “Remontagem da máquina” pois algumas modificações poderão necessitar do manuseio das peças separadamente, sendo que com as peças montadas no lugar poderá dificultar a realização das modificações.

3.2.9 Remontagem da máquina

Finalmente, após cumprir todos as etapas anteriores, o equipamento será remontado para assim prosseguir para a próxima fase, testes de impressão.

4 RESULTADOS

Os resultados serão disponibilizados em ordem das etapas de divisão feitas

4.1 RESULTADOS DAS ETAPAS

4.1.1 Alocação da máquina CNC em um laboratório para estudo

A escolha mais coerente para esta etapa seria a oficina de mecânica da universidade pela facilidade de acesso a ferramentas e demais. Porém, o laboratório escolhido para as atividades foi o laboratório de CAD, sala K-003 da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Ponta Grossa.

Foi escolhido este laboratório pois ele supria a necessidade de um lugar sem muito movimento de alunos e onde pudesse ser guardado as peças da máquina sem correr o risco de perder alguma. Ferramentas e demais utilizadas para as etapas futuras não eram de grande complexidade e foram utilizadas as dos integrantes do grupo para que não houvesse intercâmbio entre laboratórios.

Esta etapa foi bem sucedida pois neste laboratório existe uma pequena sala onde pudemos deixar todas as peças guardadas em horários de movimento de alunos.

4.1.2 Desmontagem da máquina, estudo das peças não conhecidas pelo grupo e projeto em CAD das peças desmontadas.

Será discutido os resultados de 3 etapas em conjunto:

- Desmontagem da máquina;
- Estudo das peças não conhecidas pelo grupo;
- Projeto em CAD das peças desmontadas.

Foi mesclado os resultados dessas 3 etapas pois percebeu-se que nos trabalhos realizados elas eram trabalhadas em conjunto e uma ajudava o entendimento da outra. Ao mesmo tempo que uma peça era desmontada, ela já era analisada pelos integrantes do grupo e os desenhos também foram feitos em conjunto como iniciativa de ensino do manuseio do programa.

Tentou-se efetuar essas etapas preferencialmente com a presença de todos os integrantes do grupo. Essas etapas foram realizadas em horários extra curriculares pelos alunos de Engenharia Mecânica e foram escolhidos estes horários pela facilidade de interação de todos os alunos devido ao período letivo intenso.

Todas as peças foram desmontadas, analisadas, catalogadas, desenhadas e estão disponíveis nas pastas on-line para acesso de todos os integrantes do grupo.

A desmontagem e catalogação foi feita de maneira simples e sem muitos problemas. Os alunos de Engenharia Mecânica não tiveram problemas com a utilização das ferramentas e os estudantes da área de eletrônica se fizeram bastantes conhecedores na prática também.

As análises críticas de qual a finalidade da peça e qual o método de construção empregado para a fabricação da peça foi bastante intenso. Foram explicados métodos teóricos de solda e torno, sistemas de medidas internacionais e padronização de medidas presentes nas peças para todos os integrantes.

Podemos verificar na figura 12 abaixo um exemplo de ficha de catalogação preenchida. Está ficha foi bem aceita pelo grupo. Ela auxiliou na observação mais

detalhada das peças e, com isso, o entendimento dos alunos sobre qual a função de cada peça ficou mais clara.

<p style="text-align: center;">Desmontador: (Nome do aluno que retirou a peça da máquina. Preferencialmente o mesmo aluno deve preencher esta ficha)</p> <p style="text-align: center;">Guilherme Antonio Biuk</p> <p style="text-align: center;">Nome da Peça: (Verificar tabela no Google Drive para seguir a ordem certa de números)</p> <p style="text-align: center;">3D.EST.001</p> <p style="text-align: center;">Descrição: (Descrever a peça em forma, tamanhos, material e funcionalidade)</p> <p>Suporte para os motores de passo, formado por um tubo de diâmetro externo de 2" ¼ e por duas placas quadradas de espessura de ¼" e comprimento 96 mm.</p> <p style="text-align: center;">Data: (Data em que a peça foi retirada da máquina e período da manhã, tarde ou noite)</p> <p style="text-align: center;">Quarta-feira, 18 de junho de 2014 - Manhã</p> <p style="text-align: center;">Mais informações: (Se necessário colocar alguma outra informação)</p> <p>Existem 3 suportes iguais, uma para cada eixo.</p>	<p style="text-align: center;">Fotos: (Foto dela antes de ser desmontada (A), foto dela desmontada mostrando as partes próximas (B) e foto dela separadamente com o nome escrito acima listando (C))</p> <div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%;"> <div style="text-align: center;"> <p>(A)</p>  <p>3D.EST.001</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>3D.EST.001</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%; margin-top: 10px;"> <div style="width: 45%; height: 80px;"></div> <div style="width: 45%; height: 80px;"></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; width: 100%; margin-top: 10px;"> <div style="text-align: center;">  <p>3D.EST.001</p> </div> <div style="width: 45%; height: 80px;"></div> </div> </div>
---	---

Figura 12 - Ficha de catalogação preenchida
Fonte: Autoria própria

Após a análise conjunta dos integrantes de cada peça desmontada, preferencialmente o aluno que desmontou a peça foi o responsável pela catalogação e também pelo desenho em CAD.

A etapa de desenho levou menos tempo que o planejado. A grande maioria dos integrantes do grupo já possuíam um conhecimento mediano no uso de programas CAD, porém não sabiam como desenhar utilizando as normas ISO de desenho e empregando os padrões de construção e medidas aprendidos nas análises das peças.

Como medida de padronização, foram utilizadas folhas A4 e A3 com carimbos padrões para que os alunos aprendessem quais informações eram importantes demonstrar em desenhos mecânicos. Podemos verificar um exemplo de desenho individual na figura 13:

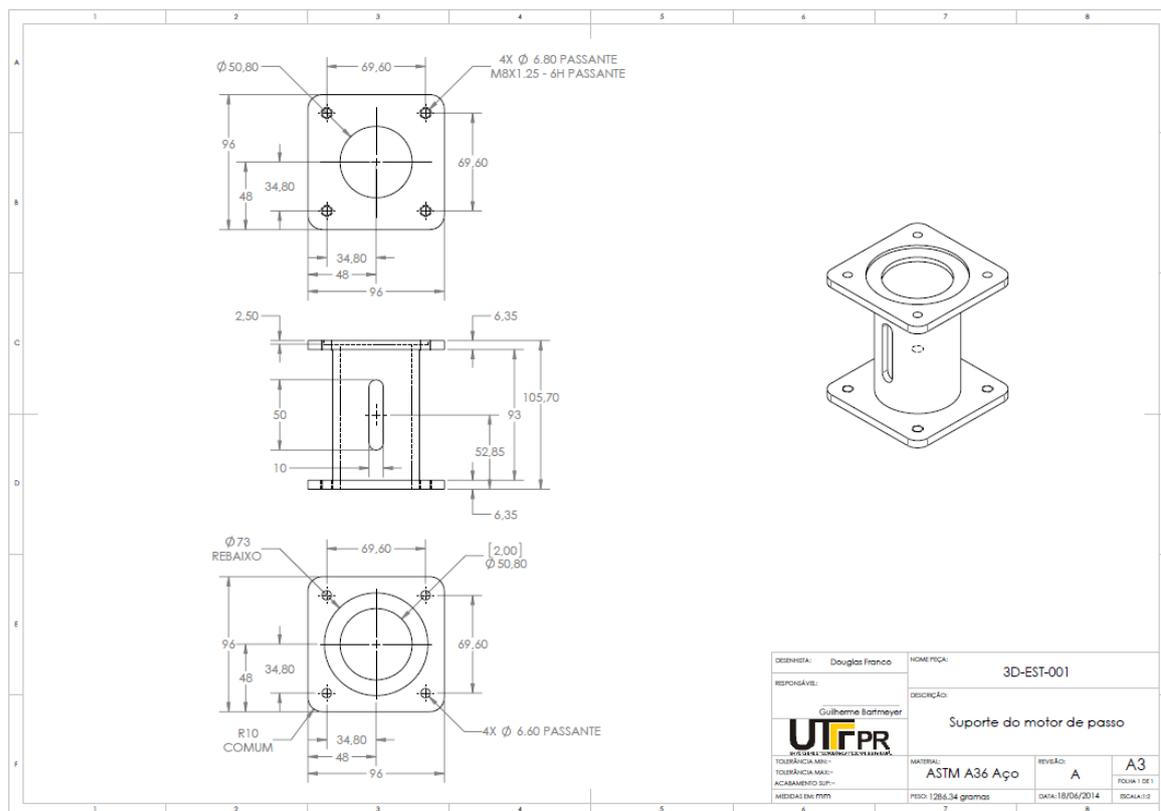


Figura 13 - Desenho técnico 3D-EST-001
Fonte: Autoria própria

Um grande benefício do meio CAD para desenhos é a possibilidade de criação de montagens que envolvem todas as peças desenhadas. Com a união das peças, podemos ter uma visão geral da máquina e corrigir possíveis erros, como furos deslocados e tamanho de peças. Na figura seguinte podemos verificar uma montagem completa da fresadora CNC projetada pelo professor José Alexandre Campos.

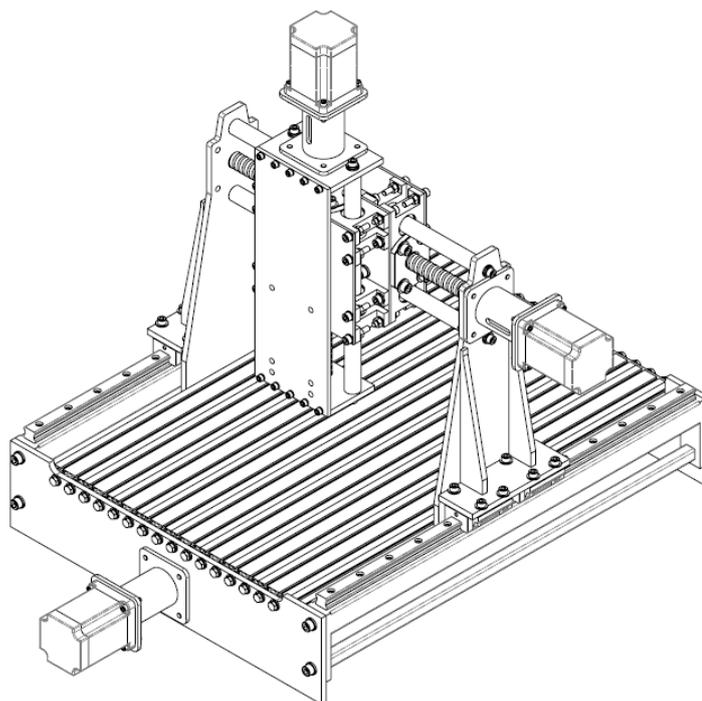


Figura 14 - Montagem completa fresa CNC
Fonte: Autoria própria

Quando a montagem é feita de maneira correta e levando em conta todos os detalhes do projeto, é possível ter uma visão geral de número de parafusos, porcas e arruelas, peso total da máquina e muitas outras informações importantes. Essas informações podem ser acessadas em forma de tabela, como a mostrada abaixo.

Tabela 3 - Lista de materiais catalogados fresa CNC

(continua)

Nome da peça	Descrição	Qdt.
3D.EST.001	Suporte do motor de passo	3
3D.EST.006	Coluna de apoio	2
3D.EST.007	Chapa frontal e traseira da base.	2
3D.EST.008	Chapa de fixação inferior das colunas	1
3D.EST.009	Base dos trilhos	2
3D.EST.010	Chapa de alumínio	2
3D.EST.011	Extrusão - fixação de peças	8
3D.MOV.002	Guia do eixo X	2
3D.MOV.011	Chapa de fixação para fuso Z	1
3D.MOV.013	Montagem movimentação eixo Z	1

Tabela 3 - Lista de materiais catalogados fresa CNC

(conclusão)

Nome da peça	Descrição	Qdt.
Fuso 405	Eixo com rosca de esferas 405mm	1
Fuso 525	Eixo com rosca de esferas 525 mm	1
Fuso 788	Eixo com rosca de esferas 788mm	1
Arruela de pressão 3/8"	-	48
Arruela de pressão 5/16"	-	12
Arruela de pressão 7/16"	-	8
Arruela lisa 10 mm	-	12
Arruela Lisa 8 mm	-	24
Nema 34	Motor de passo 1.8 graus	3
INO FAG - 51104	Rolamento ponta dos fusos	6
Parafuso Allen 10x1.5x30	-	8
Parafuso Allen 10x1.5x35	-	12
Parafuso Allen 6x1.0x25	-	26
Parafuso Allen 6x1.0x30	-	12
Parafuso Allen 8x1.25x20	-	12
Parafuso Allen 8x1.25x25	-	24
Parafuso Allen 8x1.25x30	-	32
Porca Regular M6x1	-	38
Rolamento mancal de esferas	Mancal com roscas de esferas	3
SHS25C76020	Carrinho da guia linear	2
SHS25CSSB-M6F	Guia Linear	4

Fonte: Autoria própria.

Estas etapas foram muito bem sucedidas. Todos os alunos participaram dos trabalhos e foi analisada uma grande melhora nos conhecimentos técnicos dos alunos durante os trabalhos. Vale lembrar que com a ajuda do meio on-line, os trabalhos podiam ser continuados a qualquer horário. Isso fez com que os alunos, em seus horários livres, pudessem rever os desenhos, melhorando-os e analisando-os novamente.

4.1.3 Modelagem de peças necessárias para transformação em impressora 3D

Nesta etapa, percebeu-se que o projeto principal seria o apoio do cabeçote extrusor. As outras modificações poderiam ser facilmente realizadas apenas com furos na estrutura.

Tendo isto em consideração, esta etapa foi simplificada ao projeto apenas do apoio do cabeçote extrusor. Como foi determinado, todas as peças foram projetadas para serem de fácil fabricação e montagem.

O desenho técnico da montagem total do cabeçote extrusor está no anexo A. Tendo a tabela de peças utilizadas abaixo, podemos explicar:

Tabela 4 - Peças utilizadas para cabeçote extrusor

Nome da peça	Descrição	Qdt.
3D.EXT.001	Chapa de sustentação extrusora - 1	1
3D.EXT.002	Chapa de sustentação extrusora - 2	1
3D.EXT.003	Chapa de sustentação extrusora - 3	1
3D.EXT.004	Apoio tensão filamento	1
3D.EXT.005	Braço tensão filamento	1
ED.EXT.006	Trator do filamento	1
Mola	Mola de compressão – Ø 5mm externo - Altura 16mm	1
E3D-V6-1.75mm-UNIVERSAL	Hotend para extrusora	1
NEMA 17 Stepper Motor	Motor de passo 1.8° ângulo por passo	1
Rolamento 19x6x6	Rolamento de ajuda ao braço tensor	1
Parafuso sextavado allen M3x0.5x12	-	4
Parafuso sextavado allen M3x0.5x125	-	1
Parafuso sextavado allen M5x0.8x16	-	1
Arruela lisa M3	-	14
Arruela lisa M5	-	2
Porca sextavada M3x0.5	-	2

Fonte: Autoria própria.

Peças 3D.EXT.001, 002 e 003 são chapas metálicas dobradas que farão a sustentação do hotend e motor de passo. A peça 3D.EXT.001 será parafusada na 3D.EST.002 (seta azul) nos mesmo furos onde se encontrava o suporte para o rotomil (seta verde) evitando assim qualquer modificação com furos. Parafusos M8x25 serão utilizados.

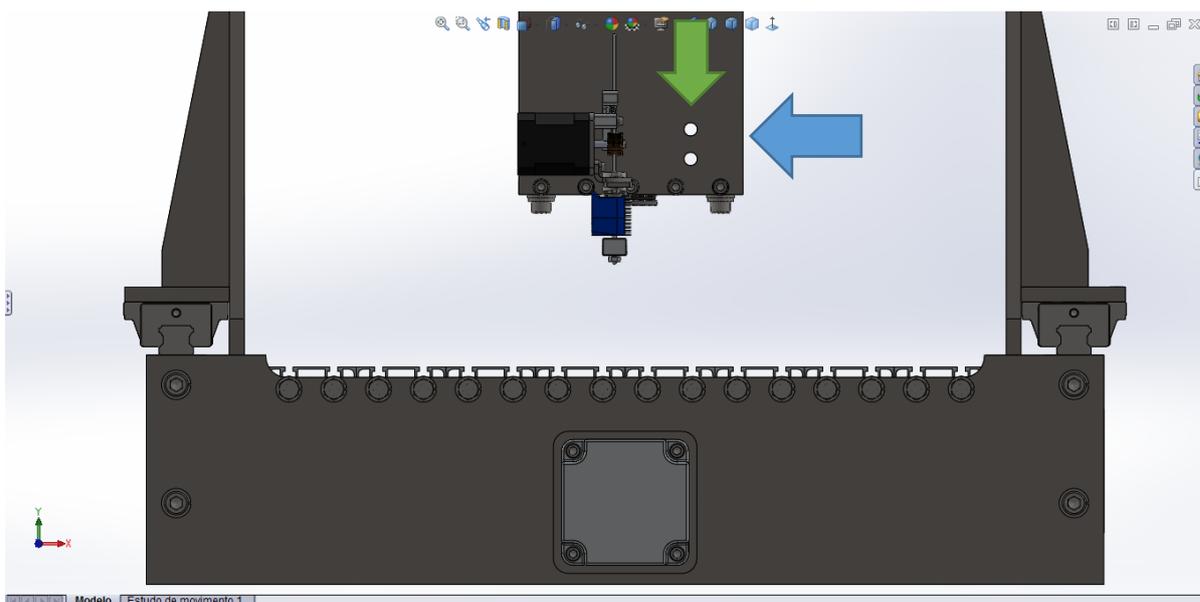


Figura 15 - Local de fixação 3D.EXT.001
Fonte: Autoria própria

As peças 3D.EXT.004 e 005 são responsáveis de garantir o contato entre o trator do filamento, 3D.EXT.006, e o rolamento. Uma mola garante a pressão do rolamento no trator.

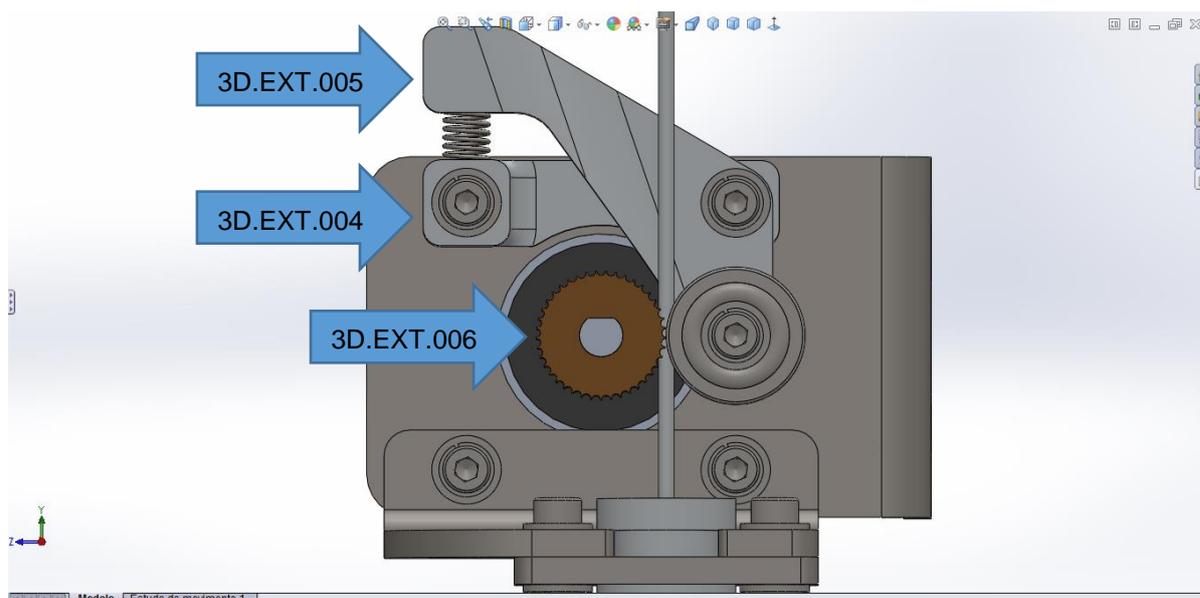


Figura 16 - Detalhes peças extrusor.
Fonte: Autoria própria

O modelo de hotend utilizado é o E3D V6 1.75 UNIVERSAL (anexo B). Ele apresenta partes simples e é muito utilizado em impressoras RepRap. A empresa E3D é do Reino Unido e é especializada em partes para impressoras 3D. Motor de passo utilizado é o Nema 17 (anexo C). Este motor será o responsável pela injeção do filamento dentro do hotend. Parafusos foram todos utilizados M3 com diferentes tamanhos.

Um estudo de tensões foi executado na peça 3D.EXT.001 para verificar se o projeto poderia ser efetuado sem correr riscos de quebra.

O único esforço que toda a estrutura projetada seria somente o próprio peso, não sofrendo nenhum outro tipo de força externa em seu funcionamento. Como nos desenhos do projeto foram especificados os materiais de construção, podemos calcular o peso da montagem pelo próprio programa de desenho. O peso total sem incluir o motor foi de 180,84 gramas.

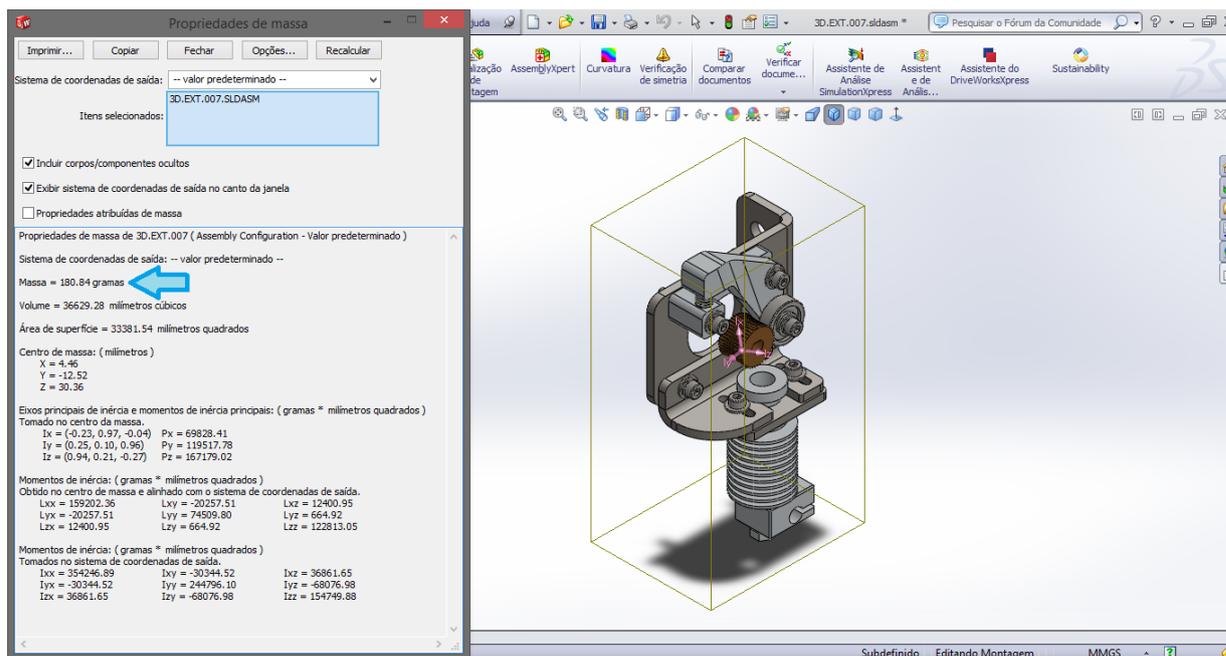


Figura 17 - Cálculo de peso do cabeçote extrusor
Fonte: Autoria própria

O motor de passo pesa 350 gramas. Somando os dois pesos temos um peso total de 530,84 gramas. Utilizando a aceleração da gravidade como 9,81 m/s², podemos transformar o peso em N:

$$1 [N] = 1 \left[Kg \cdot \frac{m}{s^2} \right]$$

$$5,2075 [N] = 0,53084 [Kg] \cdot 9,81 \left[\frac{m}{s^2} \right]$$

O material utilizado para o cálculo foi Aço ASTM A36 onde as propriedades físicas podem ser verificadas na figura abaixo:

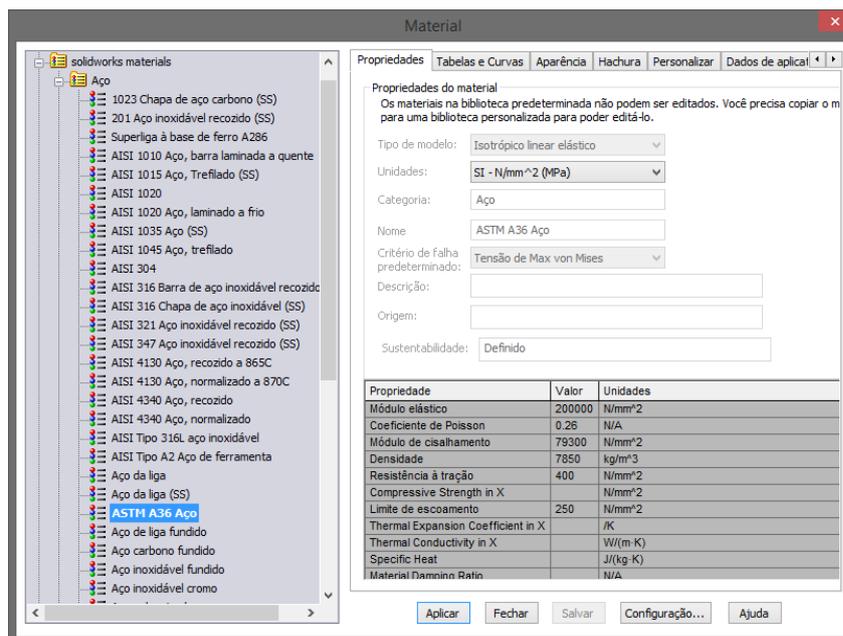


Figura 18 - Propriedades Aço ASTM A36
Fonte: Autoria própria

Utilizando desses dados do material e inserindo as forças na peça que sofrerá a tensão, podemos realizar o estudo das forças resultantes na peça.

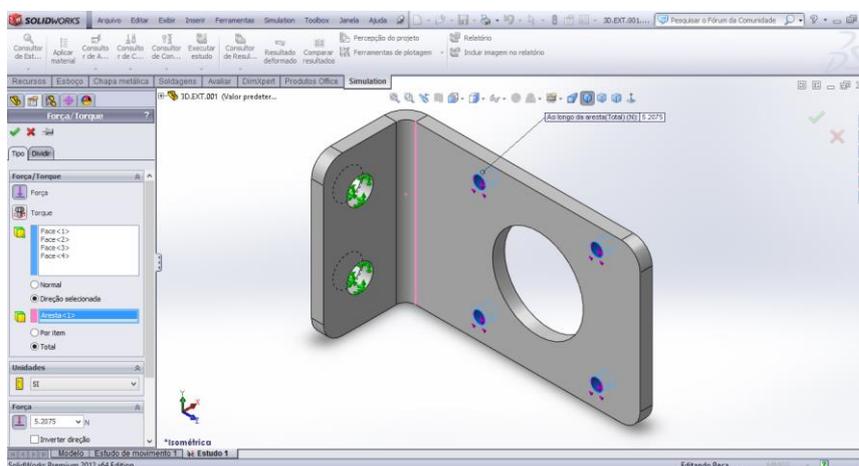


Figura 19 - Estudo de tensões 3D.EXT.001
Fonte: Autoria própria

As setas verdes significam as partes fixas da peça, as setas roxas as forças efetuadas e a linha rosa significa a direção da força, que está no eixo Y para baixo.

Foi criada uma malha para o estudo de elementos finitos. Os cálculos realizados foram de tensão, deformação e deslocamento.

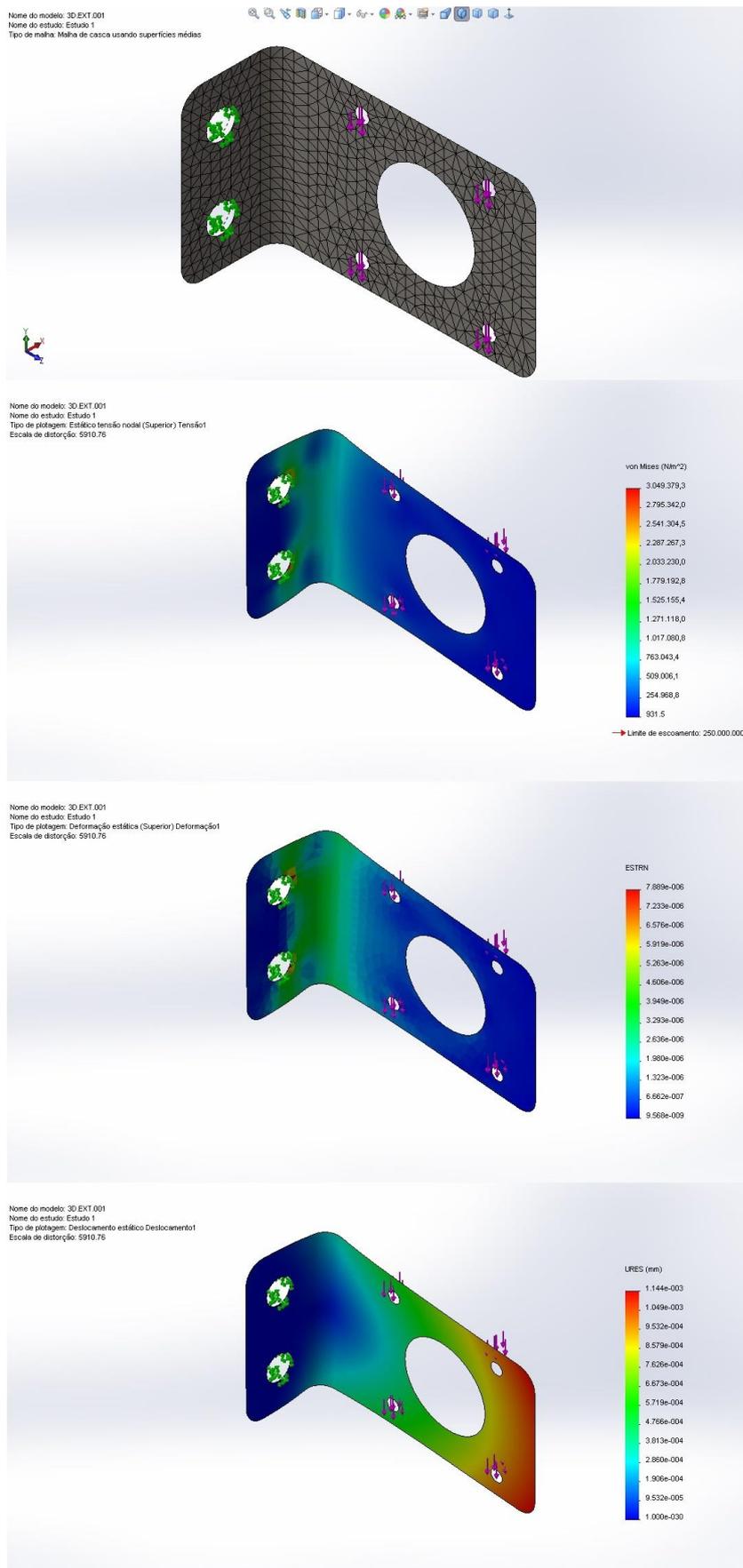


Figura 20 – Malha e estudos de tensão, deformação e deslocamento na peça
 Fonte: Autoria própria

No cálculo de tensão obtivemos o valor máximo $3,049 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, sendo o limite de escoamento de $250 \times 10^6 \text{ N/m}^2$, deformação obtivemos o valor máximo de $7,889 \times 10^{-6}$ e no estudo de deslocamento obtivemos o valor máximo de $1,144 \times 10^{-3} \text{ mm}$.

Um mesmo estudo foi realizado com esta peça fabricada de ABS, material de impressão utilizado nos processos FDM. O limite de escoamento do ABS é de $44.8 \times 10^6 \text{ N/m}^2$.

Os resultados podem ser vistos na tabela abaixo:

Tabela 5 - Resultados de testes em material ABS

Teste	Resultado
Tensão	$3,18 \times 10^6 \text{ N/m}^2$
Deformação	$0,7522 \times 10^{-3}$
Deslocamento	0.118 mm

Fonte: Autoria própria

Através destes resultados, podemos nos ver superdimensionados em relação a estrutura do cabeçote extrusor, sendo ele fabricado em Aço ASTM A36 ou ABS.

Está etapa de projeto foi bem sucedida. Os resultados dos esforços foram satisfatórios e tentou-se utilizar peças de fácil acesso e durante o projeto prezou-se pela simplicidade. Podemos verificar também que a montagem não é complicada.

4.1.4 Estudo da parte elétrica da máquina

Como resultado a esta etapa, conseguimos determinar quais as peças eletrônicas seriam necessárias para a modificação da máquina e sua transformação em impressora 3D. Podemos verificar as peças e suas funções na tabela:

Tabela 6 - Lista de eletrônicos para transformação CNC em impressora 3D

Quantidade	Nome	Função
1	Arduino Mega 2560	Placa micro controladora - Cérebro da máquina
1	Ramps 1.4	Placa auxiliar da Arduino - Porta de ligação dos demais componentes
4	A4988 Driver Motor	Placa controladora dos motores de passo
1	12864 LCD Control	Tela LCD para acompanhamento do processo de impressão.
3	Endstops	Sensores de contato para limitação dos eixos.
1	Heatbed	Mesa aquecida para impressões feitas em ABS
2	Termistor	Medidor de temperatura
-	Cabos	Conexão entre placas.

Fonte: Autoria própria

É importante lembrar que impressoras 3D podem funcionar com diferentes equipamentos eletrônicos. Os listados são os mais utilizados nas impressoras RepRap e de mais fácil acesso. Abaixo podemos verificar um esquema de como é feita a ligação dos equipamentos na placa Ramps 1.4.

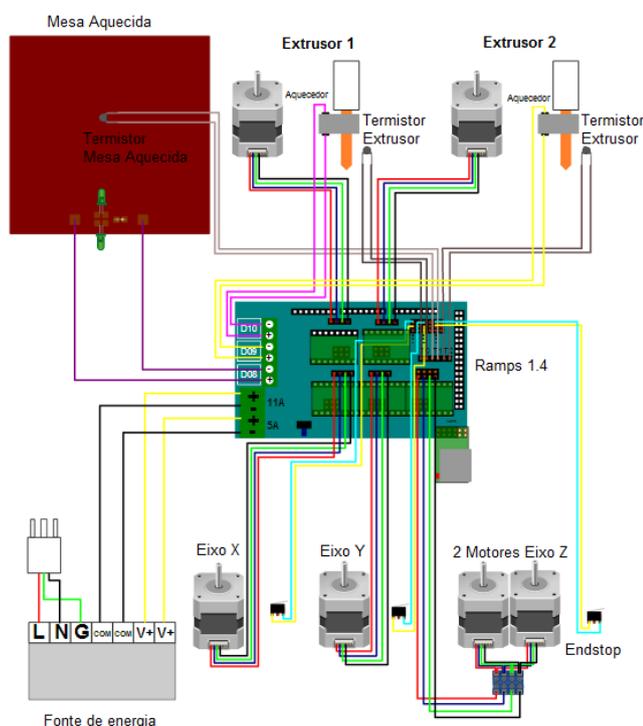


Figura 21 - Esquema de ligação RAMPS 1.4
Fonte: RepRap - Modificado

A placa Ramps 1.4 é conectada em cima da placa Arduino, por isso ela não aparece no esquema. Este esquema contém duas extrusoras e também contém dois motores no eixo Z, que não serão efetuadas em nosso caso. Nossa máquina irá contar com apenas uma extrusora (que já está listada no projeto do cabeçote extrusor) e um motor de passo para o eixo Z.

As informações adquiridas nesta etapa são muito satisfatórias. Além dos eletrônicos, existe um estudo muito grande a ser feito com relação aos códigos que devem ser escritos e enviados a placa controladora Arduino. Esses códigos serão os responsáveis pelo correto funcionamento de todos os equipamentos e sem um código seguro não é possível efetuar uma impressão de qualidade.

4.1.5 Compra/fabricação dos equipamentos necessários para a transformação em uma impressora 3D

Após o estudo de todas as peças, foi criada uma tabela onde podemos conferir quais são os itens necessários para a efetivação deste projeto juntamente com qual o método de obtenção das peças.

Tabela 7 - Método de obtenção das peças

(continua)		
Nome da peça	Qdt.	Método
3D.EXT.001	1	Fabricação
3D.EXT.002	1	Fabricação
3D.EXT.003	1	Fabricação
3D.EXT.004	1	Fabricação
3D.EXT.005	1	Fabricação
ED.EXT.006	1	Fabricação
Mola	1	Compra
E3D-V6-1.75mm - UNIVERSAL	1	Compra
NEMA 17 Stepper Motor	1	Compra
Rolamento 19x6x6	1	Compra
Parafuso sextavado allen M3x0.5x12	4	Compra
Parafuso sextavado allen M3x0.5x125	1	Compra
Parafuso sextavado allen M3x0.5x20	1	Compra
Parafuso sextavado allen M5x0.8x16	1	Compra
Arruela lisa M3	14	Compra
Arruela lisa M5	2	Compra

Tabela 7 - Método de obtenção das peças

(continuação)

Nome da peça	Qdt.	Método
Arduino Mega 2560	1	Compra
Ramps 1.4	1	Compra
A4988 Driver Motor	4	Compra
12864 LCD Control	1	Compra
Endstops	3	Compra
Heatbed	1	Compra
Termistor	2	Compra
Cabos	-	Compra

Fonte: Autoria própria

Levando em conta a complexidade de algumas peças e a tecnologia envolvida nelas, é imprescindível efetuar a compra dessas peças.

Podemos verificar na tabela que as peças que devem ser compradas são todas as peças eletrônicas, parafusos, arruelas, porcas, rolamentos, motores de passo e mola.

As peças 3D.EXT.001 A ED.EXT.006 foram projetadas para serem fabricadas na oficina da UTFPR – Campus Ponta Grossa, contudo, decidiu-se que esta peça será feita pelo processo de manufatura aditiva FDM, que é a tecnologia que envolve este trabalho. Esta peça foi feita utilizando a impressora do Sr. Antenor Mortibelli. Ele se ofereceu a imprimir as peças pois faz parte de uma rede corporativa onde pessoas utilizam de sua impressora para obter as peças impressas e pagam por esse serviço.



Figura 22 – Cabeçote extrusor impresso por FDM
Fonte: Autoria própria

Este método de trabalho está se difundindo muito pois traz benefícios para todos os envolvidos. A pessoa que imprime tem o direito de armazenar o projeto para quando necessitar poder utilizar e a pessoa que recebe as peças não precisa se preocupar em ter uma impressora própria para poder ter as peças que precisa.

A peça E3D-V6-1.75mm-UNIVERSAL é um conjunto de peças que forma o hotend do cabeçote extrusor. Dentre esse conjunto de peças, uma delas é a Heatsink E3D – V6 e esta será fabricada na universidade. Foi decidido fabricar esta peça para poder ensinar os alunos que estão fazendo parte do grupo de pesquisa sobre noções de torno e equipamentos que envolvem a oficina da faculdade. A peça fabricada é a do anexo D.

4.1.6 Aplicação das modificações necessárias para a transformação em uma impressora 3D

As principais modificações identificadas para a adaptação da máquina em uma impressora 3D correspondem a alterações mecânicas e eletrônicas. Em relação a parte mecânica, identificou-se a necessidade de se construir um cabeçote extrusor e peças de sustentação para o mesmo, um dispositivo para a sustentação do

carretel com o material de alimentação e a instalação de elementos que limitem o curso dos eixos da máquina.

O cabeçote extrusor, modelado conforme item 4.1.3, será fixado no cabeçote principal da máquina para realização de testes preliminares de impressão, contudo o mesmo ainda não foi efetuado devido à falta de alguns componentes que deveriam ser comprados, como o motor de passo e sensores eletrônicos.

Tanto a fixação do carretel de alimentação do material bem como os sensores de fim-de-curso também não foram instalados pois os mesmos necessitam da máquina pré-montada para calibração final do comando eletrônico, bem como de verba para o custeio.

5 CONCLUSÃO

Nessa etapa do projeto foi possível fazer um estudo minucioso da máquina e com isso projetar os principais componentes para a sua adaptação em uma impressora 3D.

Como relatado no item 3.1.1, verificou-se que a fresa CNC é estruturalmente muito mais robusta do que o necessário para a construção da impressora 3D. Contudo isso se mostra como uma excelente vantagem pois permitirá maiores velocidades de posicionamento e um menor tempo de impressão. Conforme descrito por Oliveira (2014), o tempo de impressão é um dos maiores entraves para a disseminação dessa tecnologia e a possibilidade de utilizar a estrutura da fresa CNC poderá suprir essa demanda.

Um outro grande diferencial para essa impressora 3D utilizando-se da estrutura da fresa CNC será a possibilidade da construção de uma máquina híbrida de impressão/usinagem, permitindo excelentes acabamentos em peças impressas, a princípio, com baixa resolução de camada. Com isso será possível atingir qualidade de fabricação semelhante as peças impressas por máquinas já estabelecidas comercialmente, com uma máquina de custo de aquisição bem inferior.

O cabeçote extrusor foi projetado sob a metodologia D.I.P. e seus principais componentes já se encontram fabricados. O teste final se dará ao final da remontagem da máquina, quando será possível realizar os últimos ajustes e fazer os primeiros testes de impressão.

Com tudo isso, pode-se dizer que este referencial teórico pesquisado dará suporte para que o grupo de estudos formado siga com os trabalhos e que o projeto continue até a fase final sem maiores problemas.

6 SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS

Tendo como um dos objetivos alcançados no trabalho a criação de um grupo de estudos sobre manufatura aditiva, pode-se colocar nesta etapa como sugestão de trabalhos futuros a continuação deste grupo.

Durante o estudo de todas as bibliografias, alguns outros conhecimentos foram adquiridos e com isso algumas linhas de pesquisa seguindo o tema do trabalho podem ser pesquisadas:

- Inserção de um 2º cabeçote: inclusão de um segundo cabeçote extrusor com a finalidade da extrusão de um material de apoio.
- Estudo de materiais reciclados para impressão: Pode ser pesquisado a adaptação de um cabeçote extrusor capaz de imprimir matérias reciclados como PET e PVC.
- Adaptação do cabeçote para usinagem e impressão simultâneos: Como o projeto não modificou nada estruturalmente a fresa CNC, pode-se projetar um cabeçote que seja capaz de imprimir e logo após fazer a usinagem se necessário.
- Adaptação de um extrusor capaz de imprimir com outros materiais de apoio: inclusão de um extrusor capaz de imprimir em materiais facilmente removíveis, como açúcar e material reagentes a químicas diferentes da do material impresso.
- Redimensionamento da máquina visando portabilidade: partindo do projeto existente, modificar a estrutura superdimensionada para uma estrutura que seja tão boa quanto porém dimensionada com fatores de segurança menores.
- Adaptação de um scanner 3D: um scanner 3D adaptado a estrutura pode ser utilizado como verificador da estrutura impressa como um scanner para peças que se deseja imprimir igualmente.

REFERÊNCIAS

KARASINSKI, Vinicius. Como funciona uma impressora 3D? [Ilustração]. 22 de 4 de 2013. Disponível em <<http://www.tecmundo.com.br/impressora-3d/38826-como-funciona-uma-impressora-3d-ilustracao-.htm>> Acessado em: 22 de dezembro de 2013.

GORNI, Antonio Augusto. Introdução à prototipagem rápida e seus processos. **Revista Plástico Industrial**, p. 230-239, 2007.

MAHO AG, Pfronten. Comando numérico CNC: Técnica operacional Fresagem. **IFAO Informationssysteme GmbH**, 1990.

PHAM, D. T.; GAULT, R. S. A comparison of rapid prototyping technologies. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 38, n. 10-11, p. 1257-1287, 1998.

CAMPBELL, Ian; BOURELL, David; GIBSON, Ian. Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age. **Rapid Prototyping Journal**, v. 18, n. 4, p. 255-258, 2012.

THRIMURTHULU, K.; PANDEY, Pulak M.; VENKATA REDDY, N. Optimum part deposition orientation in fused deposition modeling. **International Journal of Machine Tools and Manufacture**, v. 44, n. 6, p. 585-594, 2004.

BRAJLIH, Tomaz et al. Speed and accuracy evaluation of additive manufacturing machines. **Rapid prototyping journal**, v. 17, n. 1, p. 64-75, 2011.

MELLO, Carlos Henrique Pereira et al. Conceptual design of components of an industrial oven through the integration between the reverse engineering and DFMA. **Gestão & Produção**, v. 17, n. 3, p. 497-511.

GIBSON, Ian; ROSEN, David W.; STUCKER, Brent. Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing. **Springer**, 2010.

CRUMP, S. Scott. **Apparatus and method for creating three-dimensional objects**. U.S. Patent n. 5,121,329, 9 jun. 1992.

SÁ, Jorge, Luísa BARREIRA, Elza FONSECA , e Cristina TEIXEIRA. "Imagens tomográficas biomédicas aplicadas à prototipagem rápida e a criação de modelos numéricos." **Revista da Associação Portuguesa de Análise Experimental de Tensões**, 2008: 8.

DOS SANTOS, Jorge Roberto Lopes. **3D Modelling tools: the experimental application of digital model making technologies in fetal medicine**. 2009. Tese de Doutorado. The Royal College of Art, London.

WERNER, Heron et al. Additive manufacturing models of fetuses built from three-dimensional ultrasound, magnetic resonance imaging and computed tomography scan data. **Ultrasound in Obstetrics & Gynecology**, v. 36, n. 3, p. 355-361, 2010.

REILLY, Jill. Father builds prosthetic hand for son with 3-D printer after watching online DIY video. **MailOnline**. 2013. Disponível em: <<http://www.dailymail.co.uk/news/article-2478750/Father-builds-prosthetic-hand-son-3-D-printer-watching-online-DIY-video.html>> Acessado em: 08 de abril de 2014.

MURUGESAN, K. et al. Comparative Evaluation of Dimension and Surface Detail Accuracy of Models Produced by Three Different Rapid Prototype Techniques. **The Journal of Indian Prosthodontic Society**, v. 12, n. 1, p. 16-20, 2012.

HADHAZY, Adam. Why you should, and shouldn't, worry about 3D-printed gun. **Popular Mechanics**. 2013. Disponível em <<http://www.popularmechanics.com/technology/military/weapons/why-you-should-and-shouldnt-worry-about-the-3D-printed-gun-15450141>> Acessado em: 17 de Agosto de 2013.

EITEL, Elisabeth. "The future of additive manufacturing: additive manufacturing proliferated years ago because of its usefulness in building prototypes. Since then, companies, government agencies, and even lay tinkerers have increasingly used the techniques to make production parts." **Machine Design** 7 Mar. 2013: 52+. Academic OneFile. Web. 29 Jan. 2014.

Welcome to RepRap.org. Disponível em <http://reprap.org/wiki/Main_Page> Acessado em: 01 de junho de 2014

Build a RepRap. Disponível em <http://reprap.org/wiki/Build_A_RepRap> Acessado em: 01 de junho de 2014

RepRap Options. Disponível em <http://reprap.org/wiki/RepRap_Options> Acessado em: 01 de junho de 2014

Arduino the documentary now online. Disponível em <<http://blog.arduino.cc/2011/01/07/arduino-the-documentary-now-online/>> Acessado em: 10 de junho de 2014

CAMPOS, José Alexandre; CARLOTO, Marco Aurélio; MANENTI, Sérgio Luiz. **Projeto e desenvolvimento de uma máquina didática para fabricação rápida de pequenos modelos tridimensionais**. 2007. 80. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia Mecânica – Centro Universitário Positivo.

DE OLIVEIRA, Pedro. **Impressoras 3D-Redução de custo e tempo no desenvolvimento de produtos**. Samurai Books, 2014.

APÊNDICE A - Ficha de catalogação

Técnico:

(Nome do aluno que retirou a peça da máquina. Preferencialmente o mesmo aluno deve preencher esta ficha)

Douglas Eduardo Miranda Franco

Nome da Peça:

(Verificar tabela no Google Drive para seguir a ordem certa de números)

3D.EST.00X
3D.MOV.00X
3D.ELE.00X

Descrição:

(Descrever a peça em forma, tamanhos, material e funcionalidade)

EX: Eixo de aço inoxidável com tamanho de 400mm e diâmetro de 1" que é utilizado como guia para a movimentação do cabeçote no eixo X.

Data:

(Data em que a peça foi retirada da máquina e período da manhã, tarde ou noite)

Quinta-feira, 22 de maio de 2014 - Manhã

Mais informações:

(Se necessário colocar alguma outra informação)

Fotos:

(Foto dela antes de ser desmontada (A), foto dela desmontada mostrando as partes próximas (B) e foto dela separadamente com o nome escrito acima listando (C))

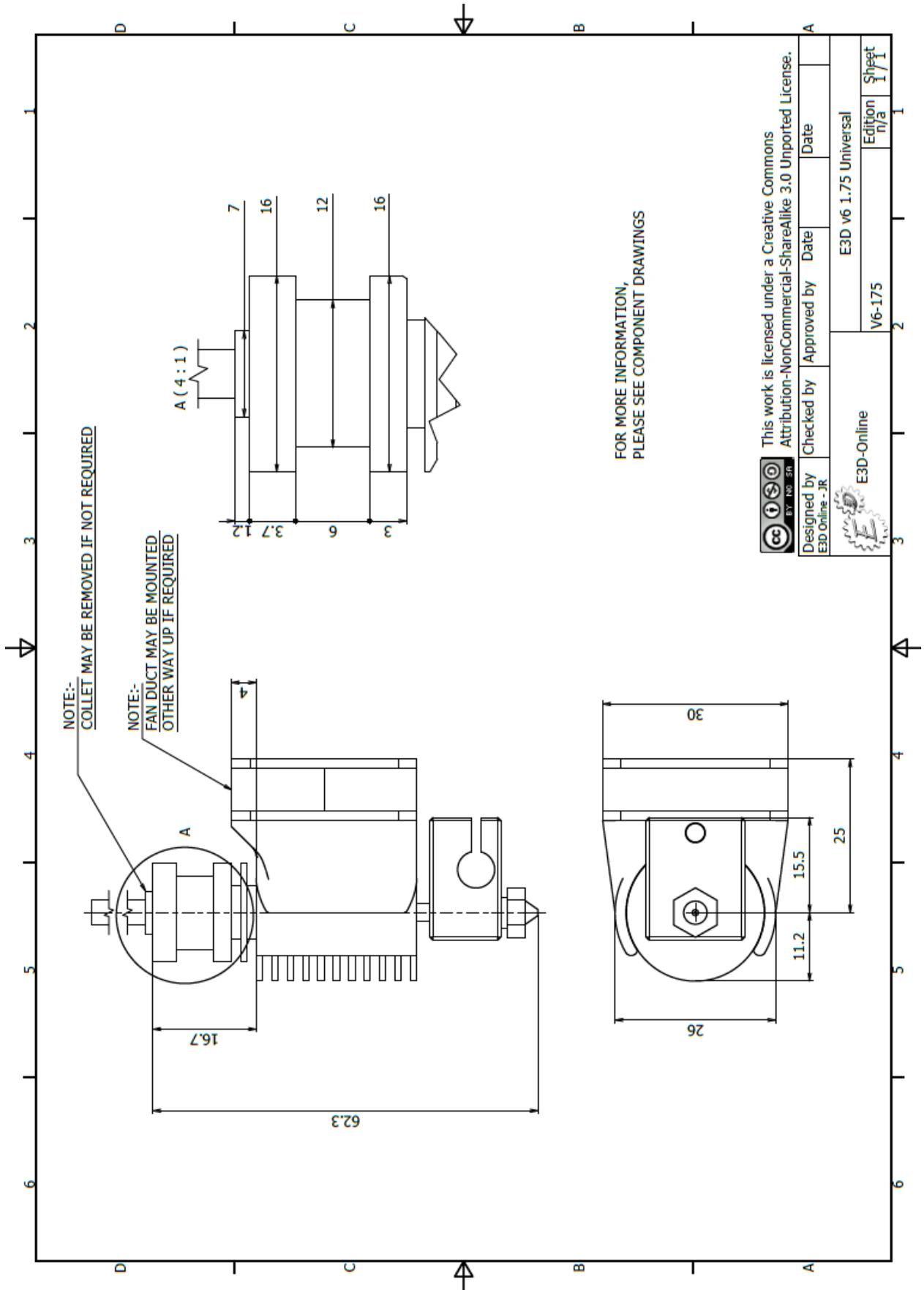
A	
B	
C	

ANEXO A - Desenho técnico da montagem do cabeçote extrusor. Peça número 3D.EXT.007

Nº DO ITEM	NOME DA PEÇA	DESCRIÇÃO	MATERIAL	QDT.
1	3D.EXIT.001	Chapa de sustentação extrusora - 1	ASTM A36 Aço	1
2	3D.EXIT.002	Chapa de sustentação extrusora - 2	ASTM A36 Aço	1
3	3D.EXIT.003	Chapa de sustentação extrusora - 3	ASTM A36 Aço	1
4	3D.EXIT.004	Apoio tensão filamento	2024 Liga (SN)	1
5	3D.EXIT.005	Braço tensão filamento	2024 Liga (SN)	1
6	ED.EXIT.006	Trator do filamento	Bronze alumínio	1
7	Mola	Mola de compressão - Ø 5mm ex - Altura 16mm	-	1
8	E3D-V6-1.75mm-UNIVERSAL	Hotend para extrusora	-	1
9	NEMA 17 Stepper Motor	Motor de passo 1.8° ângulo por passo	-	1
10	Rolamento 19x6x6	Rolamento de ajuda ao braço tensor	-	1
11	Parafuso sextavado allen M3x0.5x12	-	-	4
12	Parafuso sextavado allen M3x0.5x125	-	-	1
13	Parafuso sextavado allen M3x0.5x20	-	-	1
14	Parafuso sextavado allen M3x0.5x16	-	-	14
15	Aruela lisa M3	-	-	14
16	Aruela lisa M5	-	-	2
17	Porca sextavada M3x0.5	-	-	2

DESIGNER:	Douglas	NOME PEÇA:	3D.EXIT.007
RESPONSÁVEL:	Douglas	DESCRIÇÃO:	
UTIPR UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		Cabeçote Extrusor	
TOLERÂNCIA LINEAR:		MATERIAL:	Olhar BOM
TOLERÂNCIA ANGULAR:		REVISÃO:	A
ACABAMENTO SUP:		DATA:	04/03/2014
MEDIDAS: mm		PESO:	266,00 gramas
		QUANTIDADE:	8

ANEXO B - E3D V6 1.75 UNIVERSAL

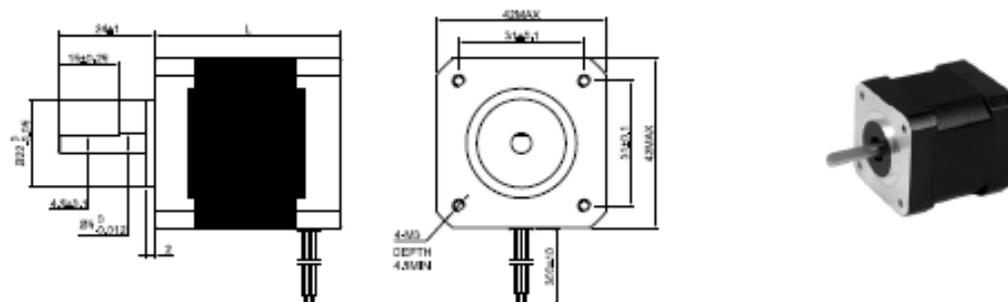


ANEXO C - Motor de passo Nema 17

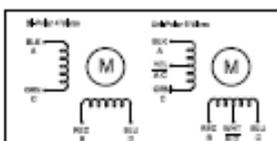
□42.3mm(□1.67in.)

Step Angle 1.8° 17HS High-Torque Type

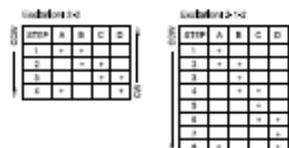
■ Dimension Unit = mm(In.)



■ Wiring Diagram



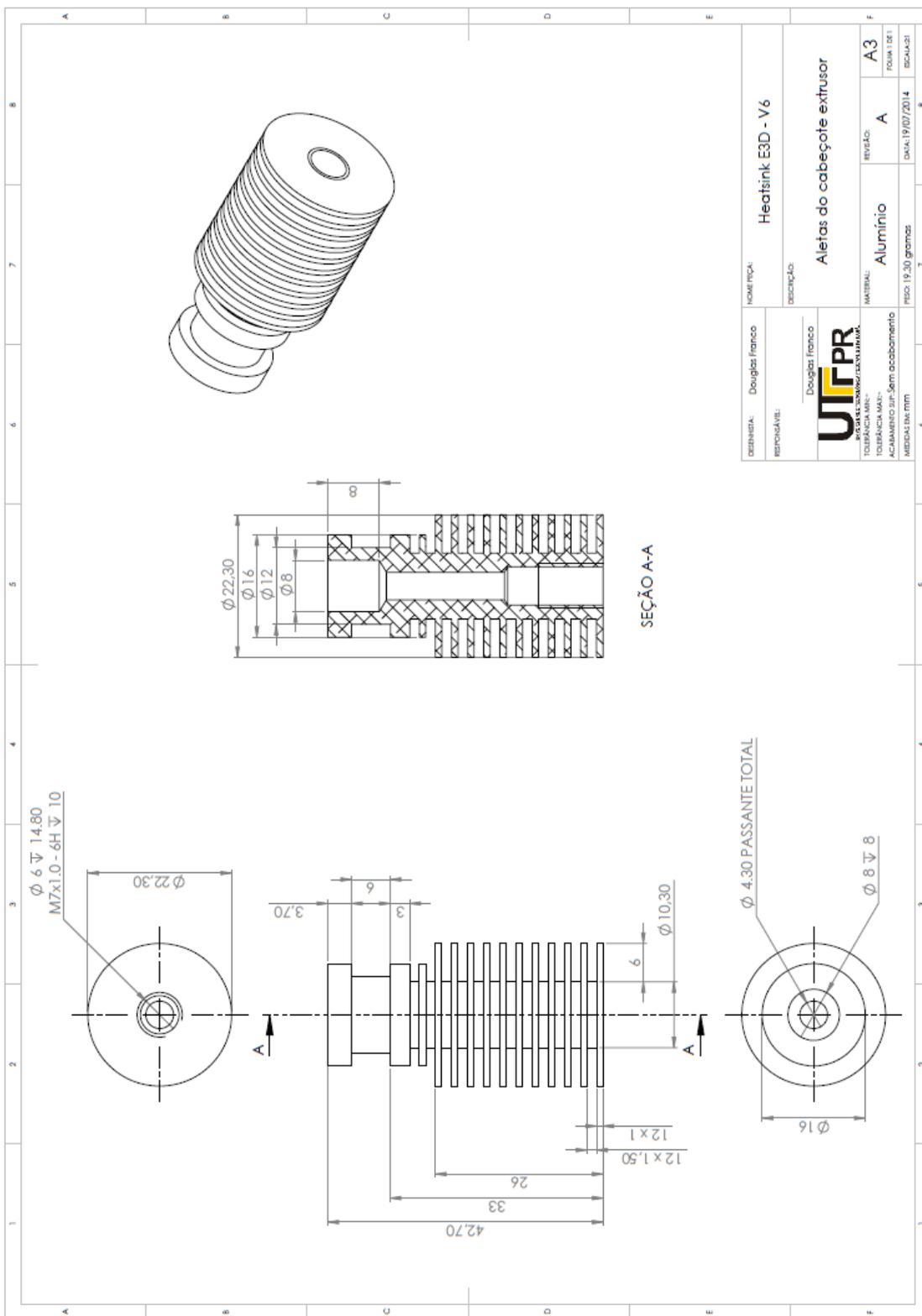
■ Excitation Sequence



■ Specifications

Model	Torque		Voltage		Current		Resistance		Inductance		Inertia		BV/Unipolar		Weight		Length "L"	
	Ncm	oz.In	V/Phase	A/Phase	Ohm/Phase	mH/Phase	g.cm ²	# of Leads	Kg	mm	In							
17HS08-1004S	13	18.4	3.5	1	3.5	4.5	15	Bi (4)	0.15	20	0.79							
17HS13-0316S	16	22.7	12	0.31	38.5	21	35	Uni (6)	0.22	33	1.30							
17HS13-0406S	16	22.7	9.6	0.4	24	15	35	Uni (6)	0.22	33	1.30							
17HS13-0956S	16	22.7	4	0.95	4.2	2.5	35	Uni (6)	0.22	33	1.30							
17HS13-1334S	22	31.2	2.8	1.33	2.1	2.5	35	Bi (4)	0.22	33	1.30							
17HS13-1504S	23	32.6	1.65	1.5	1.1	1.6	35	Bi (4)	0.22	33	1.30							
17HS13-0404S	26	36.8	12	0.4	30	37	35	Bi (4)	0.22	33	1.30							
17HS13-0844S	28	39.7	4.83	0.84	5.75	9.3	35	Bi (4)	0.22	33	1.30							
17HS15-0406S	26	36.8	12	0.4	30	30	54	Uni (6)	0.28	39	1.54							
17HS15-0806S	26	36.8	6	0.8	7.5	6.7	54	Uni (6)	0.28	39	1.54							
17HS15-1206S	26	36.8	4	1.2	3.3	3.2	54	Uni (6)	0.28	39	1.54							
17HS15-0854S	36	51.0	5.4	0.85	6.3	10	54	Bi (4)	0.28	39	1.54							
17HS15-1684S	36	51.0	2.8	1.68	1.65	3.2	54	Bi (4)	0.28	39	1.54							
17HS15-0404S	40	56.6	12	0.4	30	58	54	Bi (4)	0.24	39	1.54							
17HS16-2004S	45	63.7	2.2	2	1.1	2.6	54	Bi (4)	0.24	40	1.57							
17HS19-0406S	32	45.3	12	0.4	30	25	68	Uni (6)	0.35	47	1.85							

ANEXO D - *Hotend* E3D V6



DESENHISTA:	Douglas Franco	NOME PEÇA:	Heatlink E3D - V6
RESPONSÁVEL:	Douglas Franco	DESCRIÇÃO:	Aletas do cabeçote extrusor
UTIPR UNIDADE TÉCNICA DE PRODUÇÃO REPLICADA TUBERAÇÔES INDUSTRIAIS S.A. Acabamento: 2H - Sem acabamento MEDIDA EM MM		MATERIAL:	Alumínio
		REVISÃO:	A
		FEITO:	19.20 gramas
		DATA:	19/07/2014
		PROJ. DE:	BIGUASSI