

UNIVERSIDADE FEDERAL DE BRASÍLIA
FACULDADE DE ARQUITETURA E URBANISMO
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO DA FACULDADE DE ARQUITETURA E
URBANISMO

RENAN DO NASCIMENTO BALZANI

A PRODUÇÃO DE IMPRESSORAS TRIDIMENSIONAIS DE BAIXO
CUSTO PARA ESTUDANTES DE ARQUITETURA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

BRASÍLIA - DF

2017

RENAN DO NASCIMENTO BALZANI

**A PRODUÇÃO DE IMPRESSORAS TRIDIMENSIONAIS DE BAIXO
CUSTO PARA ESTUDANTES DE ARQUITETURA**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À
UNIVERSIDADE FEDERAL DE
BRASÍLIA FACULDADE DE
ARQUITETURA E URBANISMO PARA
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE

ORIENTADOR: PROF. Dr. NEANDER
FURTADO DA SILVA

BRASÍLIA - DF

2017

Folha destinada à inclusão da Ficha Catalográfica a ser solicitada ao Departamento de Biblioteca da UNIVERSIDADE FEDERAL DE BRASÍLIA.

Folha destinada à inclusão do Termo de Aprovação.

Dedico este trabalho à minha família, Meus pais e a Helena.

AGRADECIMENTOS

Certamente não é possível contemplar todos que fizeram parte desse período da minha vida, altos e baixos, momentos tristes e felizes e, principalmente, de muito trabalho, estudo e crescimento pessoal. Portanto, desde já peço desculpas àqueles que não foram mencionados, porém, tenham certeza de que estão sempre no meu pensamento e no meu coração e de que têm a minha mais profunda gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Neander Furtado Silva, pelo apoio logístico e acadêmico. À Helena Hofmann, por me dar o suporte emocional necessário para cumprir com a tarefa proposta. Ao meu amigo de graduação e de mestrado, Arq. Leonardo Campos Barreto. À Secretaria do programa de Pós Graduação da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Brasília, pela cooperação. Aos meus colegas de pós graduação, por tornarem o processo mais divertido e enriquecedor.

À minha família, deixo o meu mais sincero reconhecimento, por terem feito parte da minha formação pessoal e acadêmica, e pelo seu apoio incondicional.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma participaram e contribuíram para a realização da pesquisa e desenvolvimento dessa dissertação de mestrado.

Resumo

BALZANI, Renan do Nascimento. **A PRODUÇÃO DE IMPRESSORAS TRIDIMENSIONAIS DE BAIXO CUSTO PARA ESTUDANTES DE ARQUITETURA.** 2017. 100 páginas. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. UnB - Universidade Federal de Brasília. FAU - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Brasília - DF, 2017.

O presente estudo trata de impressoras tridimensionais (impressoras 3D) de baixo custo, da elaboração de um projeto de impressora 3D inspirado no modelo livre *Replicating Rapid Prototyper (RepRap)*, em tradução livre, máquina de prototipagem autorreplicadora, e de sua construção. Trata-se, ainda, da impressão de modelos para averiguar configurações e calibrações das máquinas para o uso em projeto de arquitetura. A pesquisa apresenta a possibilidade de estudantes utilizarem as impressoras 3D de baixo custo no desenvolvimento de projetos de arquitetura, de objetos e de modelos estruturais, definindo pontos positivos e negativos observados em uma máquina doméstica. O projeto de impressora desenvolvido neste trabalho disponibiliza os modelos necessários para construção de uma máquina de baixo custo, utilizando peças construídas com impressoras 3D, máquinas de corte a *laser*, placa tipo *arduíno* e seus complementos. Por meio do emprego de softwares livres de modelagem tridimensional e de gerenciamento das impressoras, buscou-se ampliar a acessibilidade ao projeto. Partindo desses pressupostos, a pesquisa estende a capacidade dos alunos de arquitetura utilizarem as impressoras 3D, para então construir seus próprios equipamentos, contribuindo na consolidação do conhecimento em prototipagem digital e construção digital ainda na graduação. Portanto, a introdução da tecnologia de impressão tridimensional de baixo custo deve ser feita de forma mais ativa nas faculdades e escolas de Arquitetura e Urbanismo.

Palavras chaves

Impressora 3D, Prototipagem rápida. Prototipagem aditiva. Arquitetura. *Arduíno*.

Abstract

BALZANI, Renan do Nascimento. **THE PRODUCTION OF LOW-COST TRIDIMENSIONAL PRINTERS FOR STUDENTS OF ARCHITECTURE.** 2017. 100 pages. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. UnB - Universidade Federal de Brasília. FAU - Faculdade de Arquitetura e Urbanismo. Brasília - DF, 2017.

In this dissertation I shall investigate low-cost three-dimensional printers (3D printers), by designing a 3D printer project inspired by the free Replicating Rapid Prototyper (RepRap), and its construction. I also analyse the process of plotting models, in order to verify the configurations and calibrations of the machines, for use in Architectural Design. The research presents how students may use low-cost 3D printers during the development of architectural projects, objects and structural models, showing positive and negative aspects that were observed in a homemade machine. The models needed to build a low cost 3D printer machine are provided by the designs developed in this dissertation, by using 3D printers, laser cutting machines, *arduino* boards and its complements. The goal to increase accessibility to the project was achieved by using free three-dimensional modeling softwares and free printer management softwares. Based on these assumptions, one can say the architecture students may surpass the ability to use the 3D printers in order to build their own equipment, adding to the knowledge development in the fields of digital prototyping and digital construction , even among graduate students. Therefore, the introduction of low-cost three-dimensional printing technology must be encouraged in Architecture and Urban Planning schools.

Keywords

3D printer, Fast prototyping. Additive prototyping. Architecture. *Arduino*.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Projeto Robohand. MAKERBOT (2013).	23
Figura 2 - Projeto Robohand. MAKERBOT (2013).	23
Figura 3 - Pistola feita com impressão 3D. "the liberator"	24
Figura 4 - Astronauta mostra ferramenta impressa na Estação Espacial Internacional por impressora 3D por adição de material plástico.....	25
Figura 5 - Sintetizador de Alimentos e ferramentas. Star Trek: Voyager.	25
Figura 6 - Impressora Reprap Prusa Mendel. Construção por Renan Balzani e Leonardo	34
Figura 7 - Máquina de corte CNC - Router. Construção: Waldemiro Amorim.	34
Figura 8 - Igreja São Francisco de Assis. Pampulha, BH. Modelo feito no programa SketchUp e impresso com plástico ABS. Modelo: Renan Balzani	38
Figura 9 - Gear Heart. Projeto Executado em Maio de 2015. O modelo virtual baixado do site Thingiverse.	39
Figura 10 - Engrenagens móveis impressas - Gear Heart. Projeto Executado em Maio de 2015. O modelo virtual baixado do site Thingiverse.....	39
Figura 11 - Impressão da Igreja São Francisco de Assis. Pampulha, BH. Modelo virtual SketchUp e impressão com plástico ABS. Modelo: Renan Balzani. Março de 2015	41
Figura 12 - Modelo Prusa Mendel. Impressora RepRap - movimentos dos eixos X, Y e Z. Construção Renan Balzani e Leonardo Barreto	41
Figura 13 - Projeto de diplomação, 2014 – Velódromo. Autor: Bruno Tenser	42
Figura 14 - Detalhe arquitetônico. Projeto Estação Antártica, PA6 – 1º semestre de 2015. Autores: Ana Luísa Meira e Ana Catarina Lima	43
Figura 15 - Detalhe arquitetônico. Projeto Estação Antártica, PA6 – 1º semestre de 2015. Autores: Ana Luísa Meira e Ana Catarina Lima.	43
Figura 16 - Alunos apresentando projeto em seminário utilizando maquete de detalhamento impressa. Detalhe arquitetônico. Projeto Estação Antártica, PA6 – 1º semestre de 2015. Autores: Ana Luísa Meira e Ana Catarina Lima	44
Figura 17 - projeto de PA 06 -Funções complexas – Estação Antártica. Estudo Volumétrico.	

Autores: Daniela Aires e Larissa Guerra	45
Figura 18 - Projeto de PA 06 -Funções complexas – Estação Antártica. Estudo Volumétrico. Autores: Daniela Aires e Larissa Guerra	45
Figura 19 - Projeto de Diplomação. Paróquia em Brasília, junho de 2015. Autor: Hernany dos Reis	46
Figura 20 - Projeto de Diplomação. Paróquia em Brasília, junho de 2015. Autor: Hernany dos Reis	46
Figura 21 - Projeto de Diplomação. Estação Metrô em Brasília, Junho de 2015. Autor Marco Vermiglio	47
Figura 22 - Projeto de Diplomação. Estação de metrô para Brasília. Autor: Alessandra Pugliula.....	47
Figura 23 - Museu Histórico de Brasília. Modelo executado com Scanner 3D e impressão 3D. junho de 2015. Autor: Juan Guillén.....	48
Figura 24 - Projeto PA 02	49
Figura 25 - Maquete 01,Projeto PA 02	50
Figura 26 - Maquete 01, de PA 02	50
Figura 27 - Maquete 02, de PA 02	51
Figura 28 - Maquete 02, de PA 02.....	51
Figura 29 - Maquete 02, PA 02.....	51
Figura 30 - Maquete 03, de PA 02	52
Figura 31 - Maquete 03, de PA 02.....	52
Figura 32 - Perspectiva. Modelo 2.1 - Desenvolvido com a utilização do software Sketchup	54
Figura 33 - Vistas laterais. Modelo 2.1. Modelo desenvolvido com a utilização do software Sketchup	55
Figura 34 - Máquina de corte 2D Router. Momento do corte de protótipo para estrutura de impressora 3D.....	55
Figura 35 - Primeiras peças cortadas para o projeto de impressora 3D RepRap Fau/unB. Madeira MDF Cru	56

Figura 36 - Conjunto de peças eletrônicas e mecânicas para a montagem da impressora	57
Figura 37 - Projeto remodelado – modelo 2.2. Melhoria para no posicionamento dos componentes eletrônicos.....	58
Figura 38 - Projeto remodelado – modelo 2.2. Criação de caixa para adequação da placa-mãe Arduino.....	58
Figura 39 - Protótipo do Modelo 2.2 em MDF branco e montagem efetuado por uma única pessoa	59
Figura 40 - Protótipo do Modelo 2.2 em MDF branco executado com máquina de corte CNC Router	59
Figura 41 - Protótipo da estrutura do Modelo 2.3 em MDF branco executada com corte a laser	60
Figura 42 - Motor de passo nema 17.	62
Figura 43 - Arduino Mega 2560.	64
Figura 44 - Arduino Mega 2560.	64
Figura 45 - Shield Ramp 1.4 para utilização com placa Arduino mega 2560	65

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 1 - Impressora 2.3, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016.....	77
Ilustração 2 - Impressora 2.3, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016.....	77
Ilustração 3 - Impressora 2.3, vista Frontal, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016.....	78
Ilustração 4 - Impressora 2.3, vista Posterior, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016.....	78
Ilustração 5 - Impressora 2.3, vista lateral 01, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016	79
Ilustração 6 - Impressora 2.3, vista lateral 01, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016	79
Ilustração 7 - Impressora 2.3, Perspectiva Explodida frontal, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016	80
Ilustração 8 - Impressora 2.3, Perspectiva Explodida posterior, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016	81
Ilustração 9 - Estrutura MDF Laminado Branco, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016	82
Ilustração 10 - Estrutura MDF Laminado Branco com barras rosqueadas e lisas, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016.....	82
Ilustração 11 - Eixo X, peças impressas, rolamentos barras lisas, arruelas 8mm e parafusos e barras lisas,- FAU/ UnB, 2016.....	83
Ilustração 12 - Eixo X, peças impressas, rolamentos barras lisas, arruelas 8mm e parafuso, barras lisas e rosqueadas, FAU/ UnB, 2016	83
Ilustração 13 - Eixo X, conjunto completo - FAU/ UnB, 2016	84
Ilustração 14 - Extrusor completo. Vistas frontal e lateral do motor de passo - FAU/ UnB, 2016	85
Ilustração 15 - Extrusor completo. Vistas lateral com peça para fixação do filamento e parafusos e Vista posterior com fixação da engrenagem com parafuso e arruela de 8mm - FAU/ UnB, 2016.....	85
Ilustração 16 - - Extrusor completo. Perspectiva frontal - FAU/ UnB, 2016	86
Ilustração 17 - - Extrusor completo. Perspectiva Posterior - FAU/ UnB, 2016	86
Ilustração 18 - Extrusor completo. Perspectiva frontal explodida - FAU/ UnB, 2016.....	87

Ilustração 19 - Extrusor completo. Perspectiva Posterior explodida - FAU/ UnB, 2016.....	87
Ilustração 20 - -Mesa aquecida completa - FAU/ UnB, 2016	88
Ilustração 21 - Mesa aquecida - FAU/ UnB, 2016	88
Ilustração 22 - Estrutura de suporte para Mesa aquecida, MDF branco executado com corte à laser - FAU/ UnB, 2016.....	88
Ilustração 23 - Mesa aquecida. Perspectiva explodida frontal - FAU/ UnB, 2016.....	89
Ilustração 24 - Mesa aquecida. Perspectiva explodida Posterior - FAU/ UnB, 2016.....	89
Ilustração 25 - Tela LCD com caixa impressa, conjunto completo - FAU/ UnB, 2016	90
Ilustração 26 - Caixa impressa para posicionamento do tela LDC - FAU/ UnB, 2016.....	90
Ilustração 27 - Perspectiva explodida para montagem do conjunto da tela LDC - FAU/ UnB, 2016	91
Ilustração 28 - Perspectiva explodida para montagem do conjunto da tela LDC - FAU/ UnB, 2016	91
Ilustração 29 - Posicionamento da eletrônica na estrutura - FAU/ UnB, 2016.....	92
Ilustração 30 - Posicionamento da eletrônica na estrutura - FAU/ UnB, 2016.....	92
Ilustração 31 - Posicionamento da eletrônica na estrutura peças de suporte em MDF cortado à laser - FAU/ UnB, 2016.....	93
Ilustração 32 - Posicionamento da placa mãe com peças impressas - FAU/ UnB, 2016	93
Ilustração 33 - Posicionamento da placa mãe com peças impressas - FAU/ UnB, 2016	95
Ilustração 34 - Chave de fim de curso ou Endstop do eixo Z- FAU/ UnB, 2016.....	96
Ilustração 35 - Chave de fim de curso ou Endstop do eixo Z- FAU/ UnB, 2016.....	96
Ilustração 36 - Chave de fim de curso ou Endstop do eixo X- FAU/ UnB, 2016	96
Ilustração 37 - Menu para configuração do programa Repertier Host	98
Ilustração 38 - Menu para dar inicio a impressão e configuração do programa Repertier Host	98
Ilustração 39 - Menu conectar a impressora ao programa e carregar arquivos no Repertier Host.....	98
Ilustração 40 - Menus para visualizar e movimentar os arquivos na área de impressão. p	

programa Repertier Host	99
Ilustração 41 - Comandos virtuais para movimentação da impressora, definição de temperatura da mesa aquecida e hotend e controle de cooler para resfriamento do corpo do extrusor. Programa Repertier Host	99
Ilustração 42 - Comandos virtuais para movimentação da impressora, definição de temperatura da mesa aquecida e hotend e controle de cooler para resfriamento do corpo do extrusor. Programa Repertier Host	100

SUMÁRIO

1 – Introdução:.....	18
1.1 - Conceitos Essenciais e técnicas principais.....	19
1.2 - Projeto <i>REPRAP</i>	22
1.3 - Aplicações	22
2 – Problemática	27
3 – Possíveis Repercussões e Hipóteses de Pesquisa	30
4 – Objetivo	30
5 – Objetivos Específicos	30
6- Justificativa	31
7 - Vinculação.....	32
8 – Procedimentos Metodológicos e.....	33
9 - Resultado.....	35
10 – Análise de <i>Hardware</i> e <i>Software</i> livres de uma impressora <i>REPRAP</i>	36
10.1 - Limitação: Volume de impressão - 20x20x10cm:.....	36
10.2 - Limitação: Definição de modelos (qualidade de impressão limitada):.....	36
10.3 - Limitação: Quantidade de cores em um mesmo modelo:	36
10.4 - Limitação: Velocidade de impressão:.....	37
10.5 - Limitação: Estrutura da máquina	37
10.6 - Limitação: Material (qualidade e tipo do material):.....	37
10.7 - Limitação: Descolamento das peças da mesa de impressão, efeito <i>Warp</i>	37
11 – Utilização de impressoras 3D na produção de maquetes para projetos de Arquitetura	38
12 - Funcionamento de uma impressora 3D de baixo custo.....	40
13 – Produção de maquetes: 1º e 2º semestres de 2015, FAU/ UnB	42
13.1 – Produção de maquetes: Projeto Arquitetônico 2, FAU/ UnB	49
14 – Produção de projeto e confecção de impressora 3D <i>RepRap</i>	54

15 – Eletrônica e Mecânica	61
15.1 - Fonte:.....	61
15.2 - Motores de Passo – Nema 17:	61
15.3 - Placa Mãe: Histórico do <i>Arduino</i>	63
15.4 - <i>Hardware</i> do <i>Arduino</i>	63
15.5 - <i>Shield/ Ramps</i>	64
15.6 - <i>Software</i> do <i>Arduino</i>	65
16 - Análise ergonômica	66
16.1- Aspectos Físicos	66
16.1.1 - Área de atuação (lugar de trabalho na mesa)	66
16.1.2 - Área de empunhadura.....	66
16.2 - Possíveis acidentes	67
16.2.1 - Acidentes com elementos aquecidos	67
16.2.2 - Acidentes com eixos em movimentos e engrenagens	67
16.3 - Aspectos Cognitivos:.....	67
16.3.1 - Curva de aprendizado e aspectos da memória para a utilização da impressora 3D	67
16.3.2 - Solução	68
16.4 - Aspectos sonoros	68
17 - Conclusão	69
18 - Referências	73
18.1 - <i>Sites</i> e <i>Revistas</i> :	74
Anexo 01 - Tabela de peças e preços estimados – (2016)	76
Anexo 02	77
Manual de montagem	77
Impressora 3D: Montada por alunos de arquitetura	77
Perspectiva Explodida	80

Estrutura: MDF cortado a <i>laser</i>	82
Conjunto do Eixo X.....	83
Extrusor	85
Mesa Aquecida	88
Tela LCD	90
Posicionamento da Eletrônica na estrutura.....	92
Anexo 03	94
Manual do Usuário.	94
Calibrando a impressora	94
Calibrando os programas	97

1 – Introdução:

As impressoras 3D e outras técnicas de produção digital fazem parte da confecção de protótipos pela indústria aeroespacial, naval, automobilística e desenvolvimento de produtos a há pelo menos trinta anos (Kolarevic, 2001: Acadia, p. 274). É possível perceber o impacto gerado pela adoção de tecnologias de construção digital no desenvolvimento de produtos dessas indústrias. No campo da Arquitetura, as técnicas de fabricação assistida por máquinas de fabricação computadorizadas ainda não são tão integradas ao processo de projeto e execução. Contudo, podemos observar experiências investigando como utilizar essas técnicas a décadas. Em 1970, Ronald Resch, da Universidade Norte americana de *Utah*, projetou uma estrutura poliedral utilizando máquina de corte computadorizado para produzir peças em folhas de metal (Mitchell and McCullough, 1995, p.422).

A primeira impressora tridimensional foi criada em 1988, por Charles Hull, da empresa norte americana 3D Systems (Kolarevic, 2001: Acadia, p. 273). A estereolitografia, técnica introduzida por Hull, consiste na utilização de polímero líquido que solidifica quando exposto a um feixe de raio de luz. Hull criou um novo formato de arquivo digital baseado no nome estereolitografia, o “.STL”. Esse formato é utilizado pelas impressoras tridimensionais até os dias de hoje.

Em 1998 Scott Crump, desenvolveu o método de impressão por deposição de material termoplástico em camadas (*FDM – Fused Deposition Modeling*). A impressão por material fundido consiste em derreter um polímero termoplástico em sucessivas camadas sobrepostas de tal forma que cada camada constitui uma seção de um modelo e o conjunto se transforma em um objeto real ou modelo em escala (Kolarevic, 2001: Acadia, p. 273).

A tecnologia de prototipagem ou produção de objetos finais permitiu que a indústria agilizasse seu processo de desenvolvimento de produtos. Os métodos de produção computadorizados colaboram para a redução dos custos de desenvolvimento e construção de projetos de produtos e arquitetônicos. Com o passar dos anos as máquinas evoluíram, diminuindo os custos para aquisição do maquinário. (Mitchell and McCullough, 1995, p.417).

Os produtos desenvolvidos podem ser prototipados ao ponto de permitir a criação de *mockups*, modelos para testes criados em tamanho natural com funcionalidade de objeto final, ou seja, determinar os pontos fracos ou fortes de um projeto de produto ou edificação.

As tecnologias de impressão tridimensional não eram viáveis para o uso geral. Universidades, faculdades, estudantes e profissionais de arquitetura e *design*, não tinham acesso a tecnologia

devido ao elevado custo para aquisição do equipamento e do material de impressão. Os únicos que podiam utilizar a impressão 3d eram grandes centros de tecnologia ou empresas de grande porte capazes de arcar com o alto custo dos equipamentos. Por mais de vinte anos, a capacidade de uso da tecnologia restringiu-se à empresas com poder aquisitivo. Contudo, o cenário mudou quando patentes de alguns tipos de impressão 3D expiraram na primeira década do século XXI, (Ehmann, 2014, p. 20).

A liberação para utilizar técnicas protegidas, permitiu aos desenvolvedores independentes a construção de máquinas de prototipagem e o compartilhamento de projetos com outros construtores. A comunicação e distribuição de conteúdo possibilitada pela Internet popularizou as impressoras tridimensionais e permitiu o surgimento de inúmeros modelos desenvolvidos pela comunidade.

1.1 - Conceitos Essenciais e técnicas principais

O presente estudo manteve o foco nas impressoras tridimensionais de deposição de material termoplástico em camadas (*FDM – Fused Deposition Modeling*) por terem componentes para construção mais baratos e material de impressão acessível. Contudo, os modelos de impressão por adição não se limitam apenas a utilizar material plástico, existem diversos modelos que podem utilizar misturas de gesso com sílica, sal e até mesmo metal em pó, impressão com vidro derretido, concreto, argila ou mesmo terra (Ehmann, 2014).

É necessário ressaltar conceitos de desenvolvimento de modelos e edificações com técnicas digitais. Os termos utilizados neste estudo tais como, prototipagem rápida (RP), manufatura rápida, fabricação de ferramentas, entre outros, tem suas raízes no campo da engenharia mecânica. (Pupo, Celani e Duarte, 2009, p. 349). O processo de desenvolvimento de projetos de Arquitetura e Urbanismos, utiliza diversos métodos, mesmo antes do surgimento de técnicas digitais de produção de desenhos e modelos, para permitir a transmissão adequada de ideias. O projeto surge no desígnio, permitindo o registro de seu processo e sua reprodução. A maquete ou modelo, em contrapartida, é a concretização da concepção espacial por meio de elementos arquitetônicos. Deve ser representada de maneira adequada para cada etapa de desenvolvimento, utilizando técnicas de maquete de estudo, volumetria, execução ou de detalhamento, produzidos de forma artesanal ou digital. (Koll e Hechinger, 2003, p.9).

O modelo representa a projeção da realização da obra, de maneira esquemática e abstrata. Mostrando os elementos essenciais para o entendimento de aspectos específicos de um fenômeno da natureza ou de um planejamento construtivo. Quanto mais complexo o objeto a ser analisado e estudado mais necessário é a produção de um modelo. (McMillian, 1992, apud Pupo, Celani e Duarte, 2009, p. 349).

Conforme Mitchell (1975) existem três tipos de maquetes, a análoga, a simbólica e a Icônica. As maquetes análogas, representam características análogas ao que se deseja apresentar no objeto construído. Um exemplo são as maquetes de Gaudi para a sagrada família, com suas correntes e sacos de areia penduradas representando a forma inversa do que o arquiteto buscava para a edificação. As maquetes simbólicas são representações numéricas ou matemáticas que representam simulações para averiguação de conforto acústico, térmico ou desempenho estrutural. (Mitchell, 1975, apud Pupo, Celani e Duarte, 2009, p. 349).

A melhoria da computação gráfica permitiu que as maquetes virtuais tridimensionais fossem desenvolvidos para apresentar e analisar os dados matemáticos criados por programas de computador. (Kolarevic, 2007, apud Pupo, Celani e Duarte, 2009, p. 349).

As maquetes icônicas são os modelos mais comuns para o desenvolvimento de projetos arquitetônicos. São produzidas, geralmente, em escala e representam miniaturas de edificações existentes ou propostas.

Outro tipo de maquetes são os protótipos. Esse tipo específico é produzido em tamanho real. O protótipo serve para analisar aspectos particulares de edifício ou detalhe arquitetônico. (Pupo, Celani e Duarte, 2009, p. 349). É importante ressaltar que o conceito de protótipo e maquete em escala se sobrepõem em arquitetura, as maquetes de execução são confeccionadas em escala. Contudo, são precisas e detalhadas para contribuir no planejamento de execução. (Koll e Hechinger, 2003, p.12).

Os modelos e maquetes podem ser executados utilizando técnicas de produção por meios digitais denominados Prototipagem Rápida (PR). As maquetes são criadas por máquinas computadorizadas que depositam ou material ou retiram material de um bloco ou matéria prima. (Lennings, 1997, apud Pupo, Celani e Duarte, 2009, p. 350).

Os dispositivos de PR funcionam utilizando o princípio do Controle Numérico Computadorizado (CNC) e podem ser máquinas de corte bidimensional (2D), máquinas 3D aditivas, subtrativas ou fabricação por meio de conformação (Kolarevic, 2001: Acadia, p. 269).

A técnica mais comum de produção é o corte em duas dimensões (2D). Na fabricação 2D podem ser usadas diferentes técnicas de corte, tais como, corte com plasma, jato de água, corte a *laser* entre outras e o seu uso deve ser definido dependendo do material a ser cortado. (Kolarevic, 2001: Acadia, p. 269).

A prototipagem por subtração esculpe o material em três dimensões por fresagem, retirando um volume específico de material, camada por camada. Pode ser utilizado na produção por subtração metal, plástico, madeira, compostos, pedra entre outros. (Thompson, 2011, p. 43).

A prototipagem aditiva deposita material, camada por camada, produzindo qualquer forma desejada. Existem diferentes tipos de impressoras tridimensionais que variam de acordo com o tipo de material definido para a produção. A estereolitografia, citada anteriormente, sinterização de metal por raio *laser*, impressão com argila, impressão com sílica, impressão com material plástico entre outras. (Kolarevic, 2001: Acadia, p. 272). O processo é utilizado na produção de modelos para apresentações e protótipos funcionais. O método aditivo é conhecido por não ter desperdício, apenas o material necessário para a produção do modelo é utilizado, diferente da subtração que perde parte da matéria-prima. A maioria dos materiais utilizados para a impressão 3D podem ser reciclados. (Thompson, 2011, p. 43).

A última técnica abordada no estudo é a fabricação com conformação. Nessa forma de produção forças mecânicas e altas temperaturas são aplicadas a determinados materiais para que ganhem as formas desejadas de acordo com um molde pré definido. Outras técnicas de prototipagem rápida podem ser utilizadas para produzir os moldes necessários para a fabricação por conformação. (Kolarevic, 2001: Acadia, p. 273).

1.2 - Projeto *REPRAP*

As impressoras tridimensionais de baixo custo, *Replicating Rapid Prototyper (RepRap)* ou em livre tradução, máquina de prototipagem autorreplicadora, foram desenvolvidas pelo pesquisador Adrian Bower, da Universidade de *Bath*, no Reino Unido. Bower idealizou uma máquina que utiliza materiais de baixo custo e fácil obtenção. (Ehmann, 2014, p.20).

O pesquisador desenvolveu a impressora com partes produzidas utilizando outras impressoras 3D, assim, são capazes de produzir vários dos próprios componente, possibilitando uma rápida disseminação. As peças da primeira máquina mãe foram desenvolvidas utilizando uma impressora 3D comercial.

Bowyer, tornou de domínio público seu projeto, especificações técnicas e *software* por meio de arquivo *open-source*, sendo compartilhados e modificados pela comunidade de usuários. Empresas começaram a surgir graças ao projeto *RepRap*. Algumas empresas iniciaram suas operações vendendo kits para a montagem de impressoras ou desenvolviam seus próprios modelos utilizando como base de projeto os desenhos de Bower, este movimento permitiu a criação de impressoras mais amigáveis para os usuários que não possuíam um conhecimento prévio de eletrônica. O projeto *RepRap* e suas derivações permitiram a popularização de uma tecnologia antes inacessível.

1.3 - Aplicações

O projeto *RepRap*, juntamente com a conectividade possibilitada pela Internet, têm trazido à tona discussões a respeito do compartilhamento de informações. No ano de 2013 nasceu de forma livre o projeto intitulado *Robohand*, idealizado por Richard Van As da África do sul e Ivan Owen dos Estados Unidos da America, (Fig. 1 e 2), no mesmo ano a empresa estadunidense *Makerbot*, situada em Nova York, entrou para o projeto fornecendo impressoras 3D para a produção de próteses de baixo custo. As próteses são desenvolvidas para pessoas com alguma deficiência em suas mãos, braços ou dedos. As impressoras disponibilizadas pela empresa *Makerbot* permitiu grande agilidade no processo de projeto, viabilizando a criação de um modelo virtual nos Estados Unidos e produzido em forma física na África do sul com um intervalo de apenas algumas horas, ou seja, o tempo de impressão dos componentes para um novo protótipo (*Makerbot, 2013*). Os arquivos para impressão do projeto *robohand* podem ser baixados da Internet de forma gratuita, e podem ser fabricados com qualquer tipo de impressora caseira de adição (Ehmann, 2014p. 22). Este é um exemplo de como a

prototipagem pode suprir, com custos reduzidos uma necessidade especial. Contudo, também surgiram projetos utilizando as impressoras 3D para fins bélicos, a arma impressa “*The Liberator*” (Fig. 03) foi desenvolvida e construída nos Estados Unidos, tendo seus arquivos digitais disponibilizados para *download*. O projeto da arma impressa levantou a questão da censura e limitação de distribuição de arquivos digitais para impressão 3D. (Ehmann, 2014p. 23).



Figura 1 - Projeto Robohand. MAKERBOT (2013).

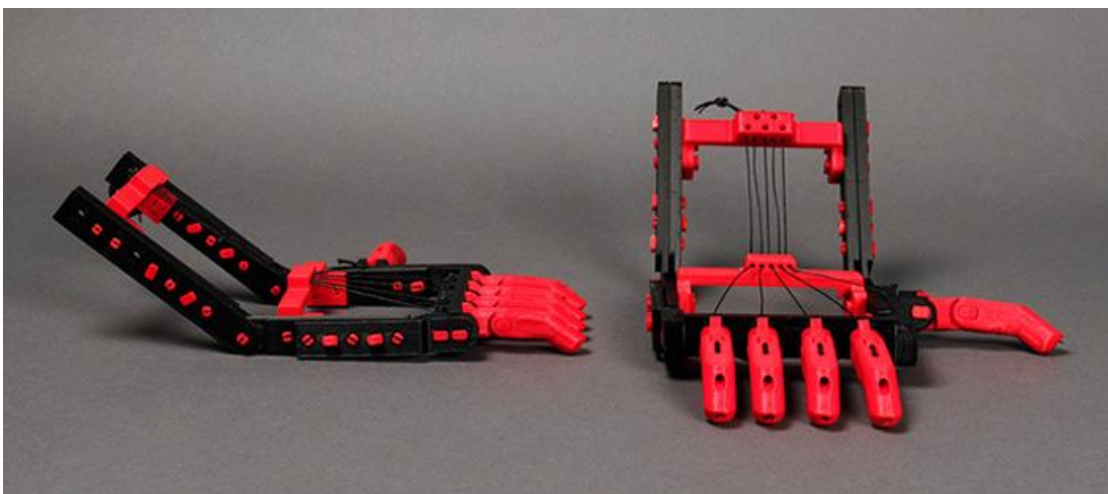


Figura 2 - Projeto Robohand. MAKERBOT (2013).



Figura 3 - Pistola feita com impressão 3D. "the liberator".

Outras aplicações podem ser observadas para a tecnologia de prototipagem rápida. O desenho industrial pode utilizar a PR para desenvolver produtos que são pensados e desenvolvidos para serem produzidos diretamente por máquinas de impressão 3D ou máquinas de prototipagem por subtração.

A agência do governo norte americano, *National Aeronautics and Space Administration* ou *NASA*, no ano de 2014 utilizou impressoras 3D levadas à estação espacial para imprimir ferramentas projetadas em terra pela empresa americana "*Made in Space*" (fig.4).

A *Made in Space* foi a empresa responsável pela instalação e utilização de impressoras 3D na Estação Espacial Internacional. Segundo a empresa *Made in Space* (2015), essa foi à primeira vez que um objeto foi projeto na terra e enviado por *e-mail* para o espaço para ser produzido. A utilização de máquinas de prototipagem rápida gera um grande avanço para as missões espaciais, possibilitando a diminuição de peso levado para o espaço e permitindo que as ferramentas sejam produzidas apenas quando se mostrarem necessárias. Esse avanço nos deixa mais próximo de obras de ficção científica como a famosa serie de televisão "*Star Trek*" e seus replicadores que podem "produzir" desde alimentos a ferramentas em questão de segundos (fig. 5). Parece absurdo comparar uma série de televisão com máquinas de prototipagem rápida. Entretanto, a ficção científica permite a visualização prévia de artefatos imaginados pelo homem e que se tornaram viáveis, um exemplo é o telefone celular.



Figura 4 - Astronauta mostra ferramenta impressa na Estação Espacial Internacional por impressora 3D por adição de material plástico.



Figura 5 - Sintetizador de Alimentos e ferramentas. Star Trek: Voyager.

A criação de design direcionado para máquinas de prototipagem rápida gera a possibilidade de redução de custos. Como no exemplo da *NASA*, a necessidade de produzir em grande quantidade é praticamente anulada. Basta ter acesso a uma máquina funcional e o arquivo digital. A produção passa a ser por demanda.

A possibilidade de produzir apenas por demanda e a necessidade de criar objetos e modelos especificamente para a impressão tridimensional permite aos Arquitetos e *Designers* desenvolver novos produtos de acordo com a estética criada pela técnica de produção.

O diferencial de um objeto desenvolvido inteiramente para produção em impressoras 3D é a viabilidade de distribuição do arquivo de impressão e não mais o objeto em si. Possibilitando o compartilhamento de projeto por *e-mail* ou via *download*. É possível disponibilizar os arquivos para venda direta, via sistema de *stream*. A produção doméstica com técnicas utilizadas pela indústria gera a necessidade de se desenvolver novas formas de proteção da propriedade intelectual e o controle sobre a venda dos arquivos e dos objetos impressos.

2 – Problemática

A falta de conhecimento sobre prototipagem rápida e construção digital deve ser preenchida nas escolas de Arquitetura e Urbanismo. As máquinas de construção digital podem ser utilizadas em processos que aliam o desenvolvimento de projetos de edifícios, produtos para construção civil ou mesmo produtos de *design*. Programas de computador e máquinas de produção computadorizadas tais como impressoras 3D, máquinas de corte em duas dimensões e máquinas de subtração de pequeno porte podem viabilizar o aprendizado de como deve ser projetado uma edificação com técnicas digitais de construção. Familiarizando os estudantes com os instrumentos e programas de modelagem, inspirando os alunos a irem além do convencional, enfatizando o processo de projeto e evidenciando o ensino de Arquitetura como um sistema de aprendizado pela experiência (Kalisperis, 1996, p.22).

É possível observar a falta de conhecimento dos estudantes sobre prototipagem rápida e construção digital. As faculdades brasileiras estão atrasadas no ensino de novas tecnologias e poucas possuem programas de inserção do tema nas cadeias de projeto e tecnologia. Foi observado através de estudos realizados com alunos de projeto arquitetônico da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Brasília que os alunos têm pouco conhecimento sobre impressão 3D. O estudo efetuado em 2015 e 2016 possibilitou a estudantes de diversos períodos do curso de Arquitetura e Urbanismo utilizarem uma impressora 3D de baixo custo, modelo *RepRap*, para imprimir seus trabalhos. Todavia, poucos alunos sabiam como uma impressora funciona. Não possuíam conhecimento sobre a capacidade de detalhamento para criação de maquetes impressas. Foi necessário acompanhamento próximo aos alunos para que compreendessem as novas técnicas e como cada estudante poderia criar um modelo.

É evidente a lacuna de conhecimento e a necessidade de ensinar novas técnicas para que os estudantes integrem o conhecimento de tecnologia da construção digital nos ateliês de projeto, aulas de cálculo e mesmo nas aulas de história, observando técnicas de levantamento e escaneamento tridimensional de obras arquitetônicas preservadas ou que necessitam de restauração.

A lacuna observada pode ser sanada utilizando conhecimento compartilhado por comunidades de desenvolvedores. A troca de conhecimento, projetos e códigos de programação é uma das principais características de uma comunidade de livre informação (Ehmann, 2014p. 22). A tecnologia livre aborda tanto o desenvolvimento de *softwares* como *hardware*, podendo ser executada, utilizada, copiado, modificada e redistribuída pela comunidade. O usuário tem livre acesso ao código fonte, aos projetos e esquemas de montagem e pode fazer modificações de acordo com suas necessidades.

A expressão "*software* livre" gera confusão. Muitos pensam que *software* livre ou "*free software*" é algo gratuito. O termo "*free*" está ligado a livre e não a gratuito. O conceito de livre prevê que todo o *software* e *hardware* será distribuído com seu código-fonte ou manual de construção, podendo ser alterado e até mesmo redistribuído depois de alterado. Contudo, os produtos gerados não são necessariamente gratuitos (Mota Filho, 2006, p. 51). O *software* livre nos proporciona a liberdade de executar um programa para adaptá-lo, seja qual for o propósito. A liberdade de modificar um programa ou máquina para adaptá-lo às suas necessidades e, para que isso ocorra, o programa ou equipamento deve permitir o acesso ao código-fonte. A liberdade de redistribuir cópias, gratuitamente ou mediante uma taxa. A liberdade de distribuir versões modificadas e, nesse caso, toda a comunidade poderá beneficiar-se dos aperfeiçoamentos (Richard Stallman, apud Mota Filho, 2006, p.52). É importante diferenciar *free software* e *freeware*. O *free software*, traz consigo o código-fonte, pode ser vendido e ser livremente alterado, adaptado e redistribuído. O *freeware* é obrigatoriamente de graça, mas não traz consigo o código-fonte e, em consequência, não pode ser alterado. Um bom exemplo de *software* de código-fonte aberto e livre é o *GNU/ Linux*.

O Linux é um sistema operacional capaz de rodar em diferentes tipos de computadores, seu código aberto permite que programadores e desenvolvedores independentes espalhados pela Internet modifiquem ou alterem o sistema para se adaptar a necessidades individuais ou corrigir possíveis problemas e assim contribuir para a qualidade e desempenho do programa. O projeto nasceu em 1991, criado por Linus Torvalds, da Finlândia. Linus, idealizou a ideia de um sistema operacional livre, por não ter dinheiro para adquirir um sistema produzido por empresas privadas. O sistema operacional cresceu quando Linus observou que sozinho não seria capaz de criar um sistema de qualidade, para contornar essa situação abriu o conceito e os códigos para a comunidade de desenvolvedores e assim varias versões do Linux foram escritas, tais com a *Debian* e *Ubuntu*. (Anúnciação, 1997, p. 35).

O sistema é gratuito e pode ser baixado, copiado, distribuído e instalado em várias máquinas sem problemas legais referentes a propriedade intelectual. O código-fonte aberto permite que qualquer pessoa veja como o programa funciona, tornando o sistema operacional adaptável a novos *hardwares* e a comunidade de desenvolvedores permite a rápida evolução do programa.

O *hardware livre* ou equipamento de fonte aberta é desenvolvido e distribuído de forma similar. O princípio do *hardware livre* é a distribuição de conhecimento sobre equipamentos e visa compartilhar informações, tais como diagramas, estrutura, projeto de produção e montagem de placas de circuito impresso e manuais de montagem. Existem diversos tipos de projetos disponíveis para produção, permitindo o acesso à tecnologia. Alguns exemplos são as novas placas controladoras como o *Arduino* ou *raspberry pi* que permitem desenvolvimento de programas e protótipo físicos a custos reduzidos. É possível construir braços robóticos, *drones* voadores ou terrestres, vídeo games e vários modelos de impressoras tridimensionais e máquinas de corte computadorizado com essas placas. (Evans, 2013, p. 24).

A comunidade de desenvolvedores tem como filosofia o desenvolvimento de tecnologia de baixo custo. Utiliza a Internet para divulgar suas descobertas, avanços e melhorias nos programas e equipamentos criadas ou replicados pelos usuários.

Os cursos de Arquitetura e Urbanismo devem integrar tecnologias de prototipagem e construção digital aplicadas ao processo de projeção, tais como impressoras 3D de baixo custo, máquinas de cortes bidimensional e *softwares* criados especificamente para arquitetos.

Portanto, é necessário entender a utilização das máquinas e o processo de criação dos modelos virtuais, como devem ser manipulados para a impressão e transformados em modelos físicos. Os *softwares* de modelagem virtual devem ser ensinados utilizando critérios direcionados para a construção digital. A inclusão da tecnologia abordada deve ser definida de forma a contribuir para a formação dos futuros arquitetos e profissionais atuantes. As Instituições devem fornecer equipamentos adequados para o uso dos estudantes. É relevante o uso e o desenvolvimento de tecnologias livres, ao mesmo tempo que permitem a compra de equipamentos de baixo custo pelas instituições, possibilitando o aprendizado através da prática direta ao construir e testar suas próprias máquinas de prototipagem digital.

3 – Possíveis Repercussões e Hipóteses de Pesquisa

A inserção da impressão tridimensionais nas escolas de Arquitetura e Urbanismo pode ser feita com a obtenção de equipamentos que possibilitem o trabalho sem causar um custo elevado para os alunos e para as faculdades, utilizando tecnologia de código aberto, *software* e *hardware* livres, para que os próprios alunos possam construir seus equipamentos.

As impressoras 3D *RepRap* viabilizam a construção por estudantes. Esse tipo de máquina pode ser construída com um conhecimento de eletrônica básica. As peças da estrutura são produzidas utilizando impressoras 3D em funcionamento somadas a partes de madeira e barras metálicas adquiridas em casas de construção ou de ferragens.

A construção das impressoras contribuiu no aprendizado de eletrônica básica e na compreensão do funcionamento de elementos mecânicos móveis, ampliando os horizontes dos futuros arquitetos para ideias e princípios cada vez mais presentes nas construções contemporâneas, tais como, elementos móveis automáticos, painéis de proteção solar e automação de edificações e residências. A possibilidade de construir os equipamentos permite aos estudantes e instituições de ensino diminuir consideravelmente os custos para compra das impressoras. Uma impressora *RepRap*, construída com peças impressas e estrutura em madeira executada com corte bidimensional por meio de fresa ou a *laser*, elementos mecânicos e placa mãe *Arduino* pode ser produzida por um custo entre R\$ 1.500,00 à R\$ 2.100,00, esses valores são correspondentes aos anos de 2015 e 2016.

4 – Objetivo

O estudo explora impressoras 3D de baixo custo e investiga *softwares* e *Hardwares* livres como meio de superar as dificuldades econômicos para inclusão dessa tecnologia nas faculdades de arquitetura e urbanismo.

5 – Objetivos Específicos

1. Identificar os pontos mais importantes para a construção de uma impressora 3D, contribuindo para a difusão e seu uso no meio acadêmico.
2. Investigar o uso de impressoras tridimensionais na produção de modelos para o desenvolvimento de projeto e para representação.

3. Projetar e construir impressora 3D, baseada no modelo *RepRap*, com o máximo de peças produzidas localmente e com técnicas que utilizem máquinas de corte bidimensional e impressoras 3D.
5. Desenvolver testes de impressões com estudantes de arquitetura.

6- Justificativa

O processo de construção e disseminação das impressoras 3D está se tornando cada vez mais fácil e rápido. O estudo contribuí para a inserção dessa tecnologia nas escolas de Arquitetura e Urbanismo, estudando os modelos de impressora de código aberto, projetando e construindo uma máquina para que alunos de arquitetura tenham acesso à esquemas de montagem arquivos digitais para a construção de suas próprias impressoras 3D.

O uso de impressoras 3D pode se estender para os laboratórios de prototipagem rápida, laboratórios de *design*, ateliês de projeto e para os laboratórios de modelo reduzido (maquetaria). Nos ateliês de projeto, os alunos e arquitetos podem fazer estudos rápidos de volumetria ou mesmo complementar o desenvolvimento de maquetes de estudo ou apresentação imprimindo partes dos projetos que são complexos ou de difícil confecção por meios tradicionais (manuais). Na maquetaria, as impressoras podem auxiliar na produção de partes de difícil confecção, conectores para estruturas ou engrenagens móveis.

A escolha do modelo de impressora *RepRap* é devido a seu baixo custo de produção e da possibilidade de pessoas sem conhecimento técnico em eletrônica ou programação serem capazes de construir uma máquina. É possível também adquirir peças eletrônicas como a placa mãe, via Internet já montada e configurada, pronta para ser conectada nos motores de passo, na fonte e no computador. (Ehmann, 2014p. 22). Outro fator relevante para a escolha desse tipo de impressora aditiva é a facilidade de obtenção da matéria prima e seu preço de venda. A impressora utiliza filamentos de plástico, com diâmetro de fio de 1,75 milímetros ou 3 milímetros. O plástico é comercializado em rolos de um quilograma e tem seu valor de venda aproximado de R\$ 120,00/ kg. O modelo de impressora *RepRap* permite a modificação das máquinas para atender à necessidades específicas, possibilitando a modificação da estrutura, permitindo aumentar ou diminuir a área de impressão, adicionar mais bicos extrusores, para imprimir com cores diferentes ou plásticos de diferentes tipos na mesma impressão.

É importante ressaltar a necessidade da produção das maquetes físicas de papel ou outros

materiais. A maquete é tão importante quanto os croquis e desenhos técnicos. Portanto, deve ser feita junto do processo de concepção do projeto. O modelo orienta as percepções espaciais, e sua manipulação possibilita maior compreensão de cor, equilíbrio, luz, textura, proporção para trabalhar o sentido da visão e do tato, melhorando assim a qualidade dos ambientes construídos. Os professores de projetos devem incentivar a produção de modelos físicos manualmente, desenvolvendo as habilidades motoras e a percepção pelo meio do tato. O uso das impressoras 3D deve somar na produção do projeto e não para substituir práticas estabelecidas e de comprovada eficácia didática e projetual. Para Rocha (2007) ver e tocar os materiais são formas de materializar as ideias permitindo uma percepção maior do objeto de projeto. A possibilidade de a tecnologia computacional evoluir em paralelo e de forma combinada às técnicas manuais de produção de maquetes como parte do processo de projeto pode representar um caminho interessante para a inserção das máquinas de prototipagem rápida (PR) nas escolas.

7 - Vinculação

A tecnologia de impressão tridimensionais popularizou-se após a queda das patentes. O fim da delimitação de propriedade intelectual referente a técnicas de impressão 3D e o desenho das máquinas possibilitou a construção de impressoras por qualquer pessoa ou outras empresas sem o risco de sofrerem sanções ou processos por parte das empresas detentoras do direito de uso das técnicas.

A impressão 3D pode ser introduzida no processo de projeção e produção de modelos em escala, como mais uma ferramenta para auxiliar o trabalho e visualização da proposta desenvolvida. Estudantes podem confeccionar modelos volumétricos ou detalhados em sala de aula ou em laboratórios de prototipagem e/ou construção digital para apresentar e analisar seus projetos com a possibilidade de produzir outros elementos arquitetônicos com o auxílio da prototipagem.

8 – Procedimentos Metodológicos

Entre 2015 e 2016 foi desenvolvido um projeto para a construção de uma impressora 3D *Reprap* de baixo custo para diminuir a lacuna sobre o assunto, facilitando o entendimento de como confeccionar as peças necessárias para a montagem de uma máquina funcional.

O projeto utiliza como base a proposta de *hardware* livre da impressora *RepRap* criada e doada para a comunidade internacional pelo professor Adrian Bower, da universidade britânica de *Bath* no ano de 2005. O projeto do professor Bower possibilitou o aprendizado necessário para a construção várias impressoras 3D.

A construção da impressora foi desenvolvida por etapas, definidas pela observação do funcionamento da primeira impressora construída, a *RepRap Mendel*, ver figura 06. As etapas definidas foram três: Estrutura, Eletrônica, Placa mãe e Alimentação.

A primeira etapa ocupou-se de desenhar a estrutura. O desafio de projetar essa etapa é utilizar meios de produção eficiente com métodos de construção digital, reduzindo assim, o tempo de produção e garantindo a qualidade dos encaixes. A proposta foi desenvolvida com o uso do *software Sketchup*, versão gratuita. O material escolhido foi o MDF com revestimento melamínico branco, possibilitando melhor qualidade estética e melhor sensação ao toque. As primeiras estruturas foram executadas com máquinas de corte tipo *router*. Esta técnica apesar de eficiente, eleva o custo de produção, necessitando de brocas delicadas para uma execução do trabalho mais preciso. O corte com *router* também exige que os desenhos para definição do corte sejam criados respeitando as limitações referentes a medida das brocas, ver figura 07.

A técnica definida para produção da estrutura é o corte CNC *a Laser*. Esse tipo de aparelho permite maior detalhamento dos encaixes, pois permite fazer cortes com quinas vivas e em ângulos reto. O custo do *laser* é reduzido em comparação ao corte com *router*. O processo é executado por um feixe *laser* que secciona o material criando várias camadas de corte para atravessar a placa de MDF, enquanto a máquina gera os desenhos da peça, o feixe de luz queima a superfície gerando uma estrutura com aspecto acabado.

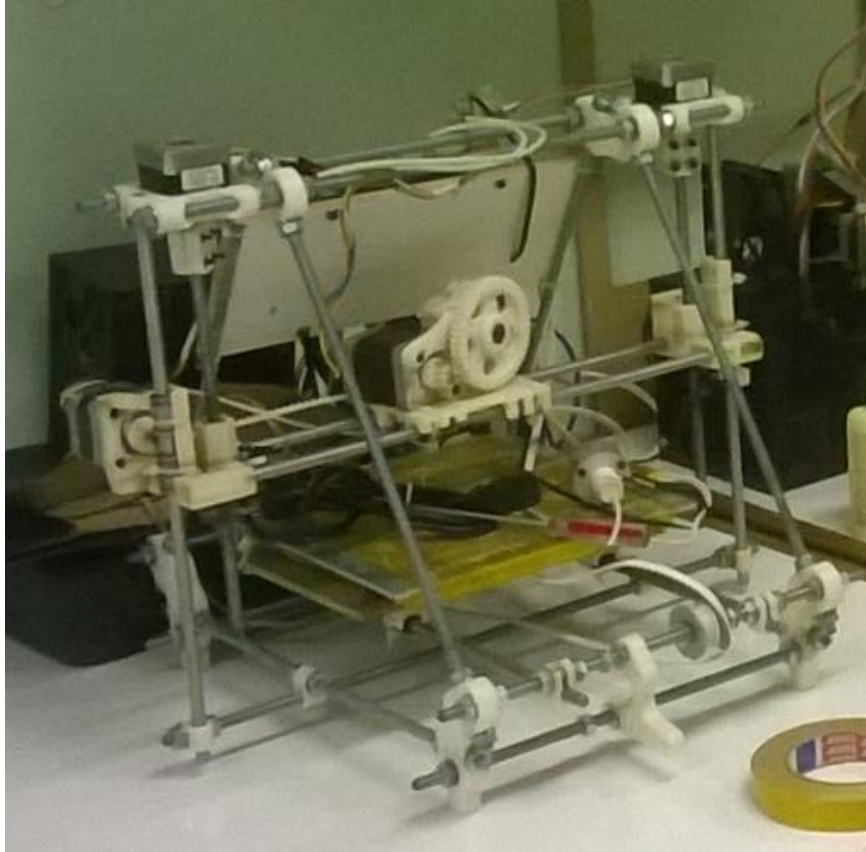


Figura 6 - Impressora Reprap Prusa Mendel. Construção por Renan Balzani e Leonardo

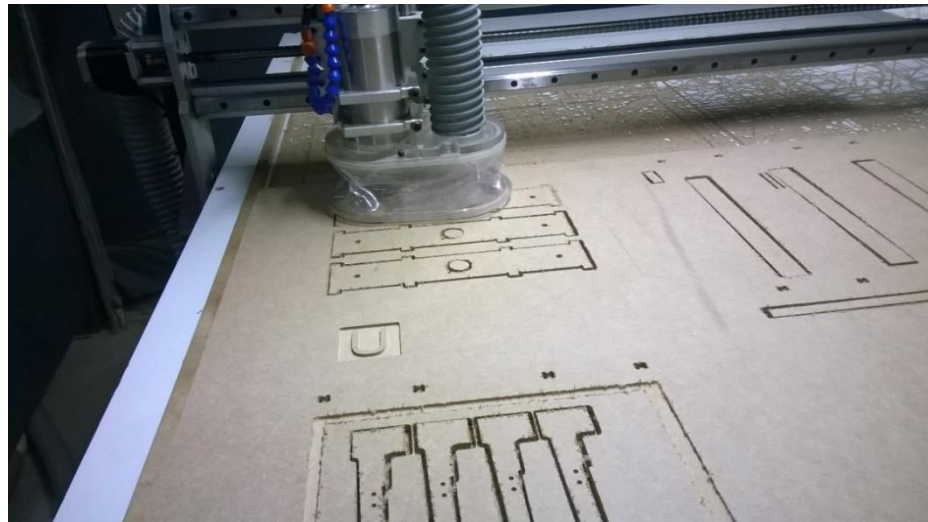


Figura 7 - Máquina de corte CNC - Router. Construção: Waldemiro Amorim.

A eletrônica foi definida para proporcionar uma forma simples de gerar o movimento dos eixos sem criar dificuldades na montagem. A impressora utiliza cinco motores de passo com 4,2 kgf.cm de torque.

Dois motores movimentam o eixo Z, um motor movimentam o eixo Y, um motor movimentam o eixo X e por último temos um motor que faz parte do conjunto do extrusor, proporcionando a

extrusão do material plástico para impressão. A alimentação de toda a parte eletrônica e da placa mãe é feita utilizando uma fonte chaveada incorporada ao corpo da impressora.

A placa mãe definida é o *Arduino* Mega 2560, por seu poder de processamento e capacidade de integração com outras placas permitindo maior versatilidade. Contudo, é importante ressaltar que quanto maior o poder de processamento da placa utilizada melhor se torna o funcionamento e precisão da impressora. A placa mãe é posicionada dentro de uma caixa de *Medium Density Fiberboard* (MDF), ou chapa de fibra de madeira de média densidade, acoplada dentro da estrutura da máquina, junto à um *cooler* de 10 centímetros por 10 centímetros. O propósito da caixa é evitar contatos indesejados com a eletrônica e permitir o acesso a placa para a manutenção quando necessário.

9 - Resultado

O estudo das impressoras 3D, somado a construção de uma máquina demonstra como o equipamento pode ser produzido e utilizado por estudantes. A montagem das máquinas por alunos aumenta o acesso à tecnologia e permite a utilização do equipamento para testes de impressão. No caso dos arquitetos formados e desenvolvedores de projeto a tecnologia pode ajudar na produção de modelos de estudos volumétricos e permitir a criação de maquetes para apresentação.

A capacidade de entender desenhos esquemáticos colabora para que os estudantes de arquitetura construam a estrutura da máquina com facilidade. Contudo, o trabalho comprovou a dificuldade de se lidar com a parte eletrônica e a programação da placa *Arduino*. A montagem dos componentes eletrônicos permitiu aos estudante o aprender sobre o funcionamento da máquina e assim desenvolvam projetos utilizando a mesma lógica das impressoras *RepRap*. A construção das máquinas permitiu aos alunos ingressarem no mundo da programação de computadores, aprendendo na prática como funciona o código utilizado para programar a placa *Arduino*. A montagem da eletrônica demonstrou uma série de conceitos de elétrica e eletrônica e a produção da estrutura permitiu a visualização de outras técnicas de construção digital. Em síntese, a montagem das impressoras permitiu o acesso a tecnologia de prototipagem aditiva de baixo custo e auxiliou no desenvolvimento de conhecimentos úteis para futuros projetistas.

10 – Análise de *Hardware* e *Software* livres de uma impressora *REPRAP*

O projeto livre colaborou para a evolução das impressoras num ritmo acelerado. Cada usuário pode fazer as modificações necessárias para atender necessidades individuais. No entanto, foi necessário analisar as qualidades e problemas nos projetos disponíveis para *download*.

O estudo observou parâmetros vinculados aos movimentos dos eixos, possíveis vibrações, materiais de construção, e principalmente os meios de produção para execução das peças de composição estrutural, movimentos mecânicos e eletrônicos. Nessa etapa, foram sugeridas estratégias para correção dos problemas observados.

10.1 - Limitação: Volume de impressão - 20x20x10cm:

Possíveis Soluções: O problema da volume de impressão é resolvido modificando as dimensões da estrutura da impressora e da mesa de deposição do material plástico.

Desenvolvedores: Desenvolvedores independentes e empresas possuem modelos de máquinas com áreas de impressão maiores ou menores.

Ex.: *Markerbot Replicator* e modelos do projeto *REPRAP*.

10.2 - Limitação: Definição de modelos (qualidade de impressão limitada):

Possíveis Soluções: A qualidade de impressão pode ser melhorada usando peças de melhor qualidade, como engrenagens metálicas, motores mais potentes e placa mãe com maior capacidade de processamento.

Desenvolvedores: *Makerbot*, *Ultimaker*, *3D system*, impressoras *reprap* fabricadas utilizando engrenagens metálicas.

10.3 - Limitação: Quantidade de cores em um mesmo modelo:

Possíveis Soluções: Para usar mais de uma cor nas impressoras tipo *desktop* é necessário utilizar mais de um extrusor. No modelo *RepRap*, construída com placa mãe *Arduino* é possível conectar dois extrusores. O funcionamento com dois bicos de extrusão exige que o programa de gerenciamento da impressora sofra modificações coordenar a impressão com dois filamentos plásticos.

Desenvolvedores: Máquina *Replicator* da *Makerbot*, com dois extrusores, modelos *RepRap*.

10.4 - Limitação: Velocidade de impressão:

Possíveis Soluções: A alta velocidade pode prejudicar a qualidade da impressão, para corrigir esse problema é possível definir a velocidade de impressão nos parâmetros de impressão dos programas específicos para impressoras 3d.

10.5 - Limitação: Estrutura da máquina

O funcionamento gera vibrações prejudiciais a qualidade das peças;

Possíveis Soluções: Utilizar modelos de estrutura mais estáveis para evitar trepidações devido ao movimento dos eixos.

10.6 - Limitação: Material (qualidade e tipo do material):

Apesar de não ser o ideal do ponto de vista ecológico, o material mais barato disponível no mercado brasileiro é produzido utilizando petróleo, o plástico Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS).

Possíveis Soluções: Existem hoje materiais plásticos biodegradáveis. O PLA é um poliéster termoplástico feito com ácido láctico (composto orgânico de função mista - ácido carboxílico e álcool) a partir de fontes renováveis (milho, mandioca, beterraba e cana-de-açúcar).

Desenvolvedores: Material reciclado - PET- Empresa *3D systems*.

10.7 - Limitação: Descolamento das peças da mesa de impressão, efeito *Warp*

Possíveis Soluções: Para evitar o deslocamento das peças da mesa de impressão foram desenvolvidas inúmeras técnicas como a utilização de cola em spray e outros produtos químicos. Além disso, laquês fixadores para os cabelos e cola branca em bastão podem ser usados para ajudar na fixação das impressões.

O uso contínuo das impressoras permitiu visualizar os pontos-chaves para melhoria da máquina e quais características deveriam ser mantidas. A eletrônica necessitou de adaptações para garantir seu funcionamento adequado, um exemplo de melhoria foi a substituição da fonte de alimentação. A fonte original de uso genérico foi substituída por uma fonte chaveada. Outro aspecto melhorado foram os motores de passo.

Peças como a mesa de deposição aquecida, extrusor ou a eletrônica são produzidos por fabricantes especificamente para impressoras 3D e facilitam a construção.

11 – Utilização de impressoras 3D na produção de maquetes para projetos de Arquitetura

O modelo (ou maquete) de representação tem papel importante como estratégia no desenvolvimento e na materialização das ideias do arquiteto. Ele entra como ferramenta de estudo da materialidade e volumetria do projeto. Silva (2000) destaca que Michelangelo, na capela de São Pedro, usou os modelos como mecanismo antecipador, ou seja, uma ferramenta para driblar o problema da representação com pensamento construtivo.

(Kowaltowski, D.C.C.K.; Moreira, D.C.; Petreche, J.R.D; Fabricio, M.M. 2011, p. 458)

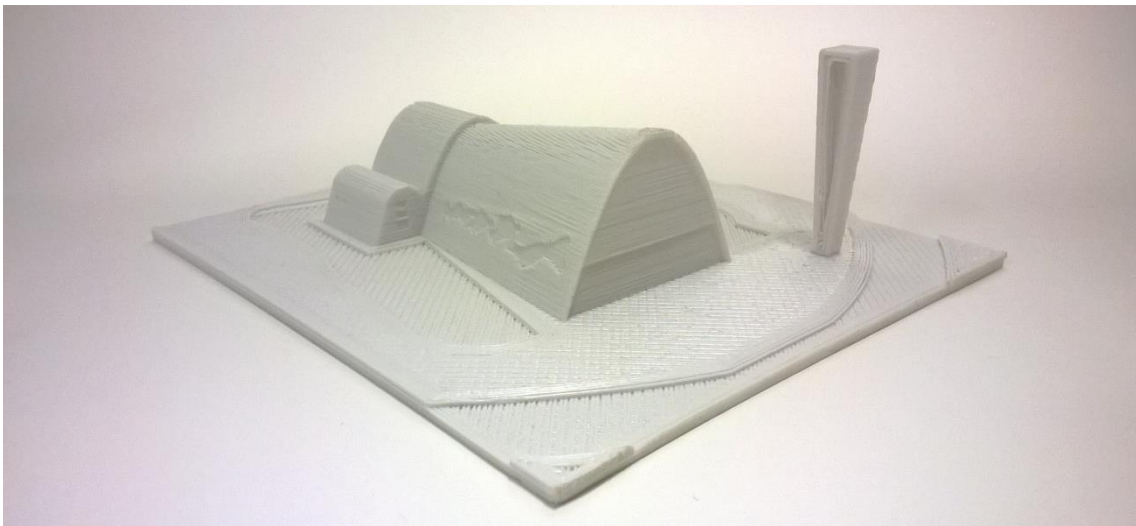


Figura 8 - Igreja São Francisco de Assis. Pampulha, BH. Modelo feito no programa SketchUp e impresso com plástico ABS. Modelo: Renan Balzani

O projeto de arquitetura envolve concepção e representação de ideias por meios gráficos e físicos. Croquis a mão livre, desenhos técnicos, perspectivas computacionais e modelos reduzidos são exemplos de recursos que, ao serem adequadamente combinados, possibilitam uma ampla representação do projeto e, portanto, uma melhor compreensão deste.. O pensamento de projeto e sua representação necessita se adaptar aos grandes saltos tecnológicos observados nas últimas décadas. É indispensável a realização de novas pesquisas e estudos que as contemplem.

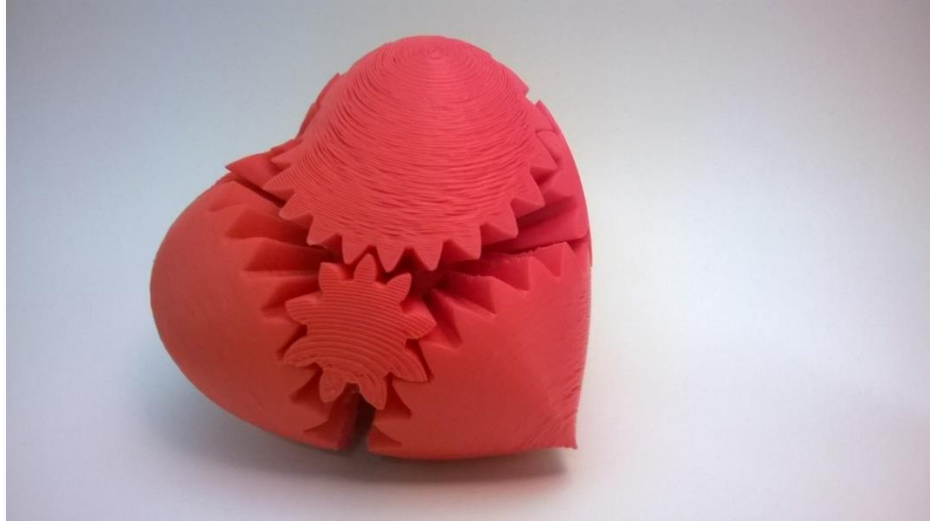


Figura 9 - Gear Heart. Projeto Executado em Maio de 2015. O modelo virtual baixado do site Thingiverse.

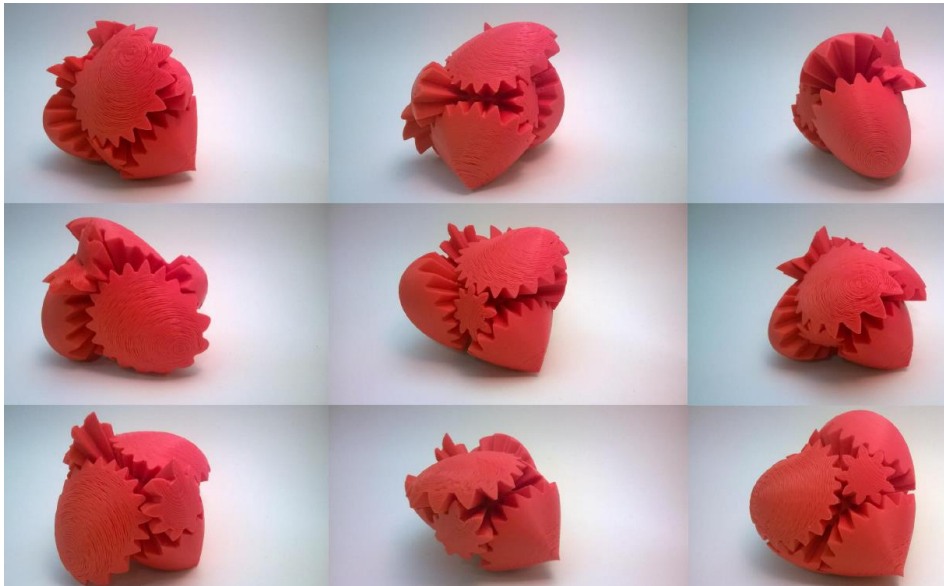


Figura 10 - Engrenagens móveis impressas - Gear Heart. Projeto Executado em Maio de 2015. O modelo virtual baixado do site Thingiverse.

Não se deve pensar nas impressoras 3D como um substituto para a produção das maquetes manuais, assim como o computador não substituiu os desenhos de croquis. Um diálogo entre os processos manuais e àqueles pertinentes ao ambiente digital, deve ser incentivadas pelos professores de projeto para que os alunos de Arquitetura e Urbanismo se preparem para atuar com uma nova cadeia produtiva que utilizará de forma expressiva técnicas de construção digitais e prototipagem computacional.

12 - Funcionamento de uma impressora 3D de baixo custo.

No sistema analisado para o projeto, a impressora é construída com estrutura composta por material metálico composta por barras rosqueadas, madeira ou madeira com barras rosqueadas, sempre com peças impressas para auxiliar na interação das unidades estruturais. A máquina utiliza uma fonte de alimentação de energia elétrica. Essa fonte pode ser básica, semelhante às fontes utilizadas em *CPU*'s de computadores ou fontes mais complexas como as fontes chaveadas.

É necessária uma placa mãe para controlar todo o funcionamento da máquina. O projeto definido utilizado placa mãe do tipo *Arduino*. A placa deve ter capacidade de processamento para cuidar do movimento de três eixos e de um extrusor. Recomenda-se o uso de um *Arduino* mega 2560 ou com capacidade de processamento superior. Existem modelos desenvolvidos por construtores independentes e mesmo projetos de placas mães para serem construídas do zero. Entretanto, esse aspecto da construção das placas controladoras não é abordado neste estudo, por ser complexo e de construção onerosa.

A impressora utiliza três eixos de movimento, eixos X, Y e Z (figura 12). Esses eixos permitem a produção de um objeto tridimensional. Os eixos X e Y fazem desenhos em duas dimensões enquanto o eixo Z sobe o extrusor para produzir os modelos físicos. O filamento plástico é impulsionado pelo extrusor, que é composto por um conjunto de engrenagens, impressas em outra impressora 3D similar a estudada, e por um *hotend*, estrutura metálica aquecida que derrete o filamento plástico.

A temperatura de extrusão é variável e depende do plástico utilizado. O material mais acessível é o Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) e tem seu ponto de fusão entre 210°C e 235°C. No caso de outros plásticos disponíveis no mercado, como o plástico Poliacido lático (PLA), fabricado utilizando o álcool de milho, seu ponto de fusão é próximo à 170°C.

Na figura 11 é possível observar a impressão de uma maquete realizada por uma das impressoras construídas pelo alunos de mestrado, Renan Balzani e Leonardo Barreto, no laboratório de prototipagem e construção digital da FAU/UnB.

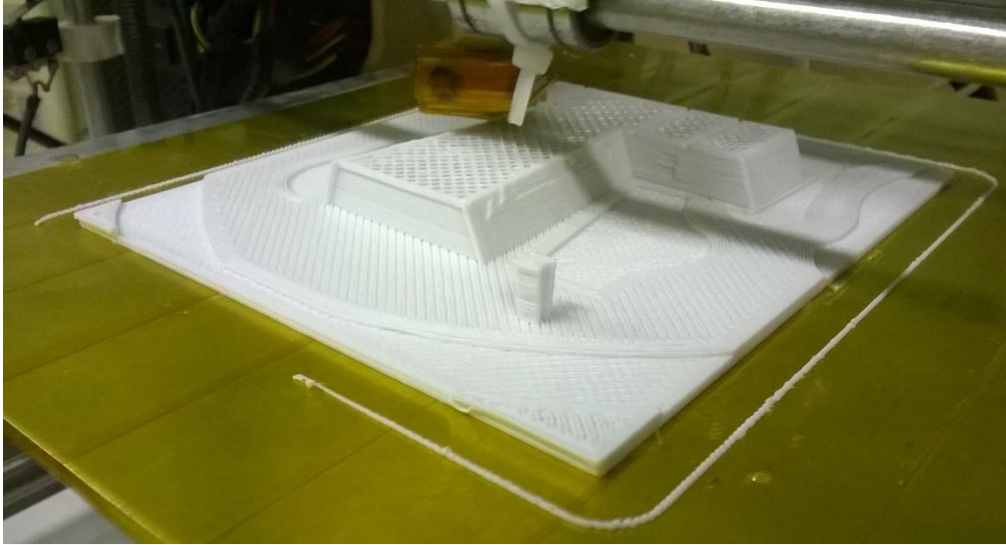


Figura 11 - Impressão da Igreja São Francisco de Assis. Pampulha, BH. Modelo virtual SketchUp e impressão com plástico ABS. Modelo: Renan Balzani. Março de 2015

Os modelos são produzidos camada por camada, num processo que fatia os modelos tridimensionais em centenas de camadas bidimensionais. Cada camada é desenhada por um sistema de eixos cartesianos, X e Y.

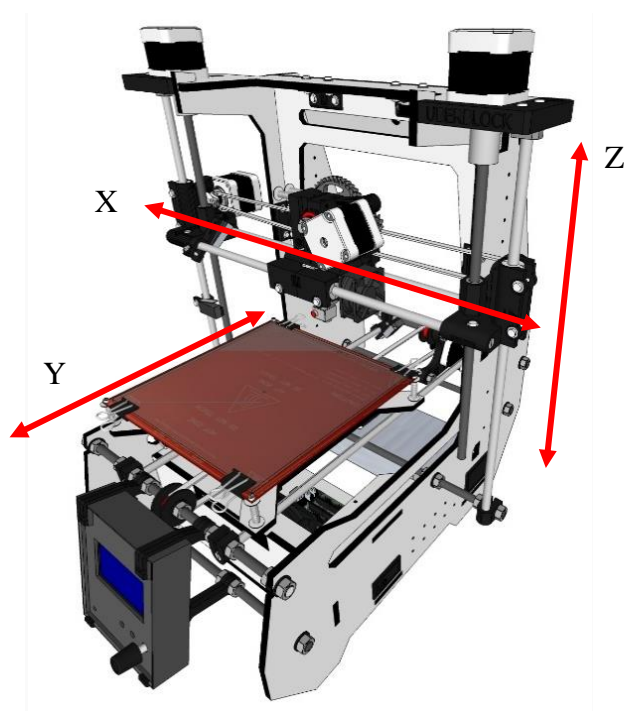


Figura 12 - Modelo Prusa Mendel. Impressora RepRap - movimentos dos eixos X, Y e Z. Construção Renan Balzani e Leonardo Barreto

13 – Produção de maquetes: 1º e 2º semestres de 2015, FAU/ UnB

Durante o ano de 2015 foram produzidas maquetes de estudo, volumetria e detalhamento, para alunos de graduação e conclusão de curso na Faculdade de Arquitetura e Urbanismo (FAU/UnB). Os alunos utilizaram a tecnologia de impressão tridimensional para produzir as maquetes utilizando modelos virtuais criados com o programa gratuito *SketchUp*. Os modelos das figuras de 13 a 31 foram desenvolvidas utilizando uma impressora tridimensional modelo *RepRap* de construção própria.

O modelador *Sketchup* foi escolhido como o modelador tridimensional padrão para o estudo. Seu uso é amplamente difundido por arquitetos e estudantes de Arquitetura. É um programa que permite aos alunos rápido aprendizado e *download* gratuito. É possível obter versões preparadas para salvar os modelos nos formatos compatíveis com a impressão tridimensional, ou seja formato STL.

É importante ressaltar a necessidade de desenvolver os arquivos de forma a melhorar a impressão do modelo estudado. Diferente de outros modeladores, que utilizam geometrias solidas, o *sketchup* utiliza faces para criar a geometria tridimensional. A maquete com faces precisa ser executada de forma a não gerar objetos e linhas inúteis ao modelo.

Cada modelo impresso possibilitou observar a capacidade de imprimir detalhes em escalas reduzidas e maneiras de criar maquetes integradas a outras técnicas.



Figura 13 - Projeto de diplomação, 2014 – Velódromo. Autor: Bruno Tenser

O primeiro exemplo (fig. 13) é o modelo de um velódromo projetado pelo aluno de graduação Bruno Tenser. Nesse modelo foi possível imprimir o sistema de suporte da cobertura detalhando a “coroa” de forma que a cobertura pode ser retirada para evidenciar a pista de corrida. É interessante observar a utilização de diversos materiais, que variam do isopor, vários tipos de papel e papelão, alfinetes para representar vegetação e a maquete impressa. O modelo com materiais variados demonstra um maior nível de detalhamento, diversidade de representação e qualidade estética.



Figura 14 - Detalhe arquitetônico. Projeto Estação Antártica, PA6 – 1º semestre de 2015. Autores: Ana Luísa Meira e Ana Catarina Lima

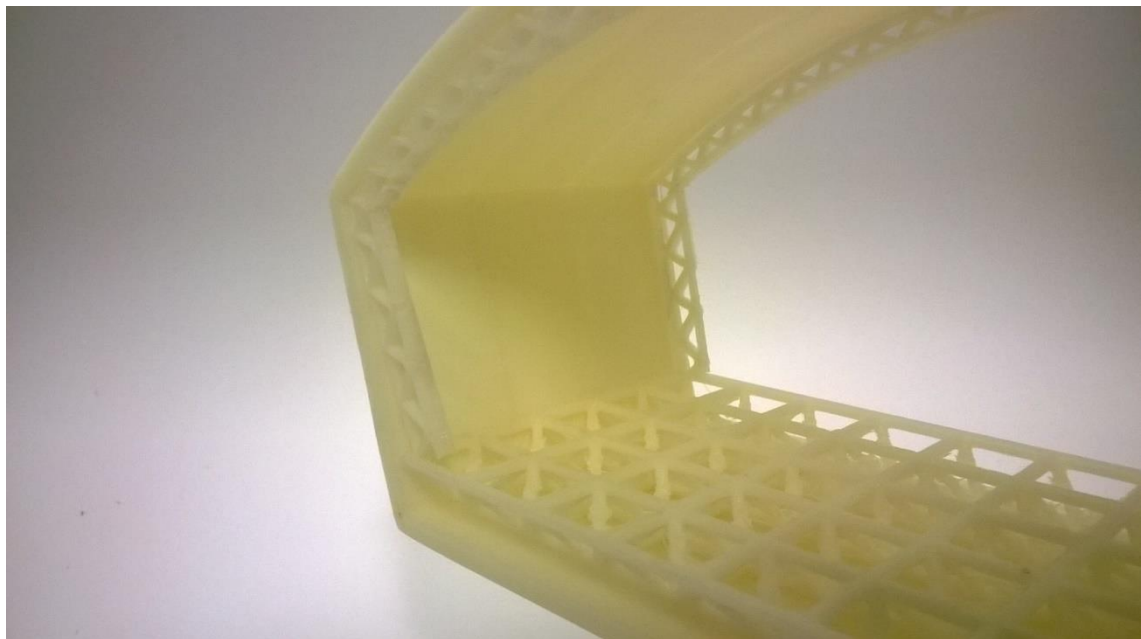


Figura 15 - Detalhe arquitetônico. Projeto Estação Antártica, PA6 – 1º semestre de 2015. Autores: Ana Luísa Meira e Ana Catarina Lima.

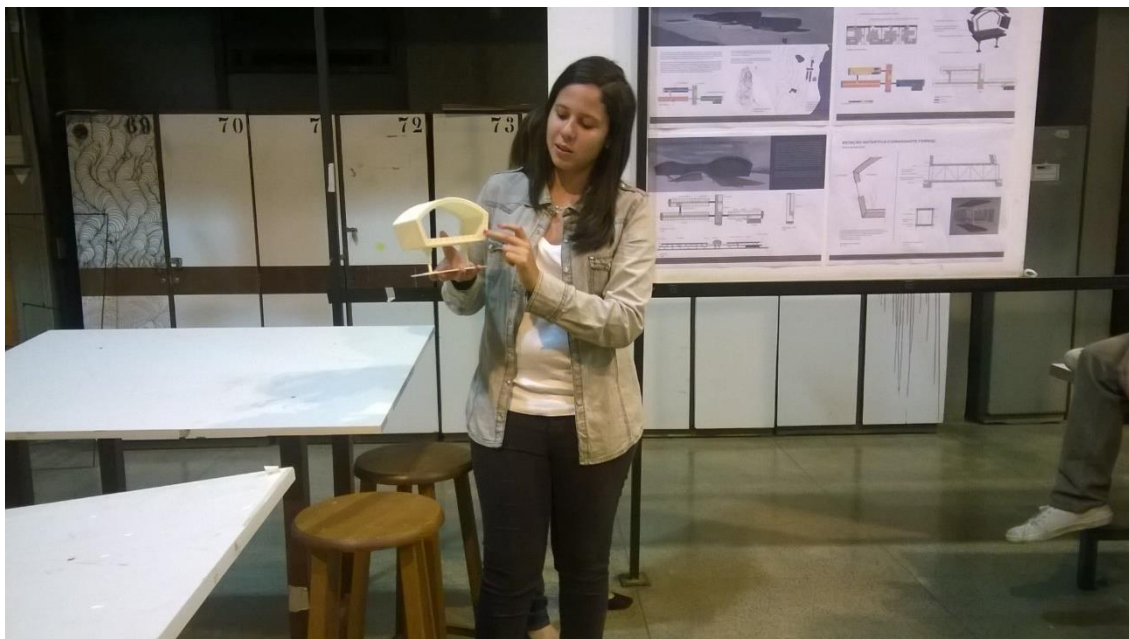


Figura 16 - Alunos apresentando projeto em seminário utilizando maquete de detalhamento impressa. Detalhe arquitetônico. Projeto Estação Antártica, PA6 – 1º semestre de 2015. Autores: Ana Luísa Meira e Ana Catarina Lima

No projeto apresentado nas figuras 14, 15 e 16, observamos um modelo confeccionado para demonstrar um detalhamento arquitetônico. A maquete foi desenvolvida para representar a sessão e a estrutura proposta para estação antártica, tema do curso Projeto Arquitetônico 6, no ano 2015.

A representação desse modelo necessitou de atenção especial devido à treliça espacial presente no projeto. As alunas tinham interesse em detalhar o modelo virtual com o intuito de apresentar a estrutura e o envoltório, e assim, permitir o entendimento imediato do que estava sendo proposto para a edificação. A maquete foi impressa em três estágios separados e depois colados com cola de secagem rápida.

A treliça espacial foi à primeira parte executada. As medidas reais das barras de constituição das treliças foram exageradas para garantir o sucesso da impressão e uma boa visualização da estrutura. As barras das treliças tinham originalmente cinco centímetros de diâmetro, para a impressão o diâmetro das barras foi modificado para quinze centímetros, permitindo a impressão pela máquina. A segunda parte é a base de sustentação, formada por representação do solo e por dois pilares estruturais. A terceira parte é o envoltório de fechamento da proposta, e foi produzida por último devido ao seu tempo elevado de impressão. O modelo das figuras 14, 15 e 16 tem aproximadamente dezoito centímetros de comprimento por oito centímetros de largura e dez centímetros de altura.

Esse modelo demonstra a necessidade de observar as espessuras mínimas necessárias para a deposição do material termoplástico e a importância de identificar previamente a conveniência de dividir em etapas o processo de impressão de um modelo arquitetônico.

Outro aspecto relevante é a contribuição dada a apresentação de um projeto com o uso do modelo físico em mãos (fig. 18). O modelo facilita o entendimento dos observadores e do professor, sendo utilizado como ferramenta para ajudar nas explicações necessárias referentes às características únicas de cada projeto (Rocha, 2007).

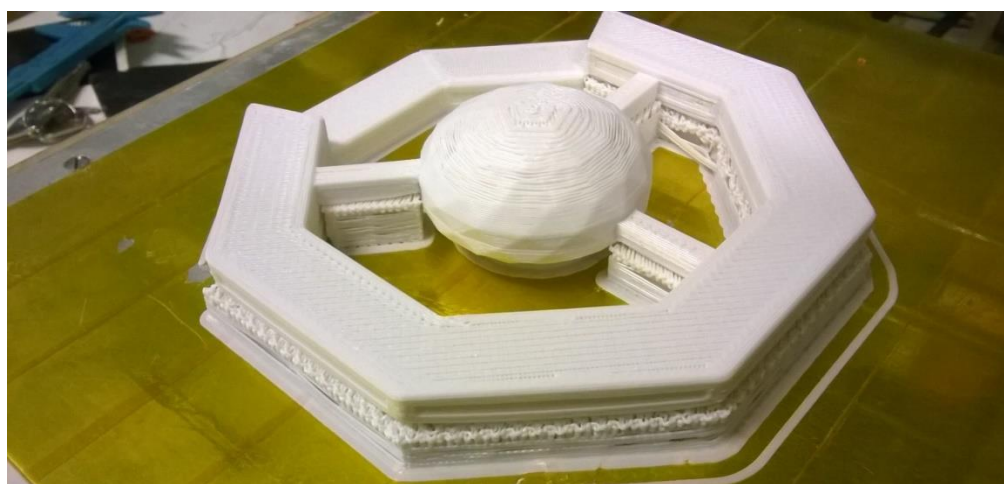


Figura 17 - projeto de PA 06 -Funções complexas – Estação Antártica. Estudo Volumétrico. Autores: Daniela Aires e Larissa Guerra



Figura 18 - Projeto de PA 06 -Funções complexas – Estação Antártica. Estudo Volumétrico. Autores: Daniela Aires e Larissa Guerra

As alunas Daniela Aires e Larissa Guerra projetaram uma estação antártica no ano de 2015. Optaram por desenvolver um modelo volumétrico para representar a idéia de uma edificação em formato Octogonal em dois níveis. O diferencial desse modelo é a impressão em apenas

uma peça. O segundo nível da estação foi impresso utilizando peças de sacrifício. As peças de sacrifício são suportes gerados pelo *software* de impressão 3D. Esses suportes permitem a determinados elementos de uma maquete ou objeto vencer vãos, dando suporte ao material de impressão e garantindo a integridade do modelo. Ao final da impressão a peça de sacrifício foi retirado deixando parte do modelo suspenso no ar.

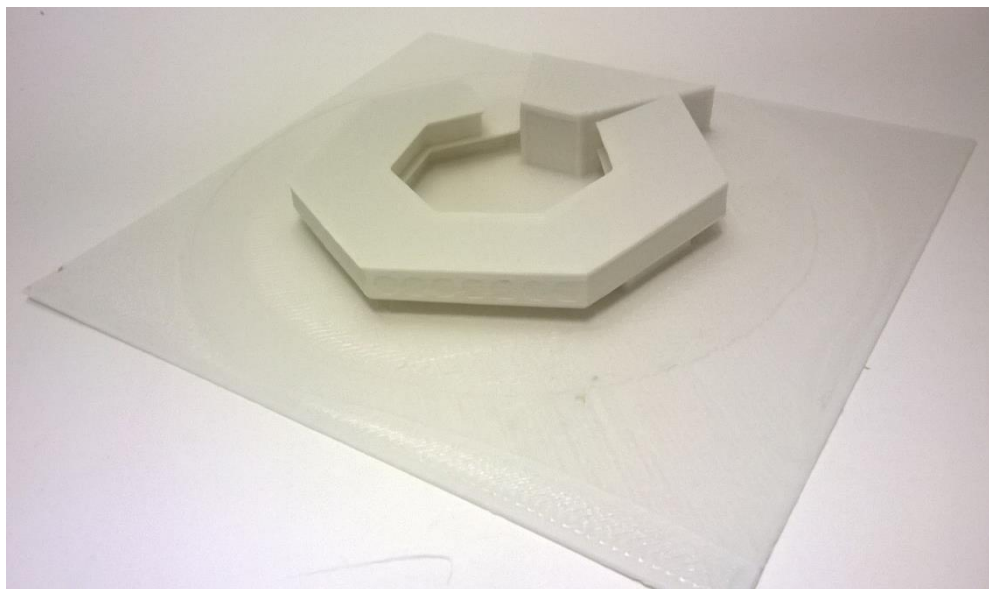


Figura 19 - Projeto de Diplomação. Paróquia em Brasília, junho de 2015. Autor: Hernany dos Reis



Figura 20 - Projeto de Diplomação. Paróquia em Brasília, junho de 2015. Autor: Hernany dos Reis

O projeto representado nas figuras 19 e 20 são referentes ao projeto de conclusão de curso do aluno Hernany Reis. O projeto cria uma igreja católica com formas prismáticas e estrutura em vigas aparentes de concreto armado. Seguindo o exemplo da estação antártica das alunas Ana Luisa e Ana Catarina, a igreja foi modelada em etapas para que a maquete impressa pudesse representar o traço mais marcante do projeto, ou seja, a estrutura em vigas aparentes de

concreto armado. Na figura 20 observamos como a impressora 3D possibilitou a visualização dos elementos estruturais.

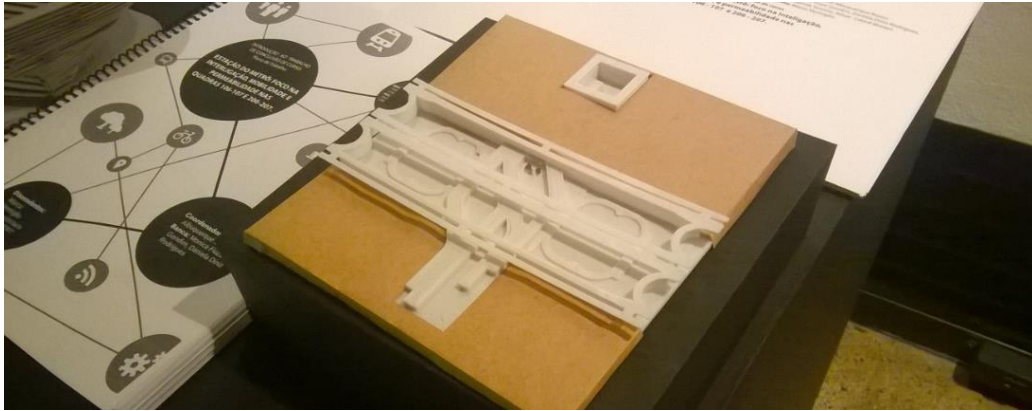


Figura 21 - Projeto de Diplomação. Estação Metrô em Brasília, Junho de 2015. Autor Marco Vermiglio

O modelo da figura 21 foi impresso para o trabalho de conclusão de curso do aluno intercambista Marco Vermiglio da politécnica de Turim, Itália. O aluno projetou uma estação de metro para Brasília. A maquete foi desenvolvida em etapas, com as vias sendo impressas separadamente do volume subterrâneo e esse foi impresso separadamente do recorte no terreno. Para representar o volume de terra envolto na obra foi utilizado papel cartão. A representação com materiais diferentes contribui para visualização da proposta.

O maior desafio para o modelo da estação subterrânea foi desenvolver a maquete virtual representando as vias que passam na superfície do solo, sobre a estação. As vias foram modeladas com uma espessura mínima para que os programas e a máquina imprimissem o desenho das vias. Foram necessários vários testes de impressão para determinar a espessura ideal. Esse modelo deixa claro a necessidade da execução de testes para averiguar a melhor forma de imprimir um produto ou maquete.

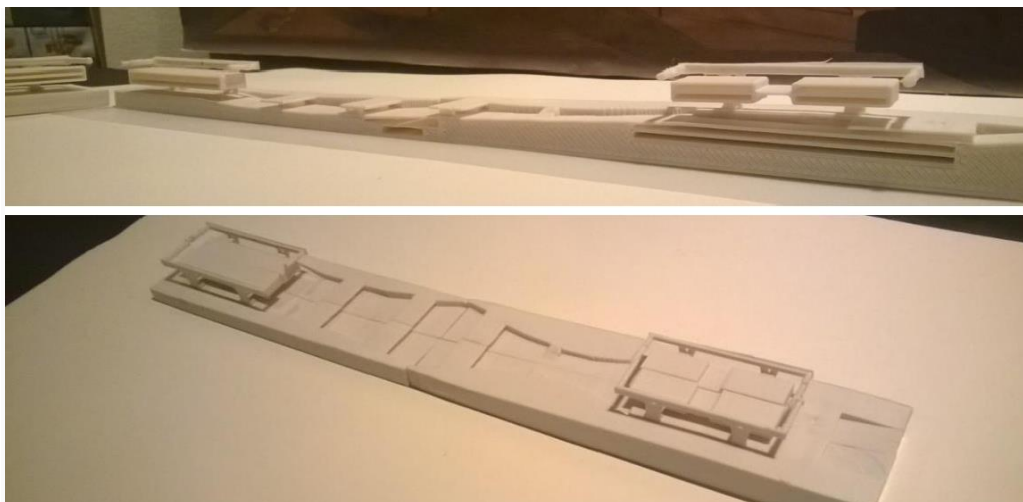


Figura 22 - Projeto de Diplomação. Estação de metrô para Brasília. Autor: Alessandra Pugliula

A maquete da figura 22 foi executada para a aluna intercambista Alessandra Pugliula da politécnica de Turim, Itália. O tema também foi uma estação de metro para a cidade de Brasília e a estudante optou por uma abordagem diferente. No lugar de representar o volume ou as camadas que compõem o edifício, o modelo representa o corte da edificação.

A representação da seção do terreno e do edifício deixa claro o caimento do sítio e como a estação se relaciona com uma parte da edificação subterrânea. A escala pedida para representar o projeto ultrapassava as medidas da mesa de impressão, obrigando o modelo a ser dividido transversalmente para possibilitar o trabalho. O modelo foi dividido longitudinalmente para representar a edificação seccionada. Os prédios superficiais foram executados separadamente e colados na base da maquete.



*Figura 23 - Museu Histórico de Brasília. Modelo executado com Scanner 3D e impressão 3D. junho de 2015.
Autor: Juan Guillén*

A maquete da figura 23, Museu Histórico de Brasília, é um exemplo da interação entre tecnologias. O modelo virtual tridimensional é fruto do trabalho de levantamento de edificações, do arquiteto Juan Guillén, com o uso de scanners 3D a *laser* e composição de imagem tridimensional com fotos de alta resolução. Foram utilizados programas de modelagem 3D que interpretam os dados levantados *in loco*. A maquete foi impressa utilizando diretamente o modelo criado com o scanner 3D, sem nenhuma modificação com auxílio de programas de modelagem virtual. O modelo demonstra a viabilidade de integração entre tecnologias de levantamento tridimensional em campo com a impressão 3D para desenvolvimento de trabalhos acadêmicos, levantamentos de sítios históricos e para aulas de história da Arquitetura com utilização de modelos impressos.

A impressão foi executada utilizando base de sacrifício para dar suporte aos grandes vãos que compõem o museu histórico de Brasília. Ao final da impressão os suportes foram retirados para visualização completa do modelo.

13.1 – Produção de maquetes: Projeto Arquitetônico 2, FAU/ UnB

Em 2015 os alunos da matéria de Projeto Arquitetônico 2 (PA2) tiveram a oportunidade de imprimir seus modelos na impressora *RepRap*, localizada no laboratório de Fabricação digital e Customização em Massa (LFDC) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de Brasília.

As propostas foram impressas com o objetivo desenvolver métodos para a impressão de estudos volumétricos dos projetos apresentados. As figuras de 24 a 31 apresentam três modelos escolhidos para interar o estudo, evidenciando o tempo de impressão para a produção das maquetes físicas.

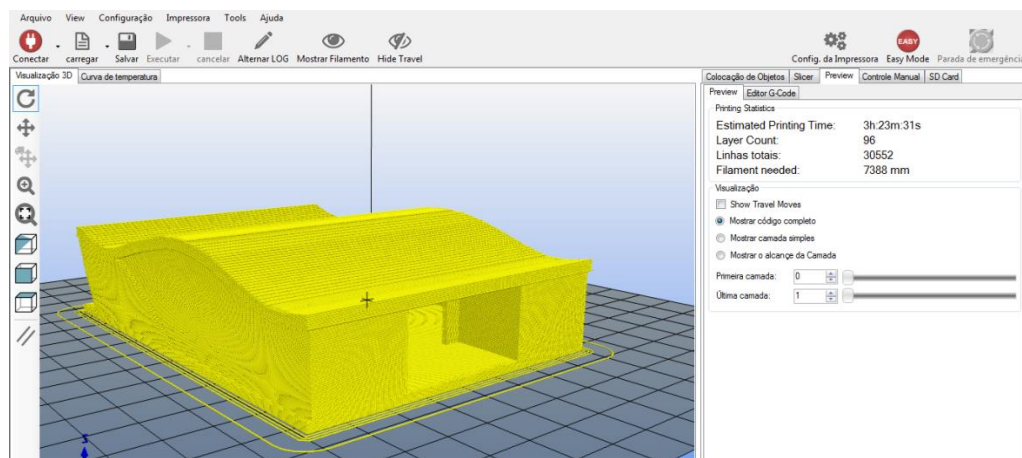


Figura 24 - Projeto PA 02

Na figura 24 é possível observar o programa escolhido para coordenar as impressões. O programa *Repetier – Host*, software gratuito desenvolvido para visualização de arquivos nos formatos para impressão tridimensional. O programa também permite a definição dos parâmetros para impressão tais como a espessura das camadas e consequentemente o números de camadas necessários para compor o objeto, a velocidade de impressão e a escala mais apropriada para o modelo.

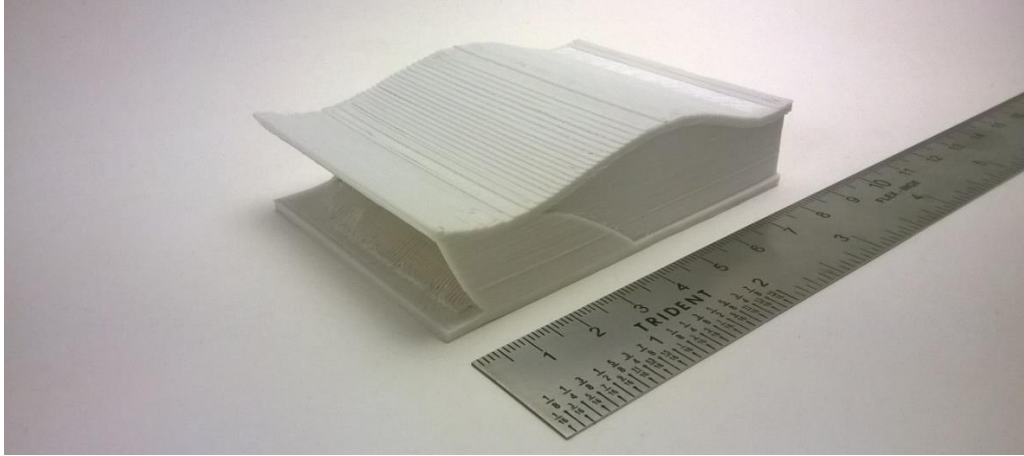


Figura 25 - Maquete 01, Projeto PA 02

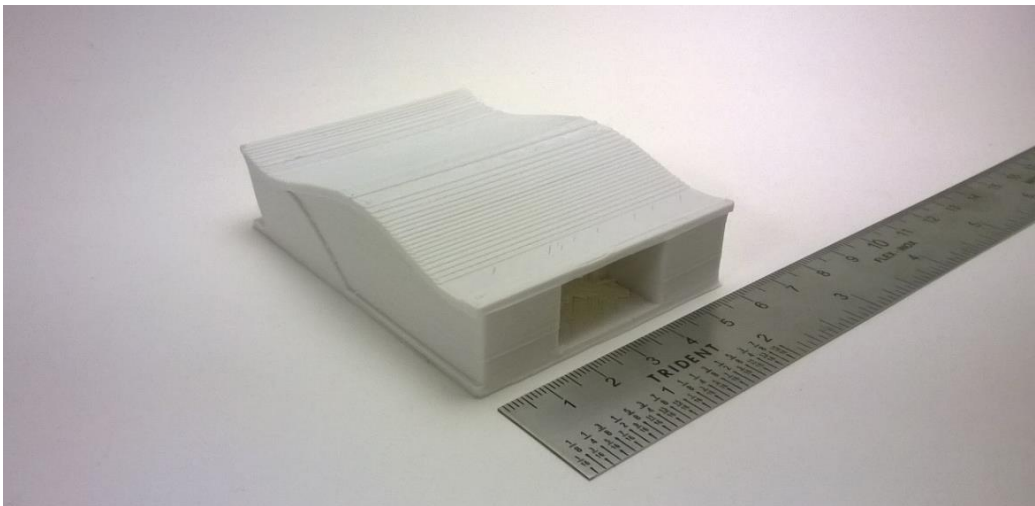


Figura 26 - Maquete 01, de PA 02

A maquete das figuras 25 e 26 foi executada num tempo de três horas e vinte e três minutos em uma única peça, com medidas de seis centímetros de largura por oito centímetros de comprimento. O modelo foi escolhido para impressão devido a integração das paredes ortogonais com uma cobertura em formato de onda. Essa maquete mostra a capacidade da máquina de representar projetos ortogonais com coberturas trabalhadas, ou seja, telhados projetados com várias águas ou com formatos orgânicos.

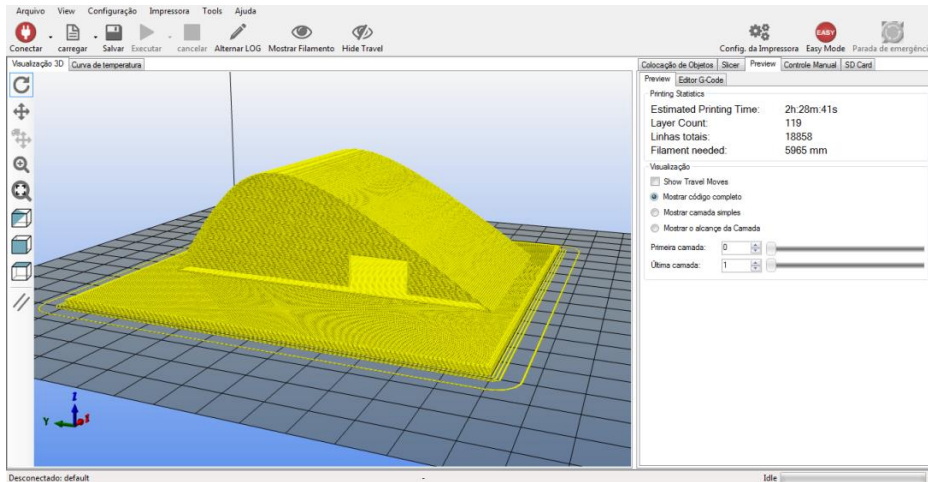


Figura 27 - Maquete 02, de PA 02

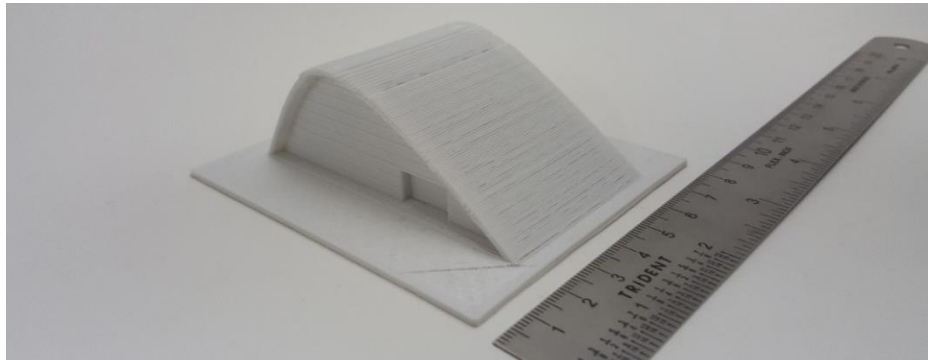


Figura 28 - Maquete 02, de PA 02.

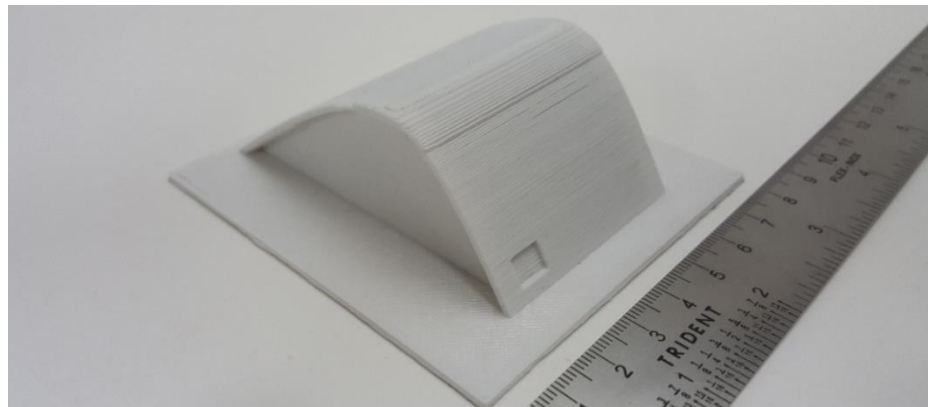


Figura 29 - Maquete 02, PA 02

O modelo das figuras 27, 28 e 29 demonstra a impressão de um modelo com formato de arco e com fechamentos laterais. A maquete foi produzida em duas horas e vinte e oito minutos, em uma única peça, com medidas aproximadas de oito centímetros de largura por dez centímetros de comprimento.

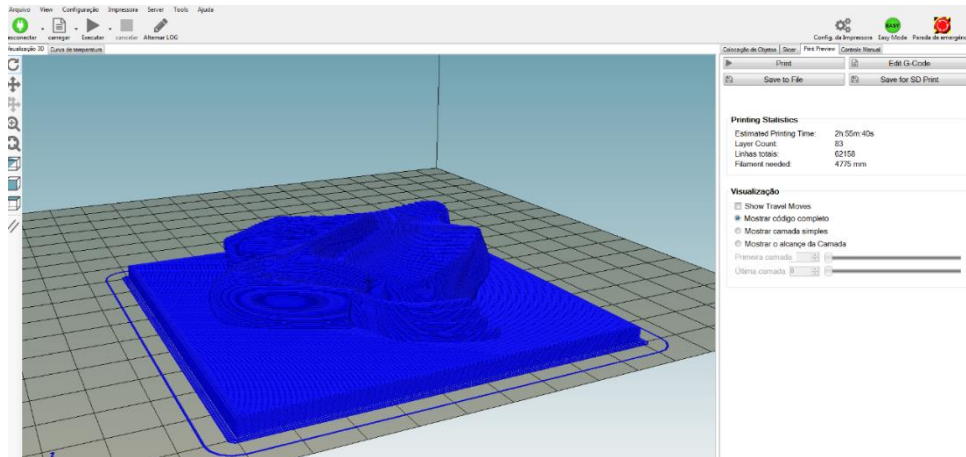


Figura 30 - Maquete 03, de PA 02

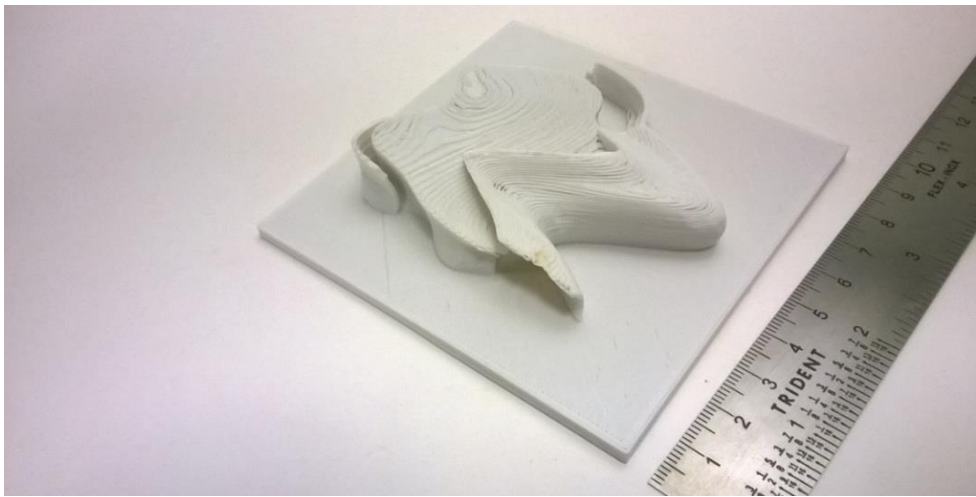


Figura 31 - Maquete 03, de PA 02.

A maquete das figuras 30 e 31, foi impressa para evidenciar a possibilidade de impressão de formas orgânicas e assimétricas. O tempo de produção de formas orgânicas e o mesmo das propostas ortogonais. A duração da impressão foi de duas horas e cinquenta e dois minutos, com base de dez por dez centímetros.

A impressão de modelos para alunos de arquitetura permitiu identificar dificuldades na utilização das impressoras. Dúvidas sobre como criar os modelos, quais parâmetros definir para a impressão, quais arquivos utilizar e como desenvolver o modelos virtual. foram desenvolvidos modelos que utilizaram peças de sacrifício para garantir o sucesso da impressão. As peças de sacrifício permitiram a impressão de maquetes que venciam vãos e foram retiradas utilizando estiletos para cortar os pontos de apoio entre a maquete e o suporte e alicates de ponta fina, para a remoção completa dos suportes.

As impressões volumétricas foram as menos desafiadoras para a máquina prototipadora. Os estudantes que optaram por fazer maquetes volumétricas criaram modelos específicos para a impressão utilizando como base os desenhos de projeto e maquetes desenvolvidas previamente para as aulas. É importante ressaltar que os modelos foram retirados da mesa de impressão com o auxílio de uma espátula de metal, utilizada em trabalhos manuais e em pinturas de residências, que pode ser adquirida em casas de construção e lojas especializadas em artesanato.

Os modelos volumétricos levam menos tempo para produção digital. Uma maquete de base aproximada de 10 centímetros por 10 centímetros leva uma média de três horas de impressão. Os alunos podem fazer estudos volumétricos em modeladores virtuais e imprimi-los para analisar as propostas desenvolvidas em sala de aula. Os modelos de detalhamento exigiram mais atenção por parte dos alunos. Dependendo da complexidade da maquete de detalhamento é necessário executar testes de impressão para definir a menor dimensão possível para um elemento arquitetônico, dependendo da escala utilizada para representar o modelo.

14 – Produção de projeto e confecção de impressora 3D *RepRap*.

A análise do uso das impressoras tridimensionais *RepRap* permitiu o entendimento necessário para a execução de um projeto com produção local com novo desenho para estrutura e levantamento das peças necessárias para montagem da máquina (ver anexo 01, p. 76). A máquina projetada para a Faculdade de Arquitetura e Urbanismo de Brasília tem por objetivo melhorar o entendimento do funcionamento e da montagem dos projetos *RepRap* encontrados na Internet para *download* e facilitar o acesso à tecnologia de prototipagem e construção digital.

A impressora foi projetada durante os dois semestres do ano de 2015 e o primeiro semestre do ano de 2016. A estrutura e modelos virtuais foram definidos utilizando o modelador 3D *SketchUp*. O trabalho desenvolvido em três semestres permitiu a análise do funcionamento da máquina e o desenvolvimento de várias versões do projeto e protótipos físicos para melhoria da estrutura, buscando aumentar sua durabilidade, facilitando sua construção, montagem e melhorando a estabilidade no momento do uso. Para melhorar o aspecto visual foram testados diferentes tipos de madeira *Medium Density Fiberboard* (MDF) e técnicas para impermeabilização da madeira. As técnicas de corte, fresa e a *laser*, foram testada para buscar o melhor acabamento possível, de tal forma que o aluno construa sua máquina sem a necessidade de intervenções manuais para dar acabamento à estrutura. Foram desenvolvidas três versões da impressora.

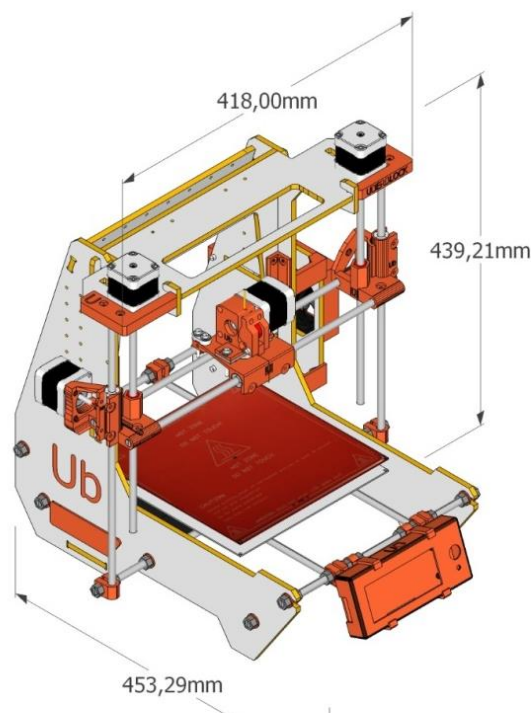


Figura 32 - Perspectiva. Modelo 2.1 - Desenvolvido com a utilização do software Sketchup

A Impressora 3D é dividida em quatro conjuntos de peças. Estrutura, peças impressas, eletrônica e componentes aquecedores. O projeto foi definido para que pudesse ser confeccionado com a maior parte de peças adquiridas localmente ou impressas em uma impressora 3D.

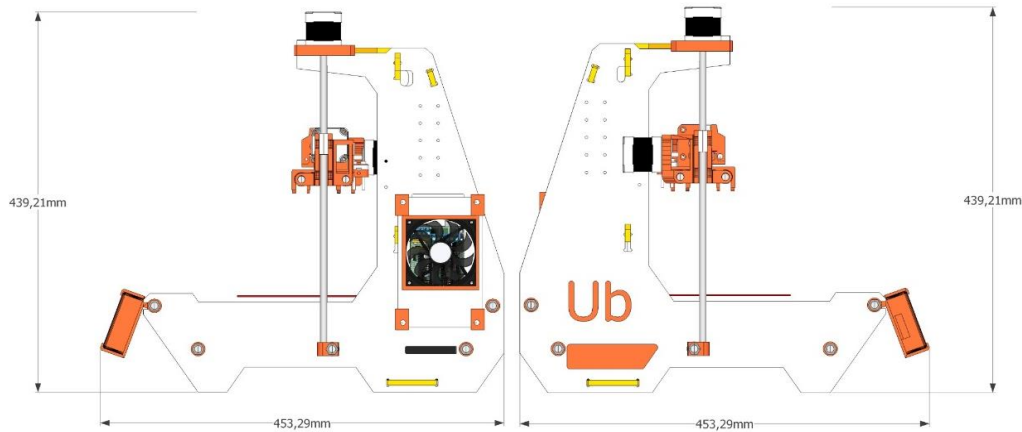


Figura 33 - Vistas laterais. Modelo 2.1. Modelo desenvolvido com a utilização do software Sketchup

A estrutura é mista, com partes em MDF e barras rosqueadas de 5/16 polegadas ou 8 milímetros de diâmetro. A estrutura foi executada em MDF para poder estabilizar o conjunto, evitando oscilações devido ao movimento dos eixos e permitir que seja produzida utilizando máquinas de corte bidimensionais (2D). As máquinas de corte mais acessíveis são as do tipo *router* e máquinas de corte a *laser*. As partes de MDF são travadas utilizando barras rosqueadas de 5/16 polegadas de diâmetro que podem ser adquiridas em casas de construção e ferragens. Todavia, é relevante adquirir barras de aço inoxidável para aumentar o tempo de vida útil da máquina. Observa-se que o valor desse tipo de material é elevado, para diminuir o custo das máquinas é possível utilizar barras rosqueadas galvanizadas.

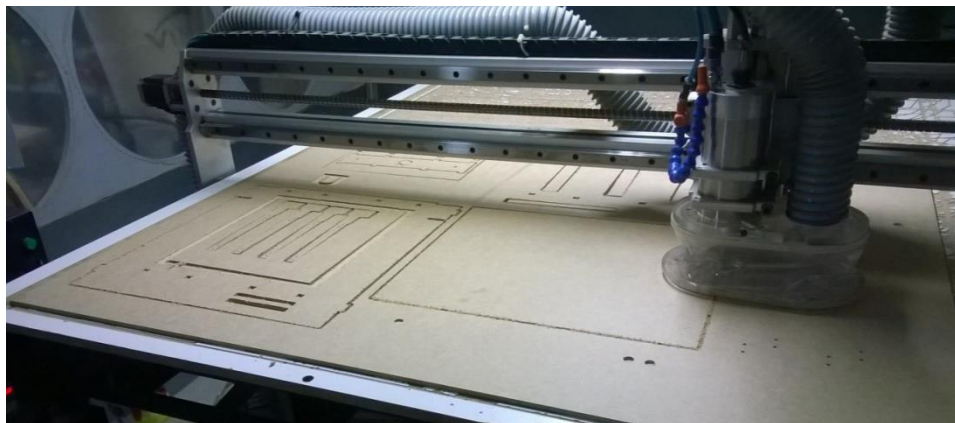


Figura 34 - Máquina de corte 2D Router. Momento do corte de protótipo para estrutura de impressora 3D

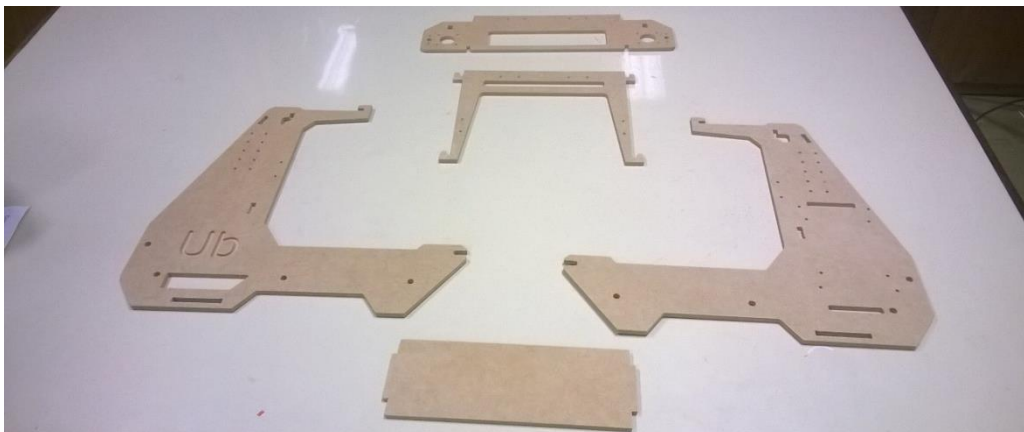


Figura 35 - Primeiras peças cortadas para o projeto de impressora 3D RepRap Fau/unB. Madeira MDF Cru

Para o funcionamento dos eixos X, Y e Z a máquina utiliza 4 motores de passo Nema 17 com torque de 4,2 Kg de força e um motor com o mesmo torque para o componente do extrusor. O eixo X utiliza um motor e da mesma forma o eixo Y utiliza um motor para seu movimento. O eixo Z, que movimenta o extrusor para cima e para baixo, utiliza dois motores. É importante ressaltar que existem modelos diferentes e, portanto, podem variar o número de motores. Entretanto, o modelo do trabalho foi escolhido pela facilidade de montar a mecânica na estrutura. É recomendado utilizar todos os motores com torque de 4,2 kg de força permitindo que os movimentos sejam feitos com maior precisão de qualidade.

A mesa de deposição do plástico ou eixo Y é um elemento aquecedor. Seu funcionamento deve ser especificado antes da produção da máquina devido às características dos plásticos que serão utilizados para a impressão. Plásticos do tipo Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) necessitam que a mesa para deposição esteja aquecida no momento da impressão. Para esse tipo de plástico a mesa deve trabalhar com temperaturas entre 100°C a 120°C. A necessidade de aquecimento da mesa ajuda a evitar o descolamento dos modelos e diminui a variação abrupta de temperatura. No caso de outros plásticos como o Políácido láctico (PLA), é possível utilizar a mesa de deposição com uma temperatura média de 60 °C.

A aderência dos plásticos é otimizada com o uso de colas ou *sprays* fixadores, um exemplo de fixador de fácil obtenção é o laquê utilizado na estabilização de penteados. O fixador pode ser adquirido em supermercados, farmácias ou lojas especializadas em produtos estéticos. A fixação com o laquê se mostrou eficiente e de fácil aplicação. Os modelos passaram a aderir melhor à mesa de deposição.

Foram feitos diversos testes para avaliar a melhor forma de adesão do modelo na mesa de deposição. No caso do plástico ABS é recomendado utilizar a mesa aquecida a uma

temperatura aproximada de 110 °C somado ao uso do *spray*. O plástico Poliacido lático (PLA), tem seu ponto de fusão menor e, portanto aceita uma temperatura menor para a mesa de deposição, entre 30 °C a 45 °C. Foram feitos testes para avaliar a possibilidade de imprimir com o plástico PLA em uma mesa de deposição sem aquecimento. Infelizmente, a impressão com a mesa fria não se mostrou eficiente, ocasionando no descolamento do modelo durante a impressão.

A melhor configuração para imprimir com o plástico PLA foi utilizar o laquê em *spray* associado com o aquecimento da mesa de deposição a 40 °C. Essa configuração permitiu a aderência dos modelos à mesa sem a necessidade de um aquecimento elevado.



Figura 36 - Conjunto de peças eletrônicas e mecânicas para a montagem da impressora

A construção do protótipo permitiu que a estrutura projetada fosse avaliada e redesenhada para tornar o modelo mais estável e criar nichos para a eletrônica, evitando possíveis choques e contatos indesejados com os usuários.

A necessidade de remodelar a estrutura foi originada da análise ergonômica efetuada no segundo semestre de 2015. O estudo identificou a necessidade de criar pontos de apoio para facilitar a empunhadura no momento do transporte da máquina e seu posicionamento no ateliê ou laboratório.

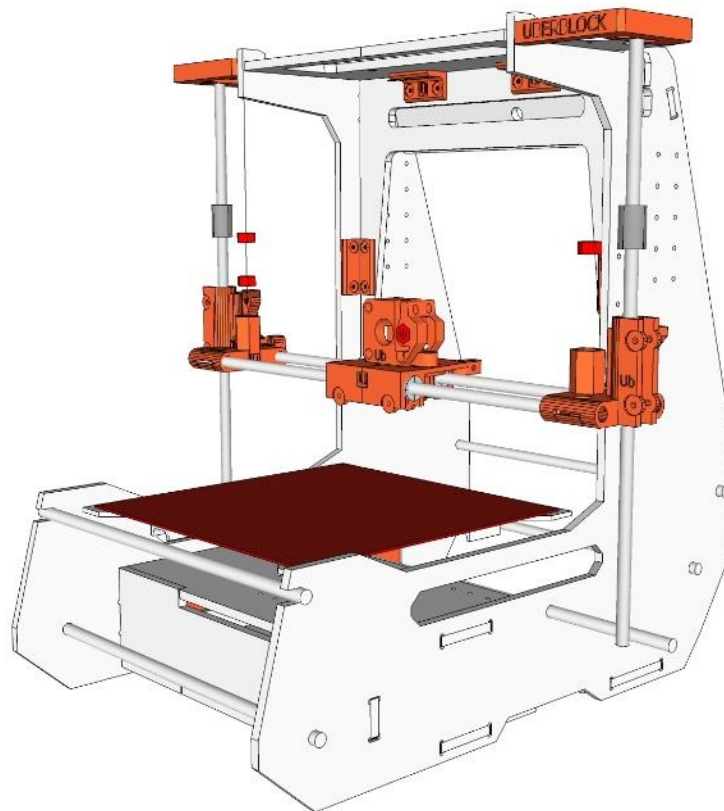


Figura 37 - Projeto remodelado – modelo 2.2. Melhoria para no posicionamento dos componentes eletrônicos.

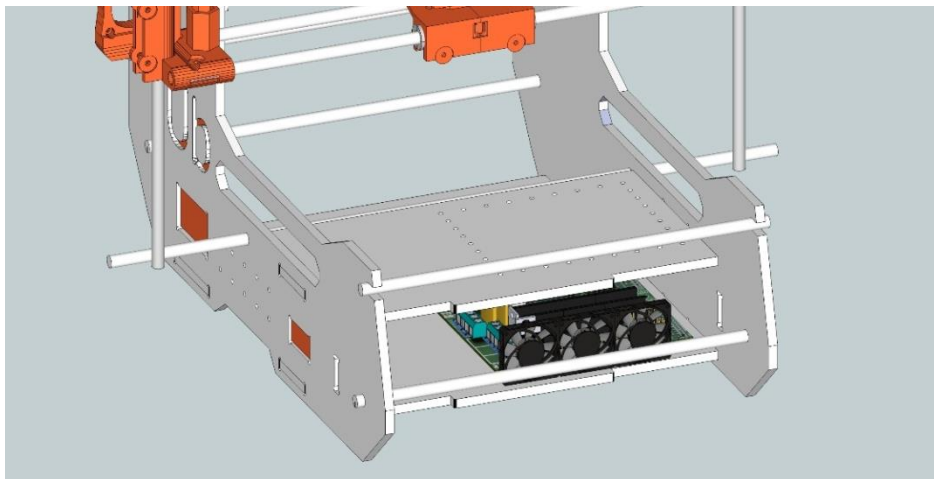


Figura 38 - Projeto remodelado – modelo 2.2. Criação de caixa para adequação da placa-mãe Arduino

Além das mudanças para proteção da eletrônica e do usuário (ver anexo 02, p. 77), ocorreu a troca do material de confecção da estrutura. No primeiro protótipo, foi utilizado o MDF natural. Contudo, observou-se que o material ao natural não permite efetuar uma limpeza adequada sem danificar a estrutura e o manuseio diário machuca as peças devido ao toque humano.

Foram feitos testes com vernizes para impermeabilizar as peças, mas observou-se que o processo se torna demorado e oneroso.

A solução abordada para o problema foi utilizar MDF com fórmica branca, dupla face. A fórmica permite que a estrutura se torne mais amigável visualmente e ao toque.



Figura 39 - Protótipo do Modelo 2.2 em MDF branco e montagem efetuado por uma única pessoa

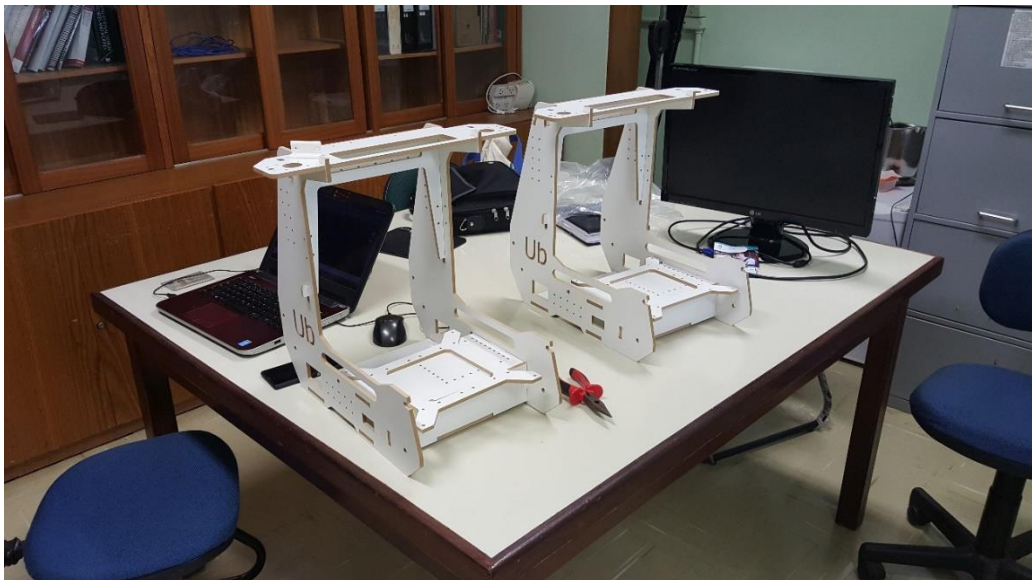


Figura 40 - Protótipo do Modelo 2.2 em MDF branco executado com máquina de corte CNC Router

A montagem da estrutura associada a eletrônica e mecânica no modelo 2.2 permitiu analisar pontos relevantes em relação a caixa projetada para condicionar a placa mãe. O resfriamento da placa controladora é executado por ventiladores (*coolers*). Inicialmente foram escolhidos *coolers* de quatro a seis centímetros de tamanho. Porém, observou-se que ventiladores com essas dimensões não tem capacidade suficiente para resfriar a placa mãe de forma adequada,

ocasionando o superaquecimento da eletrônica. Para evitar esse problema a caixa de armazenamento do *Arduino* foi redesenhado para receber também um *cooler* de oito ou dez centímetros de diâmetro. O aumento da caixa facilitou a passagem dos cabos.

O processo de construção do modelo 2.2 originou o terceiro modelo da impressora (ver Anexo 02, p. 77). No protótipo 2.3 foi utilizado para a produção da estrutura placas MDF com fórmica branca e executada com máquina de corte bidimensional a *laser*. O *laser* foi considerado o processo mais apropriado para construção da estrutura devido a velocidade do corte, precisão e estética obtida em associação com o MDF branco. (fig. 41)



Figura 41 - Protótipo da estrutura do Modelo 2.3 em MDF branco executada com corte a laser

Os modelos virtuais para construção de uma impressora 3D estão disponíveis no site do Laboratório de Fabricação Digital e Customização em Massa (LFDC) da Faculdade de Arquitetura e Urbanismos da Universidade de Brasília. O arquivo digital com todas as peças está no formato do programa gratuito *sketchup* (.SKP) e os arquivos para o corte da estrutura estão em formato .DXF, compatível com diversos programas de desenho assistido por computador (DAC) tais como o *Autocad*. Os desenhos e projetos podem ser baixados no site < <http://www.lecomp.fau.unb.br/> >

15 – Eletrônica e Mecânica

O projeto *Arduino* nasceu na Itália e tem por objetivo facilitar o acesso e desenvolvimento de tecnologia barata. Facilitando a introdução de produção de tecnologia em escolas de ensino fundamental e médio, como também a introdução do uso de métodos de prototipagem no ensino superior e principalmente nas escolas de Arquitetura e Urbanismo (Evans, 2013, p. 25).

O aprendizado de programação de computadores irá se tornar necessário no campo da arquitetura devido aos avanços da tecnologia de projeção como os programas *BIM*, *Revit*, e programas paramétricos, como o *Rhinoceros*, que exigem desenvolvimento de projetos com famílias ou sequências lógicas de comandos para modificar um modelo tridimensional. Outro fator importante para se ensinar programação nas escolas de Arquitetura é a necessidade de desenvolver novas tecnologias construtivas que utilizem partes móveis e sensíveis ao calor, movimento ou possuam a capacidade de responder aos hábitos diários dos futuros usuários. Os objetos do dia a dia e as edificações estarão conectados à Internet, respondendo a estímulos externos provocados pelo clima ou pelos usuários.

15.1 - Fonte:

Fontes são circuitos que pegam a tensão alternada da rede elétrica e a converte para o padrão de tensão requerida pelo aparelho a ser alimentado (Torres, 2012, p.359). Na maioria das vezes isso significa pegar 127 volts ou 220 volts alternados e converter para uma tensão contínua de valor mais baixo. A placa mãe *Arduino* utiliza para seu funcionamento 5 volts contínuos.

Existem dois tipos de fontes disponíveis para o uso em impressoras 3D, as fontes lineares ou fontes com chaveamento em alta frequência, mais conhecidas como fonte chaveada ou *Switching Mode Power Supply* (SMPS), escolhida para o modelo desenvolvido.

As fontes de alimentação chaveadas são menores e não dissipam energia em forma de calor, sua caixa também permite um encaixe mais adequado a estrutura da impressora. Infelizmente a fonte chaveada é mais onerosa, porém, suas vantagens superam a desvantagem do preço.

15.2 - Motores de Passo – Nema 17:

Os motores de passo são motores elétricos que deslocam seus eixos em ângulos definidos de 1.8°, podendo realizar um giro completo de 360° em ambas as direções (<http://www.kalatec.com.br/motoresdepasso/motor-de-passo>, 2016). Alguns motores de podem ter seu passo definido em 1.5°, portanto é necessário verificar as especificações

técnicas do fabricante para definir o melhor funcionamento do motor adquirido.

Como podem exercer diferentes níveis de torque e por sua precisão os motores de passo são utilizados em diversos equipamentos com movimentos controlados por computador. Além das impressoras 3D, os motores de passo são utilizados na construção de máquinas de corte CNC, braços robóticos, produção de modelos em escala reduzida com algum tipo de movimento, unidades de proteção solar ou qualquer elementos com movimento controlado e preciso. (Fig. 42).



Figura 42 - Motor de passo nema 17.

Os motores de passo são movidos por corrente direta. A energia é medida em pulsos e cada pulso faz com que o motor mova um passo. É importante definir quantos passos tem uma revolução completa de um motor, ou seja, quantos passos são necessários para gerar uma volta completa do rotor. A conta para definir esse dado é muito simples e será importante na hora de programar e organizar o movimento da impressora.

Número de passos de um motor:

$$\text{Ex.: } 360^\circ / 1.8^\circ = 200 \text{ passos ou pulsos por revolução (PPR)}$$

São classificados quanto ao tamanho pela norma NEMA. O motor é denominado de acordo com o tamanho da aresta de flange. O motor nema 17 tem aresta de flange de 1,7 polegadas, ou seja, aproximadamente 42 milímetros.

Podem ser divididos em unipolar e Bipolar e tem ligeiras diferenças na forma de serem controlados. Os motores unipolares são mais simples, mais baratos. Os motores bipolares são mais eficientes, com maior torque, maior velocidade de rotação, é o tipo de motor indicado

para o uso nas impressoras e em diversos outros aparelhos de precisão.

15.3 - Placa Mãe: Histórico do *Arduino*

O *Arduino* teve seu início no ano de 2005 na *Interaction Design Institute* na cidade de *Ivrea*, Itália. O projeto foi desenvolvido pelo professor Massim Banzi, para que estudantes de *design* tivessem acesso à tecnologia de prototipagem à baixo custo. Banzi com a ajuda do professor David Cuartielles, pesquisador da Universidade de Malmö na Suíça, desenvolveram o projeto de um micro controlador para ser utilizado por estudantes de arte e *design* no desenvolvimento de ideias e modelos. O nome *Arduino* nasceu devido ao nome de um bar local frequentado pela equipe dos professores idealizadores do projeto (Evans, Noble, 2013, p.25).

O pré-requisito básico para o projeto foi o custo. As placas são de baixo custo, viabilizando a aquisição do produto por estudantes universitários. Outro aspecto importante é a fácil compreensão e programação do sistema. O projeto teve uma tiragem inicial de apenas duzentas placas *Arduino*. Inicialmente eram vendidas em forma de *Kit* para que os estudantes pudessem desenvolver seus projetos. Rapidamente os duzentos *kits* iniciais foram comercializados gerando a demanda para a produção de mais placas.

O *Arduino* é utilizado para ensinar programação e desenvolvimento de protótipos para crianças em diversas escolas espalhadas pelo planeta. O sucesso do projeto desencadeou a elaboração de variações da placa inicial com processadores diferentes.

Diversas escolas paulistas inseriram em suas grades curriculares o ensino de programação e robótica (revista Educação, 2015). No futuro a linguagem de computadores será tão importante quanto o aprendizado de outras línguas. Outro fator preponderante para o ensino de programação nos primeiros anos de formação é a possibilidade de desenvolver nos alunos habilidades matemáticas e raciocínio lógico nas crianças.

15.4 - Hardware do *Arduino*

O professor Banzi desenvolveu com o passar dos anos diversos modelos de placas *Arduino*. As placas utilizam como base um microprocessador de 8 Bits, menor parcela de informação processada por um computador, *Atmel AVR reduced instruction set computer (RISK)*. Os microprocessadores utilizam memória *flash*, um tipo de memória semelhante a memória RAM, utilizada pelos computadores convencionais, permitindo que múltiplas informações sejam apagadas ou escritas numa só operação (Evans, Noble, 2013, p. 29).

No caso da impressora tridimensional é necessário utilizar placas com mais memória. Nas impressoras desenvolvidas no laboratório de prototipagem da FAU, LFCd, a placa *Arduino* utilizada é a Mega 2560 com memória interna de 256 KBites (fig. 43).

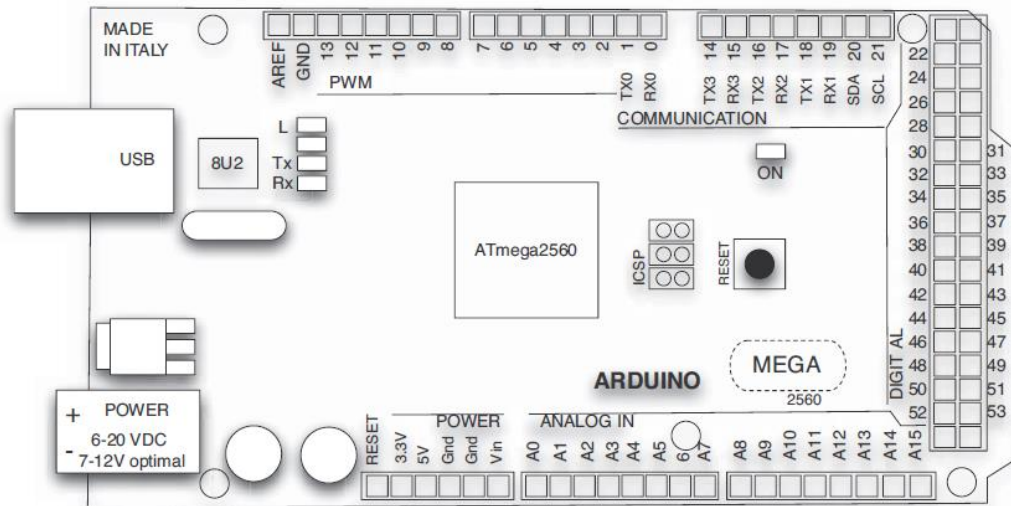


Figura 43 - Arduino Mega 2560.

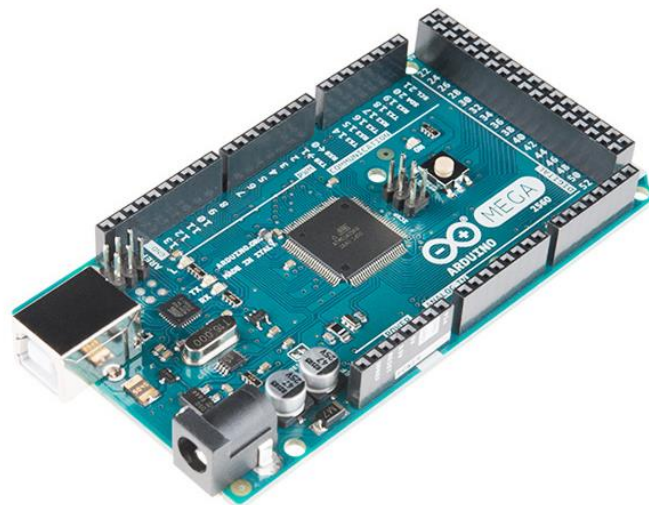


Figura 44 - Arduino Mega 2560.

15.5 - Shield/ Ramps

Os *Shields* são placas especializadas desenvolvidas para auxiliar o *Arduino* no comprimento de tarefas específicas. *Shields* são peças de *hardware* plugáveis que se conectam em um *Arduino*. Existem modelos com seus próprios conectores, podendo ser empilhados uns sobre os outros (Evans, Noble, 2013, p.110).

Para a impressora 3d desenvolvida no LFDC foi utilizado um *shield* específico, o *Ramps 1.4*. Esse *shield* foi desenvolvido para ser utilizado com a placa *Arduino mega 2560* aumentando a capacidade da placa, permitindo a construção de impressoras 3D tipo *REPRAP*.

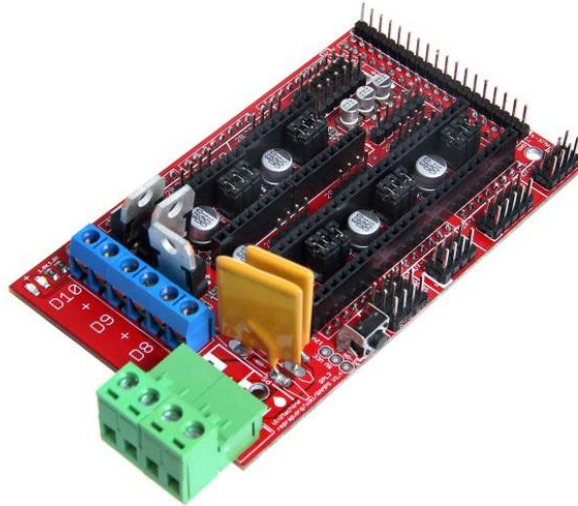


Figura 45 - Shield Ramp 1.4 para utilização com placa Arduino mega 2560

15.6 - Software do Arduino

Assim como o *Hardware*, o *software* do *Arduino* é de código aberto e pode ser baixado gratuitamente da Internet. Os programas são escritos no ambiente de desenvolvimento (IDE) para *Arduino*. O IDE fornece tudo o que é necessário para programá-lo, incluindo vários exemplos de programas ou *sketchs* que demonstram como conectá-lo e comunicar-se com alguns dispositivos comuns, tais como *LED's*, telas de LCD e sensores de vários tipos (Evans, Noble, 2013, p.33).

No mundo do *Arduino* um bloco de código é chamado de *sketch*. Essa terminologia nasceu do hábito dos estudantes de *design* e artes, público alvo inicial do projeto, de nomearem seus estudos e desenhos de *sketch*.

A conexão entre *Arduino* e computador é feita através de um cabo USB. O cabo fornece a placa 5 volts, suficiente para ligar o aparelho e acender duas lâmpadas de *LED*, evidenciando que a placa está funcionando.

O programa para gerenciar o funcionamento do *Arduino* é escrito em uma linguagem de computador semelhante à linguagem C++. Seu diferencial é a necessidade do pensamento lógico e a utilização de palavras predeterminadas para especificar comandos, variáveis.

16 - Análise ergonômica

Nos anos de 2015 e 2016 o uso intensivo das impressoras *RepRap* por alunos da graduação e Pós-graduação da Universidade de Brasília contribuiu para o desenvolvimento de uma análise ergonômica referente ao uso desse tipo de equipamento. A análise considera como parâmetros de observação aspectos físicos, cognitivos, relacionados ao tempo de aprendizagem para o uso adequado, e sonoros. Identifica possíveis problemas no uso da impressora e apresenta soluções. O trabalho utilizou como referência o livro *Introdução à ergonomia: da prática à teoria*, da professora Júlia Abrahão (2009).

16.1- Aspectos Físicos

16.1.1 - Área de atuação (lugar de trabalho na mesa)

A impressora tridimensional pode ser colocada confortavelmente em uma mesa de trabalho comum. Ocupando um volume de 83 centímetros cúbicos (cm³) ou um cubo de aproximadamente 42 centímetros de largura por 45 centímetros de comprimento por 44 centímetros de altura. Essas dimensões permitem que a impressora seja posicionada em mesas de trabalho com dimensões mínimas de 100 centímetros (cm) de comprimento por 60 cm de profundidade.

Todavia, como a impressora opera pelo processo de adição por fusão, é necessário ter algumas preocupações com a saúde do usuário. O material de impressão é aquecido liberando gases e odores. É relevante manter a máquina a uma certa distância do rosto do operador e manter o ambiente arejado.

- **Distância ideal do computador e usuário:** Devido a possibilidade de emissão de gases tóxicos é ideal que a impressora tridimensional seja posicionada a uma certa distância do usuário.

16.1.2 - Área de empunhadura

A área de empunhadura está posicionada próximo ao centro do corpo da impressora para permitir melhor balanceamento ao ser transportada.

No contato das mãos com o material de confecção da estrutura, madeira MDF, a espessura do material é de aproximadamente 6 milímetros que associada ao peso do equipamento pode ocasionar o corte da circulação sanguínea das mãos devido ao contato com as quinas vivas do material ou mesmo um corte real.

Peso: O peso da impressora tridimensional *RepRap* é de, aproximadamente, sete quilogramas (7 kg). Devido ao seu peso, é necessário criar suportes para a empunhadura e proporcionar mais conforto e firmeza no transporte do equipamento.

16.2 - Possíveis acidentes

16.2.1 - Acidentes com elementos aquecidos

A impressora possui um bico extrusor, que opera numa temperatura entre 160°C e 235°C, e uma mesa aquecida, que funciona à uma temperatura média de 110°C. Essas peças precisam ser observadas para evitar acidentes ocasionados pelo contato da pele com as superfícies aquecidas.

16.2.2 - Acidentes com eixos em movimentos e engrenagens

A impressora 3D utiliza uma série de eixos e engrenagens que se movimentam durante o funcionamento da máquina. Esses eixos são acionados por motores elétricos e engrenagens metálicas ligadas por correias que podem ocasionar acidentes.

Precauções: É necessário que o operador da máquina esteja no domínio de suas funções motoras e ciente que não se deve colocar a mão nos eixos enquanto a impressora trabalha.

Homens e mulheres de cabelos compridos devem prender seus cabelos caso precisem se debruçar sobre a máquina ou mesmo para observar o seu funcionamento durante a impressão.

Roupas e objetos de vestuário soltos devem ser evitados perto da máquina, para impedir que se prendam nas engrenagens e correias da impressora.

16.3 - Aspectos Cognitivos:

16.3.1 - Curva de aprendizado e aspectos da memória para a utilização da impressora 3D

O aprendizado para a utilização da máquina leva em consideração se o usuário tem conhecimento básico de informática para entender o funcionamento da máquina e dos programas para impressão tridimensional.

A impressora 3d viabiliza o processo de transformar um objeto virtual num objeto físico. Portanto, é importante observar as espessuras mínimas para aumentar o índice de sucesso na produção de modelos.

É necessário a compreensão de como os programas coordenadores das impressoras funcionam e como cada parâmetro de impressão pode influenciar na confecção das maquetes e objetos produzidos com a prototipagem rápida. O processo de aprendizagem se mostrou lento devido ao pouco conhecimento referente às tecnologias de construção e prototipagem digital.

16.3.2 - Solução

Para que o tempo de aprendizagem diminua, é necessário que a máquina e os programas venham acompanhados com um manual de utilização e configuração dos parâmetros de uso. O uso de um manual permitirá que problemas na impressão sejam evitados.

É necessário a utilização de programas para a impressão que diminuam a possibilidade de falhas. Existem uma série de programas para coordenar as impressoras *RepRap* disponíveis para serem baixados gratuitamente. Os programas criados por desenvolvedores livres, como o *Repertier-host*, são satisfatórios. Contudo, ainda precisam de correções e melhorias para diminuir a curva de aprendizagem do usuário. Outros programas desenvolvidos por grandes empresas como *Mishmixer* da *Microsoft*, são mais amigáveis.

16.4 - Aspectos sonoros

A impressora tridimensional, como toda máquina com peças em movimento, produz ruídos. O som produzido pela impressora não tem intensidade suficiente para produzir danos físicos ao aparelho auditivo dos usuários. Porém, cada impressão pode levar horas de funcionamento contínuo, o que pode ocasionar no usuário fadiga e irritabilidade devido aos barulhos constantes durante o tempo de impressão.

Solução: Como a impressora pode trabalhar sem acompanhamento constante. É possível programá-la para funcionar num horário no qual o usuário possa sair de perto da máquina por alguns momentos.

Deve-se evitar que a máquina opere sem supervisão durante o processo para evitar eventuais falhas, como por exemplo o embaraçamento da bobina de filamento.

17 - Conclusão

O estudo demonstrou que as impressoras tridimensionais de baixo custo podem se tornar acessíveis e úteis ao ensino e estudo de Arquitetura e Urbanismo. A construção das impressoras, evidenciou a possibilidade de qualquer estudante fabricar sua própria máquina, com materiais encontrados em lojas de ferragens, eletrônica, madeiras e utilizar técnicas de corte computadorizado a baixo custo.

A tecnologia de impressão tridimensional e de cortes computadorizados (CNC) se tornou acessível. Os preços para aquisição de uma impressora 3D, de fabricantes nacionais e importadas pode variar entre R\$ 5.000,00 à R\$ 12.000,00. Esses valores parecem irrisórios comparados com os preços pedidos pelos fabricantes antes da queda das patentes, o valor de uma impressora podia chegar a U\$ 30.000,00. Entretanto, os preços das máquinas *desktops* fabricadas por empresas ainda estão elevados para usuários independentes ou Universidades.

O projeto detalhado da impressora contribui reforçando a proposta de que, com até R\$ 2.000,00 é possível construir uma impressora tridimensional com qualidade de impressão suficiente para produzir objetos para o uso cotidiano, modelos de estudo e para apresentações. Cada aluno pode utilizar o projeto, modelos 3d apresentados na dissertação para fabricar suas próprias impressoras tridimensionais. A madeira para construção da estrutura é de fácil obtenção, podendo ser comprada em folhas com medidas de 275 centímetros por 183 centímetros, permitindo o corte de sete estruturas com uma única folha de MDF.

O corte a *laser* apresentou o melhor custo/ benefício em comparação ao corte em fresa, sendo mais rápido e barato. O corte a *laser* queima a matéria prima permitindo que ao mesmo tempo em que corta a madeira proporcione um aspecto acabado, pois suas bordas ficam com aparência de tinta preta nas laterais das peças.

A estrutura foi projetada com sete peças para proporcionar uma fácil montagem e travamento. A impressora possui espaço para posicionar a eletrônica dentro de uma caixa fechada, base para posicionamento da fonte e suporte para instalação de fixador para a bobina de plástico. Todas as peças da estrutura têm furos para encaixes de novos componentes criados pelos usuários além de furos posicionados nas laterais para permitir ao construtor definir a melhor maneira de localizar a fiação.

Os parafusos *allen*, utilizados para travar as peças em outros modelos de impressora foram substituídos, permitindo o uso de parafusos mais simples e baratos. Os únicos parafusos *allen* que permaneceram no projeto são os parafusos utilizados para posicionar os motores de passo na estrutura de madeira e nas peças impressas, pelo único motivo de os furos existentes nos motores não aceitarem outros tipos de parafusos encontrados no comércio local.

As barras rosqueadas são encontradas em casas de materiais para construção e ferragens em barras de um metro de comprimento. A barra ideal para a impressora é a de aço inoxidável, mas seu preço é elevado em comparação com outros tipos. A alternativa encontrada é utilizar barras rosqueadas galvanizadas com custo reduzido em relação às barras de aço inoxidável. Os componentes de fixação impressos que compõem a estrutura foram minimizados e utilizam pouco material de impressão.

As peças impressas de composição da estrutura foram reduzida. Nos eixos de movimento e suporte para motores as peças impressas foram redesenhadas para facilitar a montagem e aceitar a utilização de parafusos de 3 milímetros de bitola e cabeça para chave *Philips* ou chave de fenda.

Não foi abordada a construção de uma mesa aquecida por existirem no mercado mesas prontas que podem ser adquiridas pelo correio ou lojas especializadas. A compra das mesas aquecidas facilita à construção e evita a necessidade de o estudante aprender a fazer ligações elétricas complexas e demoradas. Outro aspecto relevante para a aquisição das mesas aquecidas é o fato de serem confeccionadas em cores fortes, geralmente vermelho, e com avisos de segurança impressos nas duas faces da placa.

A impressora proposta viabiliza o posicionamento de uma tela LCD para interação do usuário diretamente com a máquina. O uso da tela LCD permite a movimentação dos eixos, aquecer a mesa e o extrusor, movimentar o extrusor, e coordenar a impressão de objetos utilizando um cartão SD com arquivos em formato *g.code*. Foi desenhado especificamente para o modelo um suporte com peças impressas para colocar a tela em frente à impressora prendendo o conjunto nas duas barras rosqueadas frontais. É importante evidenciar que não é necessário utilizar a tela para o funcionamento da máquina. A impressora funciona utilizando interação direta com computador.

O modelo proposto funcionou bem para a impressão de modelos arquitetônicos e tem seu uso direcionado para escolas de ensino superior, ensino médio, escritórios ou empresas que possam utilizar esse tipo de tecnologia no ensino ou no trabalho diário.

Seu projeto foi definido para que a estrutura seja robusta, de fácil montagem e manutenção, garantindo seu funcionamento durante um longo período de tempo com baixa necessidade de manutenção.

O uso da tecnologia de impressão tridimensional é um grande avanço para o estudo de Arquitetura e desenvolvimento de projetos arquitetônicos e de Desenho Industrial. As impressoras possibilitam materializar ideias a baixo custo, utilizando modelos produzidos digitalmente para varios usos. O trabalho executado nos dois anos de mestrado possibilitou o entendimento da tecnologia, melhorando a produção e principalmente a definição de capacidade da impressão no âmbito da Arquitetura. O trabalho contribui para a popularização da impressão 3D na faculdade de Arquitetura e Urbanismos da Universidade de Brasília.

Entre 2015 e 2017 foram feitas diversas palestras para estudantes da Universidade de Brasília e outras faculdades de arquitetura do Distrito Federal. As palestras apresentaram a tecnica para os alunos e professores. Cada apresentação explicou o funcionamento, com exemplos e definindo os valores para a construção de outras máquinas. Essas apresentações permitiram uma discussão mais profunda sobre como utilizar e introduzir novas tecnologias nos ateliês de projeto e nas instituições de ensino.

O entendimento do uso das impressoras tridimensionais de baixo custo e de sua montagem tem como maior objetivo quebrar a barreira financeira que ainda inviabiliza seu uso. As Faculdades de Arquitetura e Urbanismo devem capacitar seus laboratórios de prototipagem e construção digital para produzirem equipamentos seguros a baixo custo. Cada Universidade, com um investimento baixo, pode criar centros de impressão construídos por seus alunos e técnicos, viabilizando o uso da tecnologia de impressão aos estudantes e professores. Cada centro de impressão deve iniciar seus funcionamentos com pelo menos três máquinas. Esse número permite que o laboratório não pare seu funcionamento devido a necessidade de dar manutenção em alguma máquina, ou seja, caso uma máquina precise de reparos pela necessidade de reposição de peças impressas ou componentes eletrônicos uma das outras duas máquinas pode ser utilizada para produzir novas peças para reposição enquanto a outra é utilizada para produzir modelos e projetos.

É importante ressaltar que as primeiras peças impressas pelo laboratório sejam peças de reposição, ou seja, *backups* físicos de engrenagens ou de componentes impressos, tais como os suportes dos motores.

A construção de maquinário para produção digital, permite a independência das escolas e dos alunos em relação à aquisição de máquinas de custo e da manutenção oferecida pelos fabricantes. A construção gera o aprendizado de outras disciplinas no processo. Os estudantes aprendem o processo de impressão tridimensional, como lidar com técnicas de corte computadorizado, eletrônica básica e são introduzidos no mundo da linguagem de programação de computadores, conhecimento que está cada vez mais presente devido às novas tecnologias para projeção tais como os *softwares* BIM e paramétricos.

A construção das impressoras pode ser usado para a introdução do projeto de protótipos. Permitindo aos alunos de arquitetura desenvolver modelos funcionais de elementos arquitetônicos com movimento ou mesmo desenvolver produtos para automação residencial de baixo custo com programação das placas *Arduinos*, somados a motores elétricos, sensores de movimento, umidade, luz entre outros componentes eletrônicos

O conhecimento adquirido com o processo permite aos estudantes e arquitetos dialogar com profissionais que fazem parte da cadeia produtiva da construção civil, os programadores e técnicos de automação. Empresas como a *google* e *amazon* estão desenvolvendo aparelhos que permitem a automação residencial ligados à Internet e à dispositivos móveis, garantindo a análise de dados que variam desde a temperatura interna de uma residência aos produtos de consumo dentro de uma geladeira. Essas tecnologias certamente farão parte do cotidiano e é obrigação dos arquitetos entender como tudo interage para se posicionarem como protagonistas no desenvolvimento dos projetos e na cadeia produtiva da construção civil.

18 - Referências

- ABRAHÃO, Júlia...[et al.] (2009) **Introdução à ergonomia: da prática à teoria**. São Paulo: Blucher.
- ANUNCIACÃO, HEVERTON SILVA. **Linux para redes brasileiras**. Ed. Érica Ltda, São Paulo, 1997.
- BONALDO, T. C. G. **Prototipagem rápida no processo de produção digital de edificações. 2008. 28f. Relatório final (iniciação científica)** – faculdade de engenharia civil, Arquitetura e urbanismo, Universidade estadual de Campinas, Campinas/SP, 2008.
- BONALDO, T. C. G.; GRANJA, A.D.; CELANI, M.G.C.; SILVA, J.V.L. **Prototipagem rápida no processo de produção digital de produção digital de edificações**. In: WORKSHOP BRASILEIRO – GESTÃO DO PROCESSO DE PROJETOS NA CONSTRUÇÃO DE EDIFÍCIOS, 8., 2008, São Paulo. **Anais...**São Paulo, 2008.
- CELANI, M. G. C.; GRANJA, A.D.; **Lean thinking and rapid prototyping: towards a shorter distance between the drawing board and the construction site**. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ADVANCED RESEARCH IN VIRTUAL AND RAPID PROTOTYPING (VRAP 2007), 3., 2007, Leiria. **Proceedings...**Leiria, 2007.
- CHOUGUI, A. **The Digital Design Process: reflections on architectural design positions on complexity and CAAD, Computing in Architecture / Re-Thinking the Discourse**. In: THE SECOND INTERNATIONAL CONFERENCE OF THE ARAB SOCIETY FOR COMPUTER AIDED ARCHITECTURAL DESIGN (ASCAAD 2006), 25-27 April 2006, Sharjah United Arab Emirates Al-Attili, Aghlab and Leonidas koutsoumpos, 2006.
- CRISPOMC. C.; RUSCHEL, R.C. **Ferramentas BIM: Um desafio para a melhoria no ciclo de vida do projeto**. In: ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL, 2007, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre.
- EHANN, S. WARNIER, C. **Printing Things**. Alemanha, ed. Die Gestalten Verlag, 2014.
- EVANS, M., NOBLE, J. **Arduino in Action**. Estados Unidos da América, Ed. Noventa, 2013.
- KALISPEREIS, LOUKAS N. **CAD in Education**: Pen State University, 1996, Acadia Quarterly.
- LEE, F.; BEAURECUEIL, A.S. **Museu Mercedes-Benz: O modelo de arquitetura paramétrica**. UNStudio – Stuttgart, Alemanha, 2002/2006. *Revista AU*, edição 181, abril de 2009.

Disponível em: <>. Acesso em: abr.2009.

MARTINEZ, A. C. **Ensaio sobre projeto**. Tradução de Ane Lie Spaltemberg. Brasília: Ed. UnB, 2000.

MILLS, C. B. **Projetando com maquetes**: Um guia para a construção e o uso de maquetes como ferramenta de projeto. Tradução de Alexandre Salvaterra. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2007.

MOTA FILHO, JOÃO IRIBERTO. **Descobrimdo o Linux**: Entenda o sistema operacional GNU/Linux. Ed. Novatec Ltda, São Paulo, 2006.

PUPO, R. **Insertion of digital prototyping and fabrication in design process**: a new challenge for architecture learning. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2009.

SASS, L.; OXMAN, R. **Materializing design**: the implications of rapid prototyping in digital design.

18.1 - Sites e Revistas:

ALVAREZ, L. **Como ensinar programação e as vantagens de inserir a atividade no currículo**. Revista Educação, nov. 2015. Disponível em: < <http://www.revistaeducacao.com.br/como-ensinar-programacao-e-as-vantagens-de-inserir-a-atividade-no-curriculo/>> Acesso em: 13 de julho de 2016.

MAKERBOT. **Mechanical hand from a makerbot: The magic of robohand**. Maio de 2013. Disponível em: < <https://www.makerbot.com/media-center/2013/05/07/robohand> > Acesso em: 08 de julho de 2016.

MADE IN SPACE. **3D Printing In Space: Four months in an update from Made in Space**. Jan. de 2015. Disponível em: < <https://medium.com/made-in-space/3d-printing-in-space-the-end-of-the-beginning-561f0c384983> > Acesso em: 05 de mar. de 2017.

MCCORMACK, D. **When star trek became reality: nasa to build' universal food synthesizer' 3d printer to boldly make pizza from insect and algae!**. Mail online, maio de 2013. Disponível em: < <http://www.dailymail.co.uk/news/article-2328816/NASA-build-universal-food-synthesizer-create-3D-food-printer-insects-algae.html> > Acesso em: 05 de março de 2017.

KLEINA, N. **Primeira Arma impressa em 3D já é peça de museu na Inglaterra.** Site Tecmundo. Set. de 2013. Disponível em: < <http://www.tecmundo.com.br/armas-de-fogo/44548-primeira-arma-impressa-em-3d-ja-e-peca-de-museu-na-inglaterra.htm> > Acesso em: 31 de mar. de 2016

3D SYSTEMS.**Our Story.** Disponível em: <<http://www.3dsystems.com/30-years-innovation>>. Acesso em: 04 de julho de 2016.

OOSTERHUIS, K. **File to factory and Real Time Behavior in ONL-Architecture.** 2005. Disponível em: <www.oosterhuis.nl/quickstart/index.php?id=457>. Acesso em: 05 de jul de 2015.

RONCOLATO, M. **Fim das patentes impulsionará o mercado de impressora 3D.** Revista Galileu. Disponível em :< <http://revistagalileu.globo.com/Revista/Common/0,,EMI340645-17770,00FIM+DE+PATENTES+IMPULSIONARA+MERCADO+DA+IMPRESSAO+D.html> >. Acesso em: 05 de maio de 2016.

Site KALATEC AUTOMAÇÃO. Disponível em: < <http://www.kalatec.com.br/motoresdepasso/motor-de-passo>> Acesso em: 04 de dezembro de 2016.

Site Pronto 3D. **Pronto 3D - Laboratório de Prototipagem e novas Tecnologias Orientadas ao 3D - FABLAB.** Disponível em: < <https://www.redepronto3d.com/> > Acesso em: 21 de maio de 2017.

Site Stratasys. Disponível em: < <http://www.stratasys.com/br/corporate/about-us> > Acesso em 21 de maio de 2017.

THINGIVERSE. **Gear Heart.** Disponível em: < <https://www.thingiverse.com/thing:12208> > Acesso em: 04 de maio de 2015.

VEJA.COM. **Astronautas utilizam impressora 3D no espaço.** site veja.com, Dez. de 2014. Disponível em < <http://veja.abril.com.br/ciencia/astronautas-utilizam-impressora-3d-no-espaco/> > Acesso em: 05 de mar. de 2017.

Anexo 01 - Tabela de peças e preços estimados – (2016)

Peças	Quantidade	Fornecedor	Valor
Arduino Mega 2560	1 un.		R\$ 89,00
Shield Ramps 1.4 + driver de controle para motor de passo	1 un.		R\$ 109,00
Hotend – extrusor térmico	1 un.		R\$ 165,00
Estrutura - MDF	1 un.	Casa do Marceneiro (placa R\$ 1115,91)	R\$ 21,44
Corte <i>laser</i> Estrutura	1 un.		R\$ 77,62
Peças Plásticas	conjunto		R\$120,00
Correias	1 un. 2 metros		R\$ 26,00
Engrenagens metálicas	2 un.		R\$ 36,00
Parafusos Allen 3mm	16 un.		R\$ 1,00/ un.
Parafusos - 3 mm	48 un.	Casa de ferragens	R\$ 15,00
Cooler	1 un.		R\$ 8,00
Endstop	3 un.		R\$ 10,50/ un.
Fiação	4 metros		R\$ 20,00
Ferragem barras rosqueadas e lisas de 8mm de diâmetro	4 un. rosqueadas 4 un. lisas	Jaçonox	R\$ 80,00
Rolamento 608	4 un.		R\$ 18,00
Rolamento LM8UU	11 un.		R\$ 60,00
Motores	5 un.		R\$ 395,00
Cabo USB	1 un.		R\$ 12,00
Acoplador (eixo Z)	2 un.		R\$ 50,00
Fonte	1 un.		R\$ 165,00
Porcas - 8mm	40 un.	Casa de ferragens	R\$ 6,00

Anexo 02

Manual de montagem

Impressora 3D: Montada por alunos de arquitetura

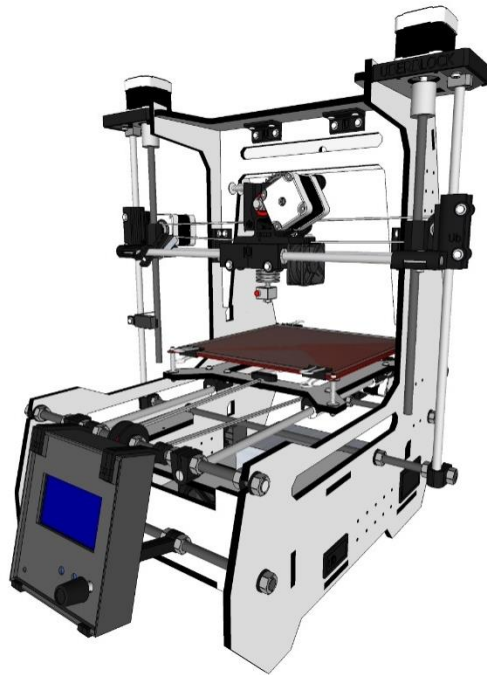


Ilustração 1 - Impressora 2.3, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016

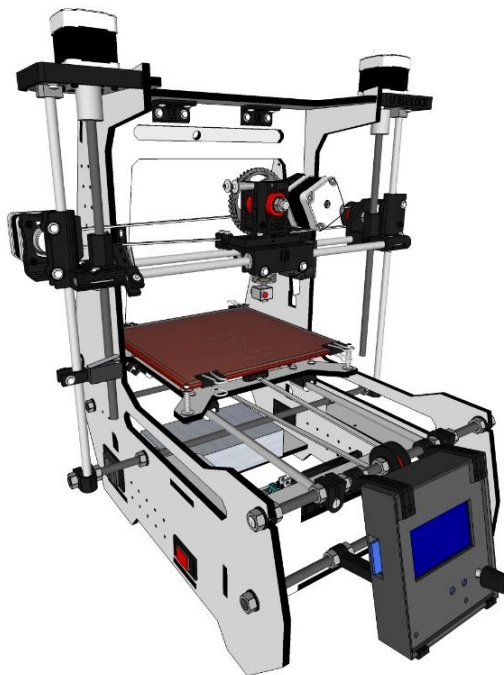


Ilustração 2 - Impressora 2.3, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016

As ilustrações 1 e 2 demonstram como a máquina fica quando completamente montada. Observa-se o posicionamento das barras rosqueadas completando a estrutura de madeira, as peças plásticas que travam a máquina e completam o conjunto do eixo X.

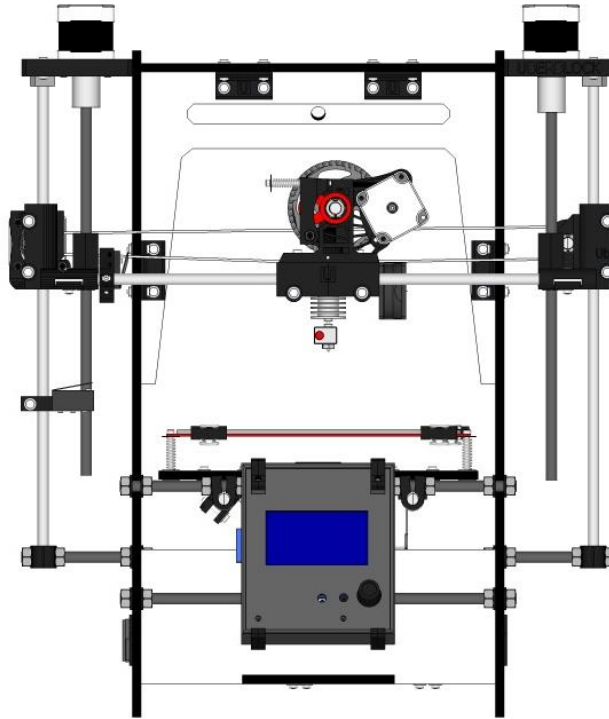


Ilustração 3 - Impressora 2.3, vista Frontal, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016

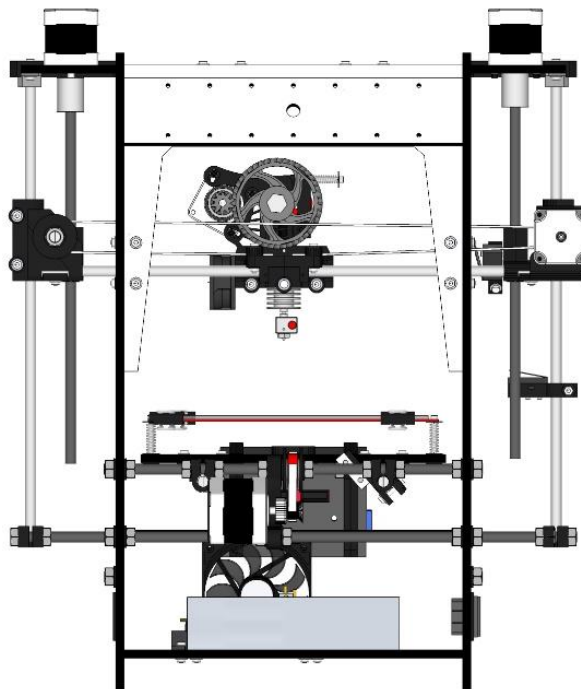


Ilustração 4 - Impressora 2.3, vista Posterior, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016

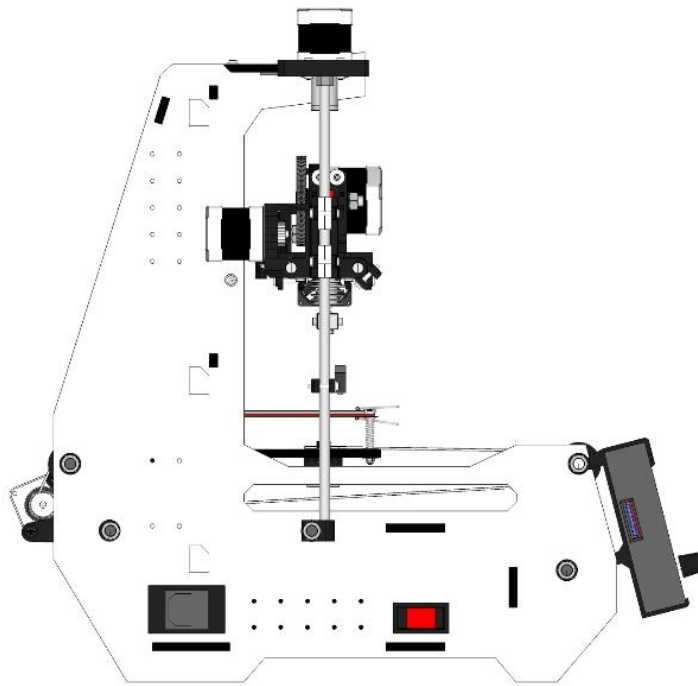


Ilustração 5 - Impressora 2.3, vista lateral 01, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016

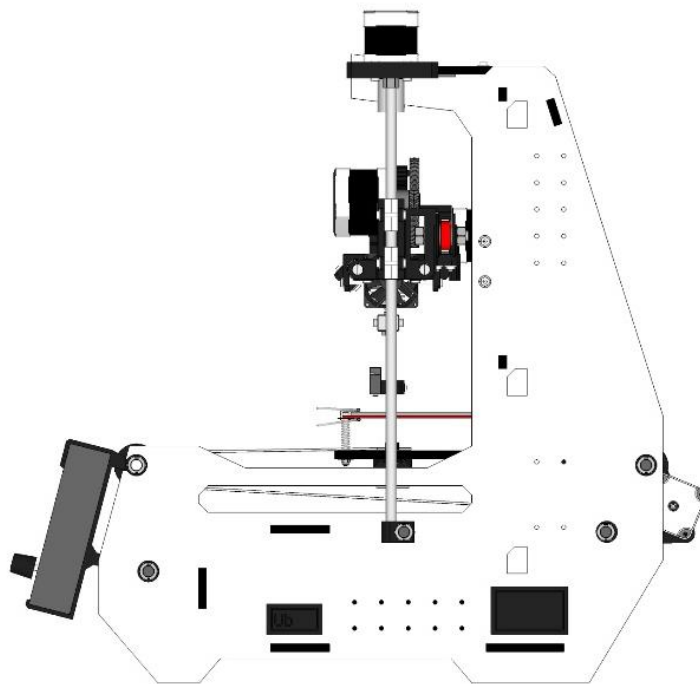


Ilustração 6 - Impressora 2.3, vista lateral 01, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016

A estrutura é composta por duas peças laterais idênticas. Ambas as laterais possuem abertura para passagem de fiação e fixação do cabeamento necessário para a ligação da eletrônica. As laterais possuem duas aberturas retangulares para a instalação de um *plug* fêmea para ligação da energia elétrica e para utilização de interruptor liga/ desliga. O interruptor e o *plug* fêmea são peças opcionais para o funcionamento da impressora.

Perspectiva Explodida

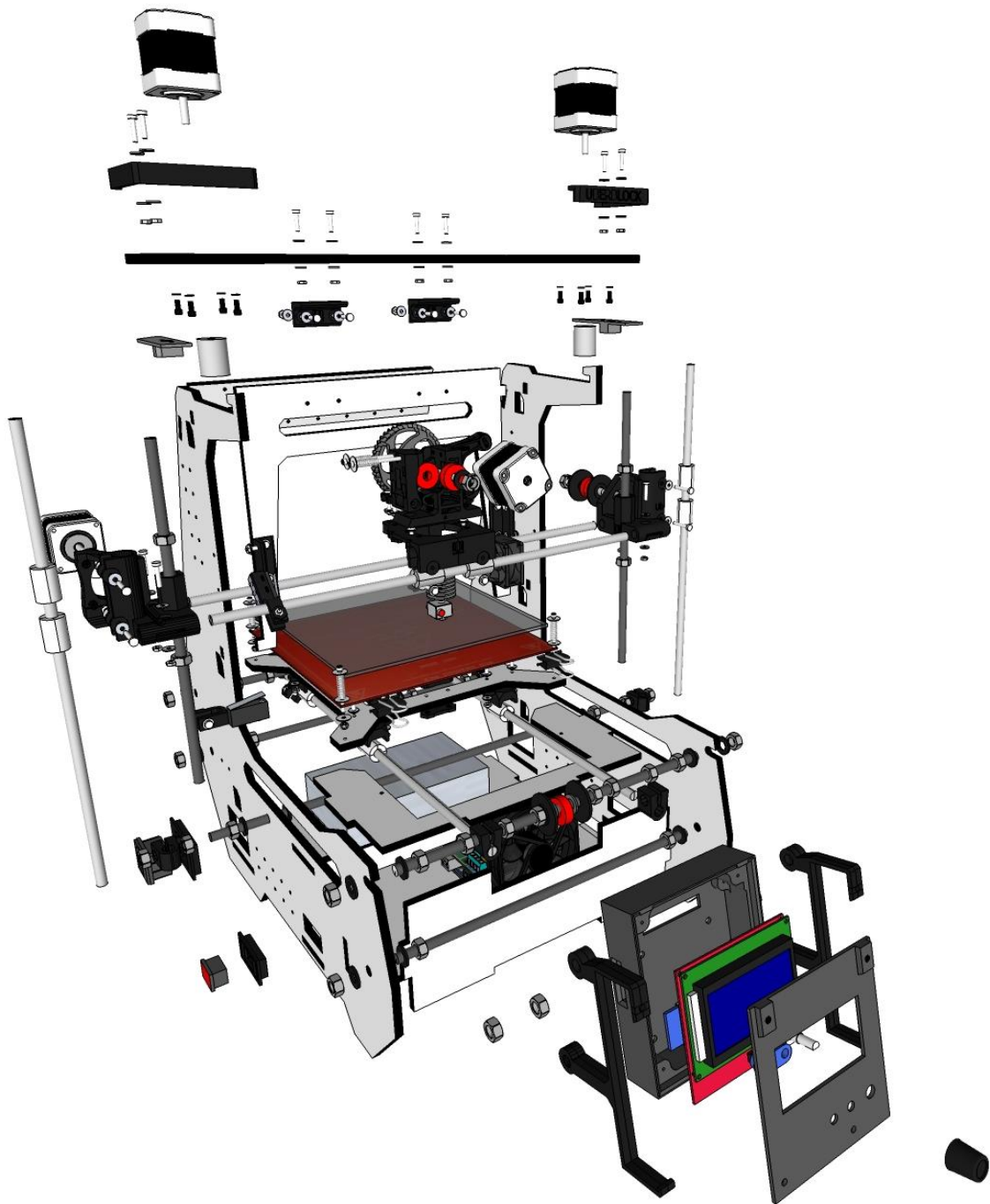


Ilustração 7 - Impressora 2.3, Perspectiva Explodida frontal, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016

A perspectiva explodida da ilustração 7 mostra todas as peças para a construção de uma impressora 3D e o seu posicionamento no conjunto. No interior da impressora é posicionado na parte posterior a fonte e na parte frontal a placa *Arduino* associada ao *shield ramps 1.4*. A tela LCD é locada próxima ao *Arduino* e à frente da máquina para facilitar o manuseio e a observação do dados apresentados.

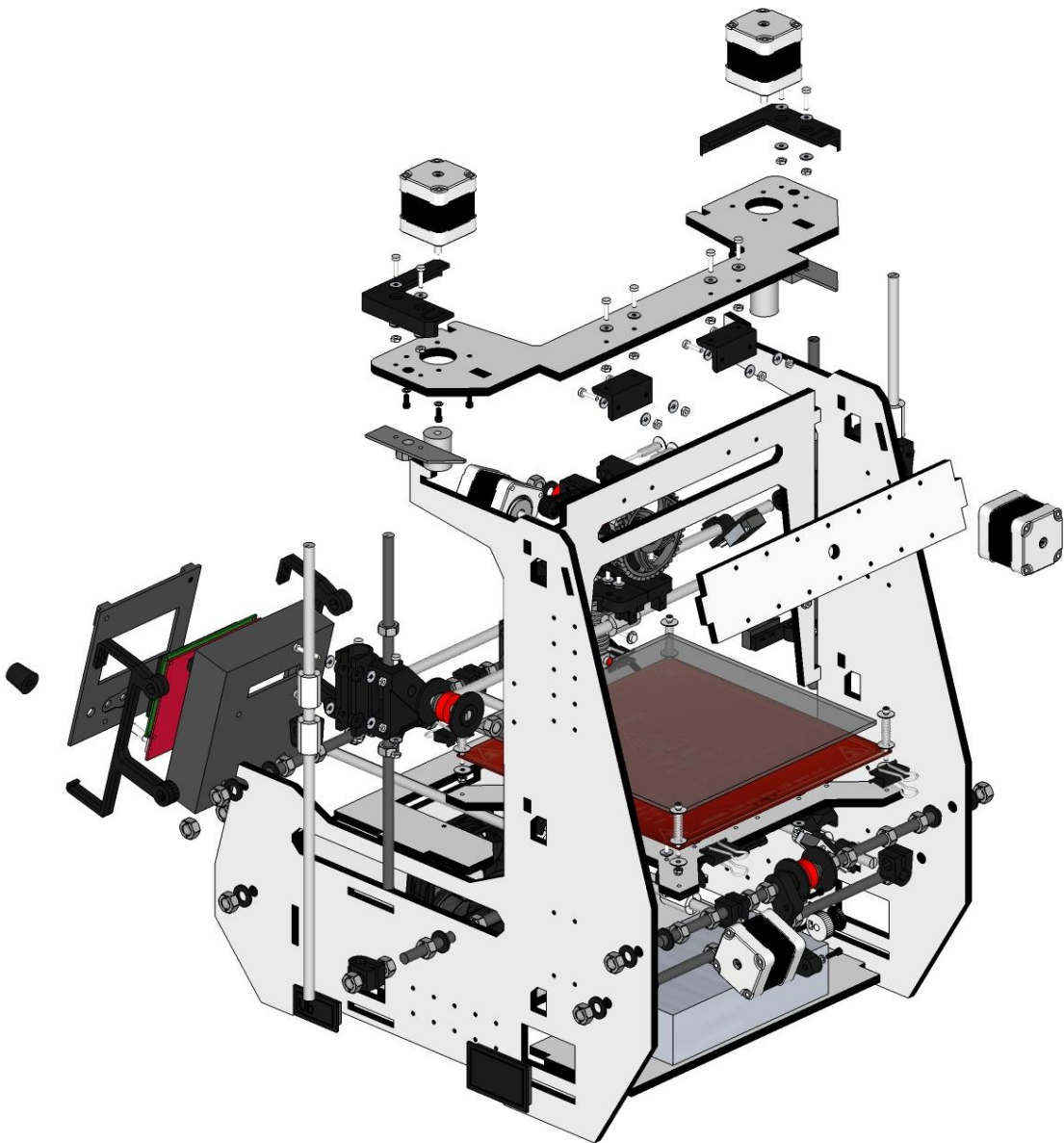


Ilustração 8 - Impressora 2.3, Perspectiva Explodida posterior, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016

A perspectiva explodida da ilustração 8 mostra a estrutura e os componentes da parte posterior da máquina. Na ilustração é possível observar a fonte chaveada presa por parafusos à base de madeira. O motor de passo responsável pelo movimento do eixo Y trabalha em conjunto a uma peça impressa fixada nas duas barras rosqueadas posteriores. Todo o conjunto é travado com o uso de porcas de 8 milímetros e arruelas impressas.

Estrutura: MDF cortado a *laser*

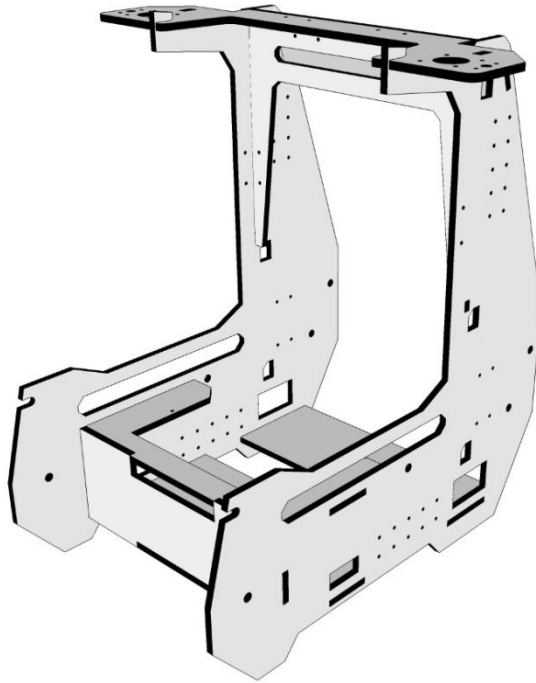


Ilustração 9 - Estrutura MDF Laminado Branco, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016

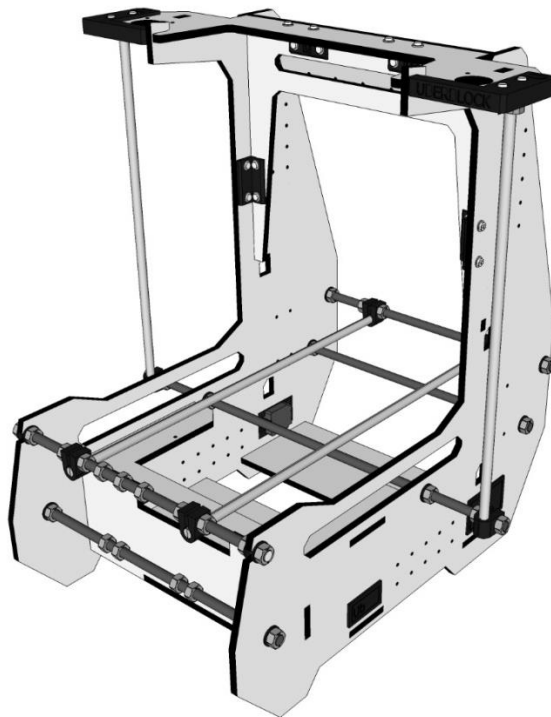


Ilustração 10 - Estrutura MDF Laminado Branco com barras rosqueadas e lisas, modelo RepRap - FAU/ UnB, 2016

Conjunto do Eixo X

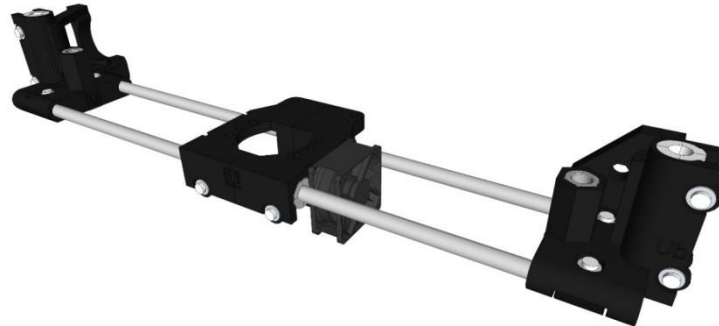


Ilustração 11 - Eixo X, peças impressas, rolamentos barras lisas, arruelas 8mm e parafusos e barras lisas, - FAU/ UnB, 2016

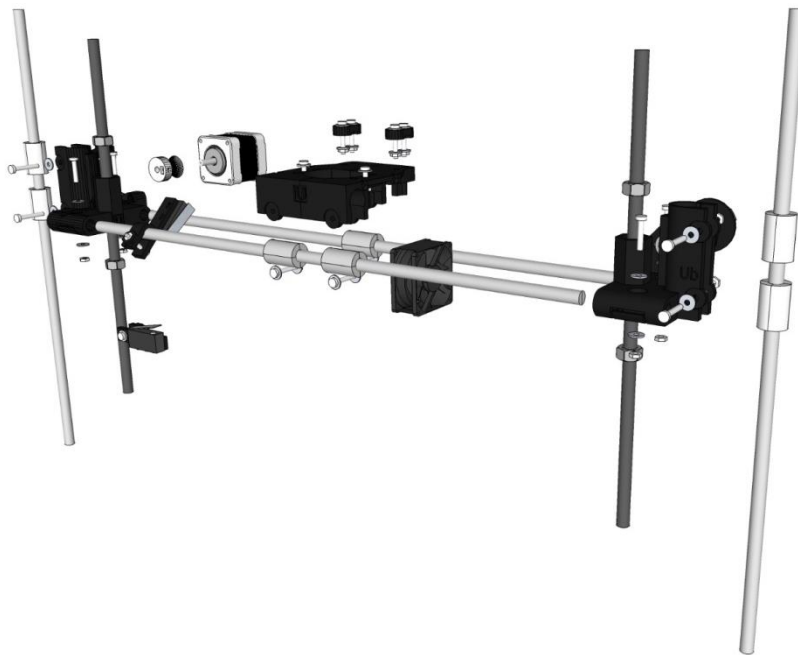


Ilustração 12 - Eixo X, peças impressas, rolamentos barras lisas, arruelas 8mm e parafuso, barras lisas e rosqueadas, FAU/ UnB, 2016

As ilustrações 11 e 12 demonstram a montagem do eixo X. O eixo é composto por peça impressa de suporte para motor na parte direita, motor de movimento da mesa do extrusor, peça impressa de suporte de rolamento na parte esquerda, correia dentada, duas barras rosqueadas posicionadas verticalmente, duas barras lisas verticais e duas barras lisas horizontais permitindo o movimento vertical do conjunto, carro de suporte impresso para posicionar o conjunto do extrusor.

O carro permite a passagem da fiação ligada ao extrusor aquecido e a fixação de um cooler de 4 centímetros. É aconselhável a utilização do cooler para evitar a condução do calor pelo filamento, diminuindo a possibilidade de entupimento do extrusor.

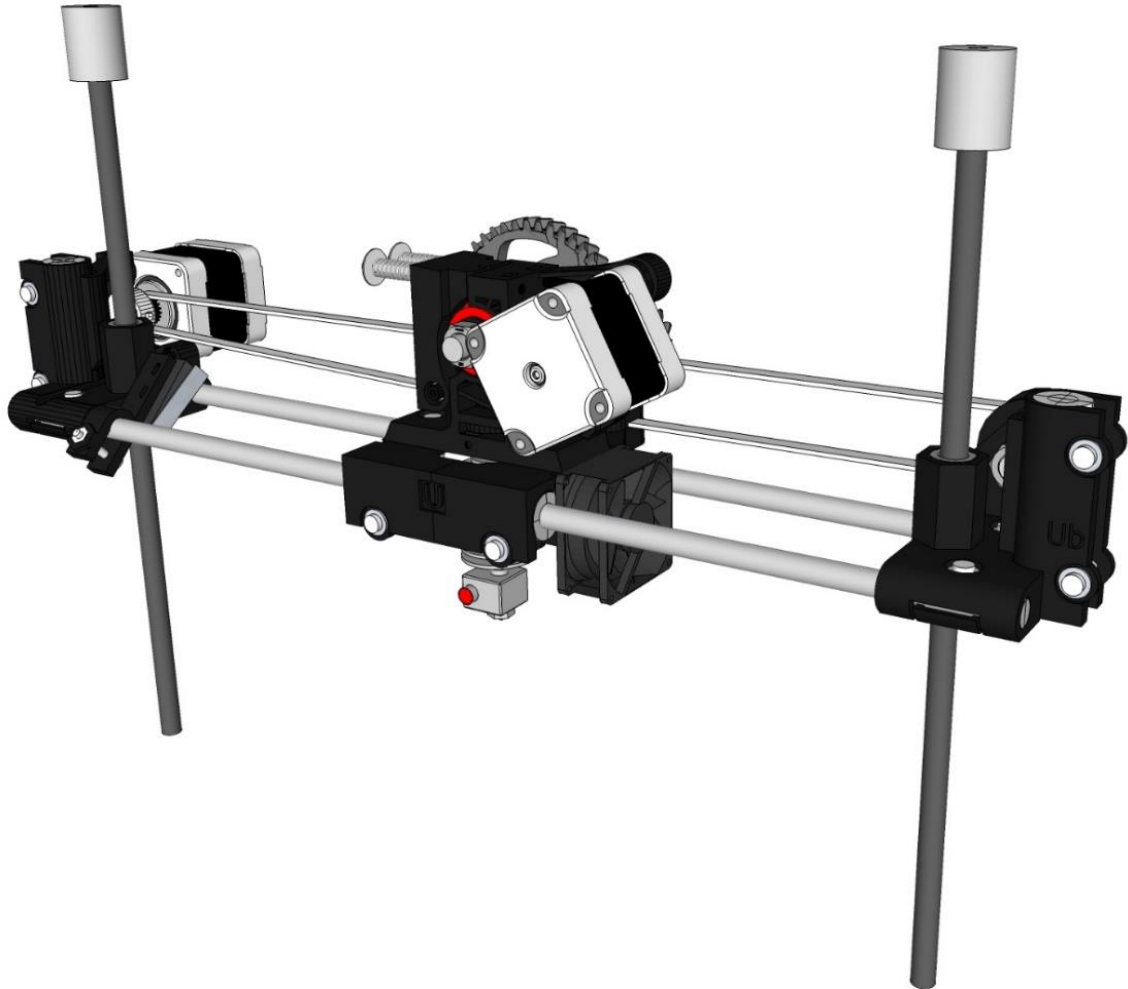


Ilustração 13 - Eixo X, conjunto completo - FAU/ UnB, 2016

O conjunto utiliza sete rolamentos lineares. Os rolamentos lineares permitem o movimento dos componentes através das barras lisas. É importante adquirir barras de qualidade. Existem no mercado barras de aço e alumínio. As barras de aço são resistentes mas podem sofrer com processo de oxidação ocasionando danos aos rolamentos e diminuição da qualidade no movimento dos eixos. Nos protótipos construídos no laboratório LFDC da Faculdade de Arquitetura e Urbanismos da Universidade de Brasília foram utilizadas barras lisas de alumínio para testar a viabilidade desse tipo de material. As barras de alumínio se mostraram efetivas. É necessário utilizar óleos lubrificantes em ambos os materiais e nos demais componentes móveis do equipamento.

Extrusor

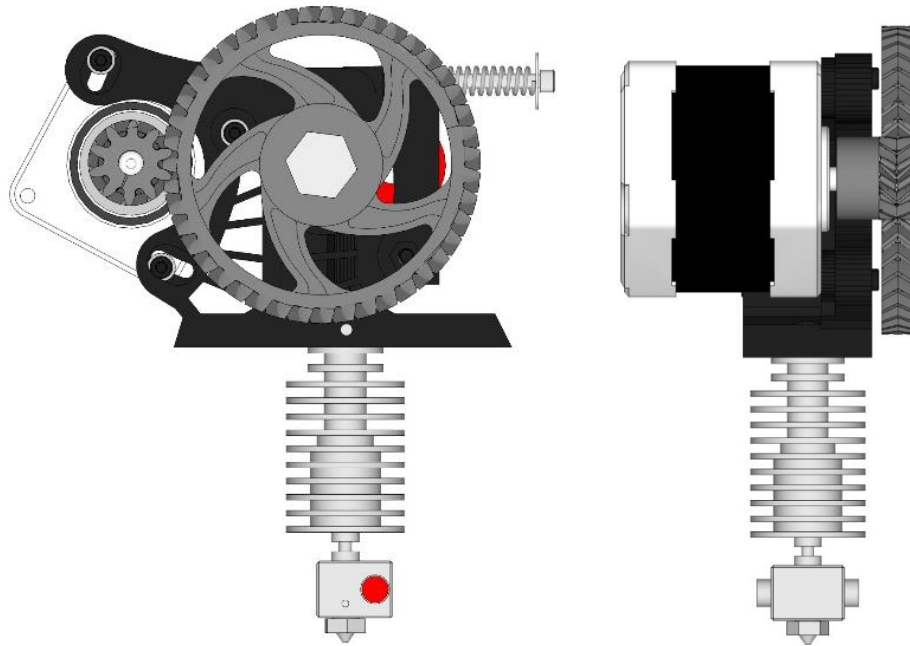


Ilustração 14 - Extrusor completo. Vistas frontal e lateral do motor de passo - FAU/ UnB, 2016

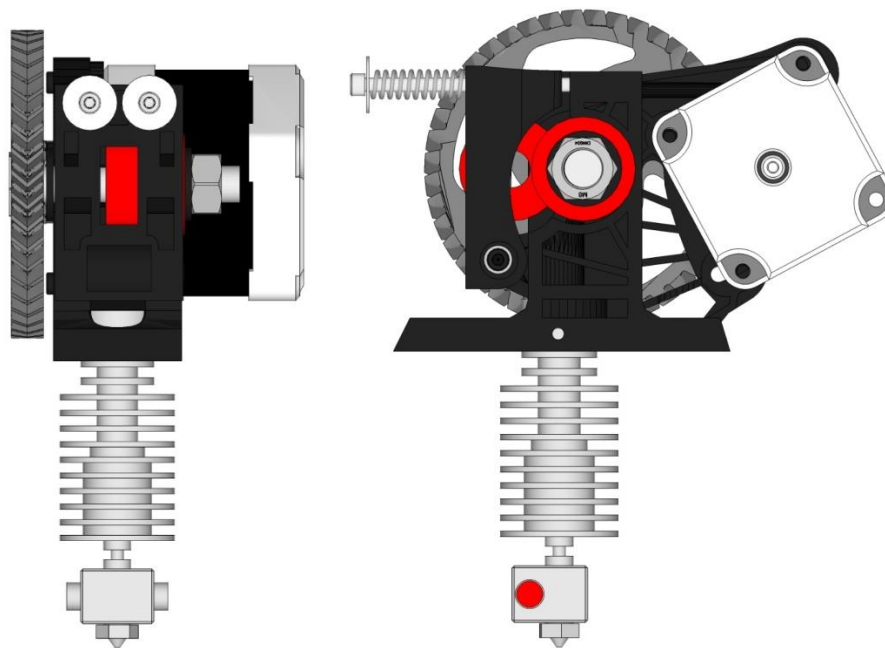


Ilustração 15 - Extrusor completo. Vistas lateral com peça para fixação do filamento e parafusos e Vista posterior com fixação da engrenagem com parafuso e arruela de 8mm - FAU/ UnB, 2016

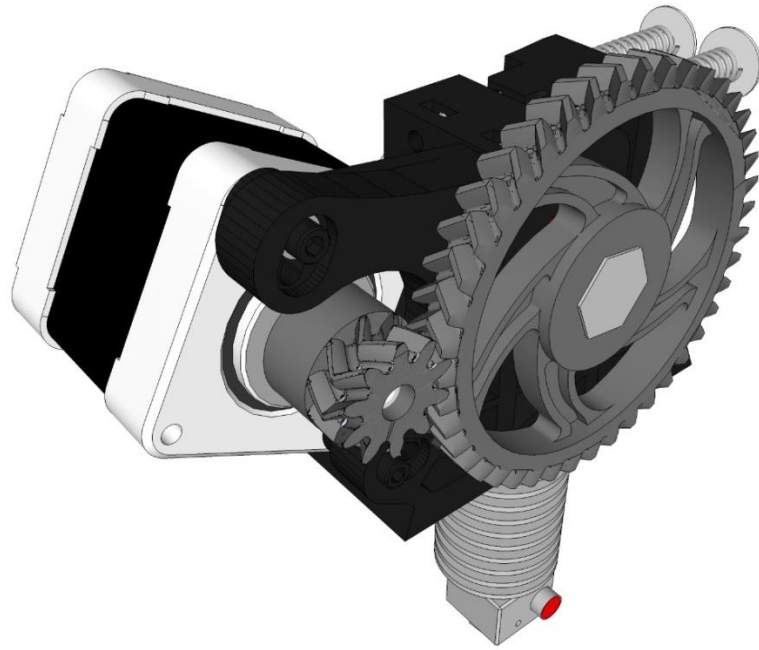


Ilustração 16 - - Extrusor completo. Perspectiva frontal - FAU/ UnB, 2016

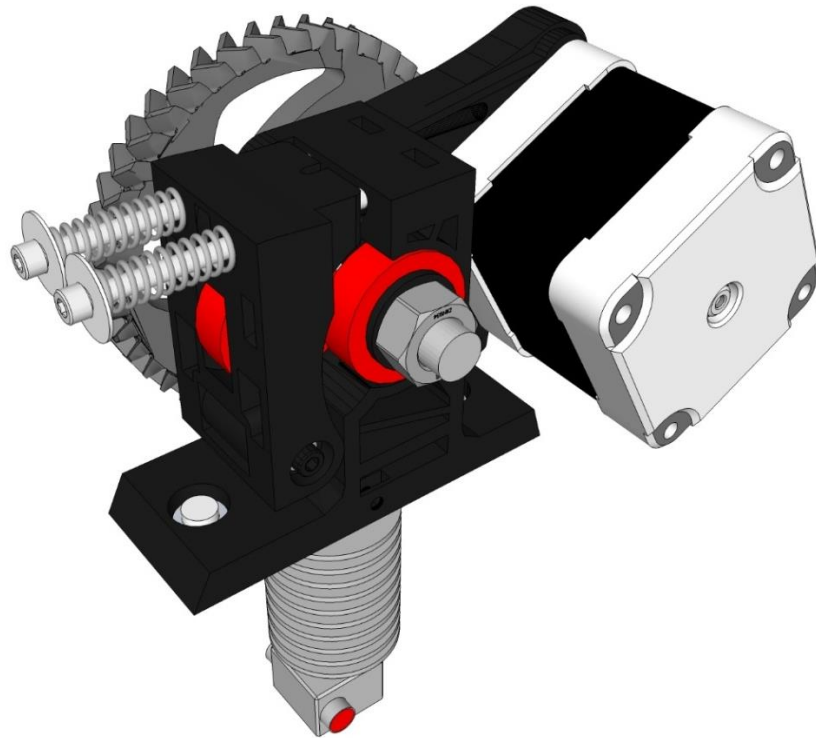


Ilustração 17 - - Extrusor completo. Perspectiva Posterior - FAU/ UnB, 2016

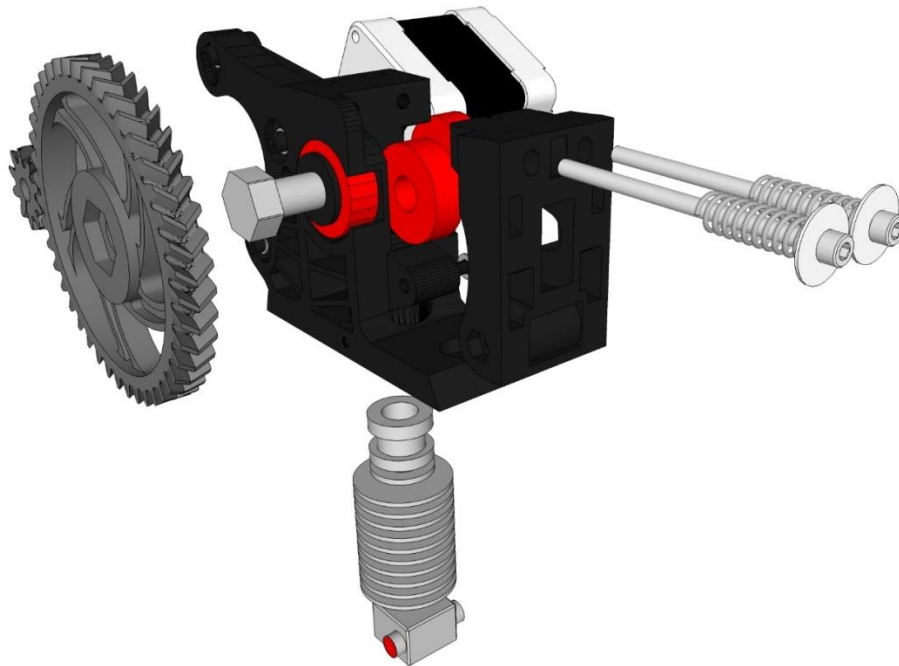


Ilustração 18 - Extrusor completo. Perspectiva frontal explodida - FAU/ UnB, 2016

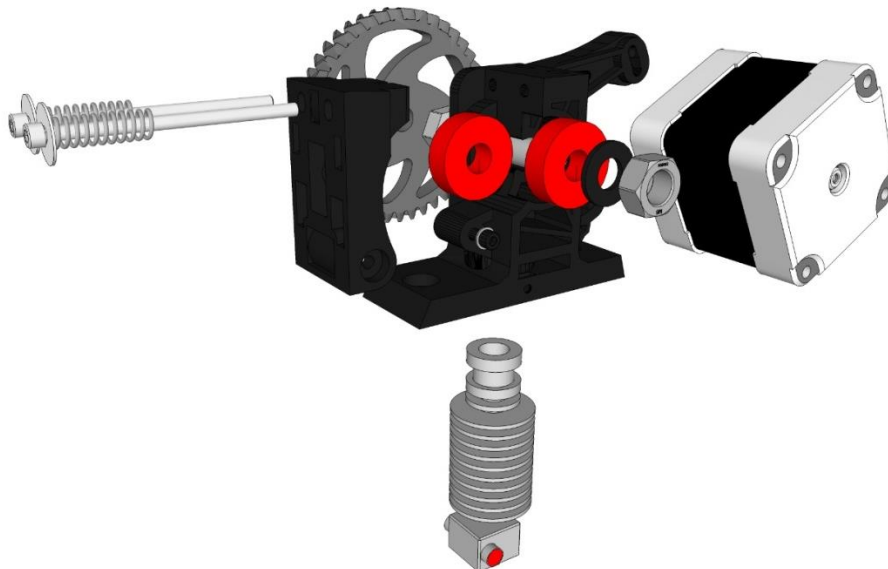


Ilustração 19 - Extrusor completo. Perspectiva Posterior explodida - FAU/ UnB, 2016

O conjunto do extrusor é composto pelo corpo impresso, peça de fixação do filamento plástico, engrenagens impressas e rolamentos. O extrusor não foi modificado para o projeto devido a grande variedade de modelos diferentes disponíveis para *download*.

Mesa Aquecida

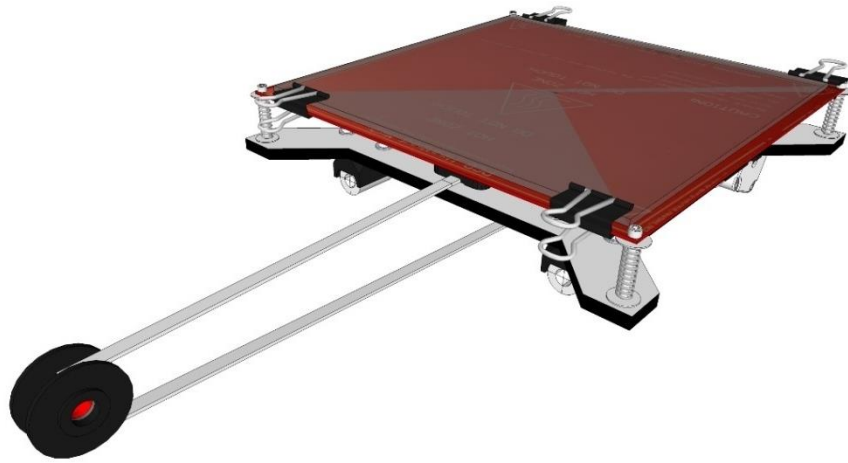


Ilustração 20 - -Mesa aquecida completa - FAU/ UnB, 2016



Ilustração 21 - Mesa aquecida - FAU/ UnB, 2016

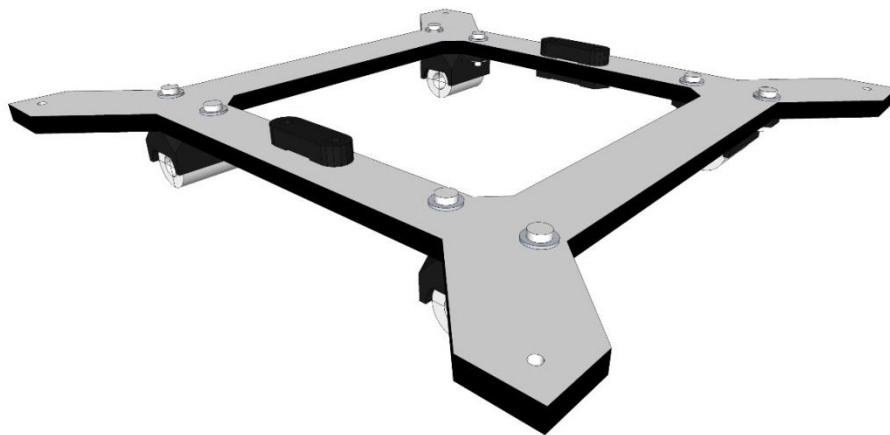


Ilustração 22 - Estrutura de suporte para Mesa aquecida, MDF branco executado com corte à laser - FAU/ UnB, 2016

Na ilustração 20 é mostrado o conjunto da mesa aquecida completamente montado. As ilustrações de 21 a 24 demonstram a montagem do conjunto.

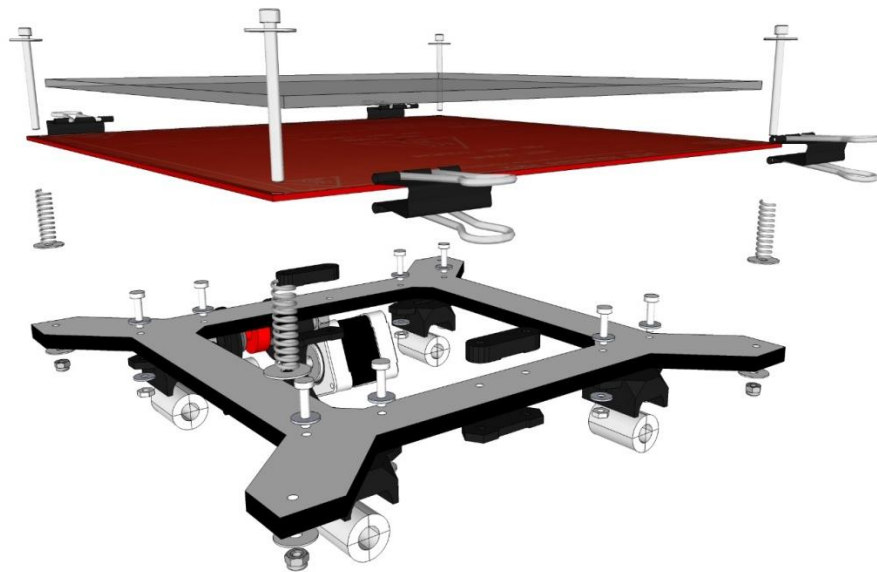


Ilustração 23 - Mesa aquecida. Perspectiva explodida frontal - FAU/ UnB, 2016

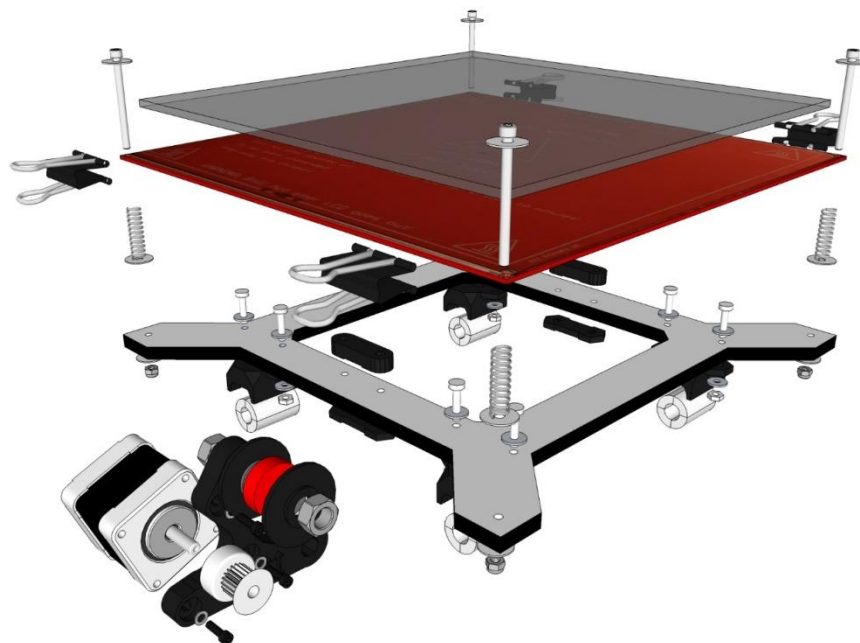


Ilustração 24 - Mesa aquecida. Perspectiva explodida Posterior - FAU/ UnB, 2016

O conjunto é composto por motor de passo, peças impressas para a fixação de 4 rolamentos lineares, peça impressa para suporte do motor, correia dentada, peças impressas para fixação de correia dentada e suporte de MDF cortado a *laser*. É importante ressaltar a necessidade de utilização de uma placa de vidro sobre a mesa aquecida. A placa de vidro ajuda no manuseio dos modelos impressos e evita danos a mesa aquecida por problemas relacionados a calibragem da máquina.

Tela LCD

A tela de LCD é um componente utilizado para melhoria das impressoras 3D. Todavia, não é indispensável ou funcionamento das máquinas. É possível encontrar impressoras 3D *RepRap* que funcionam sem as telas, apenas utilizando o computador para gerenciar o funcionamento da máquina.

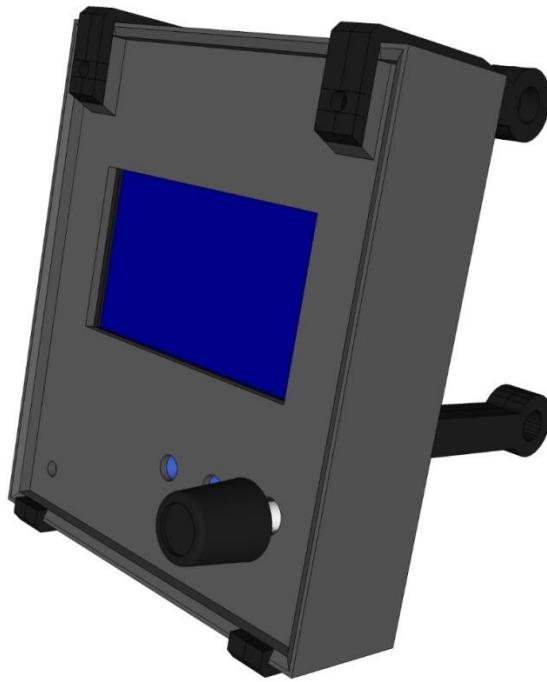


Ilustração 25 - Tela LCD com caixa impressa, conjunto completo - FAU/ UnB, 2016

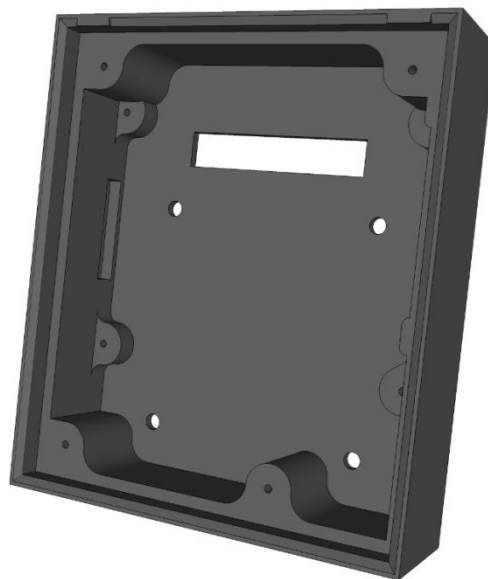


Ilustração 26 - Caixa impressa para posicionamento do tela LDC - FAU/ UnB, 2016

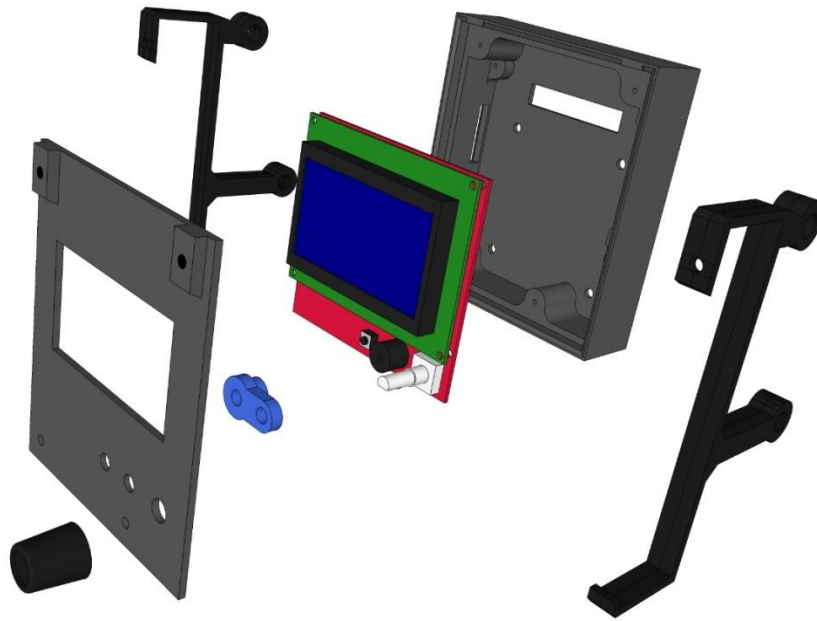


Ilustração 27 - Perspectiva explodida para montagem do conjunto da tela LDC - FAU/ UnB, 2016

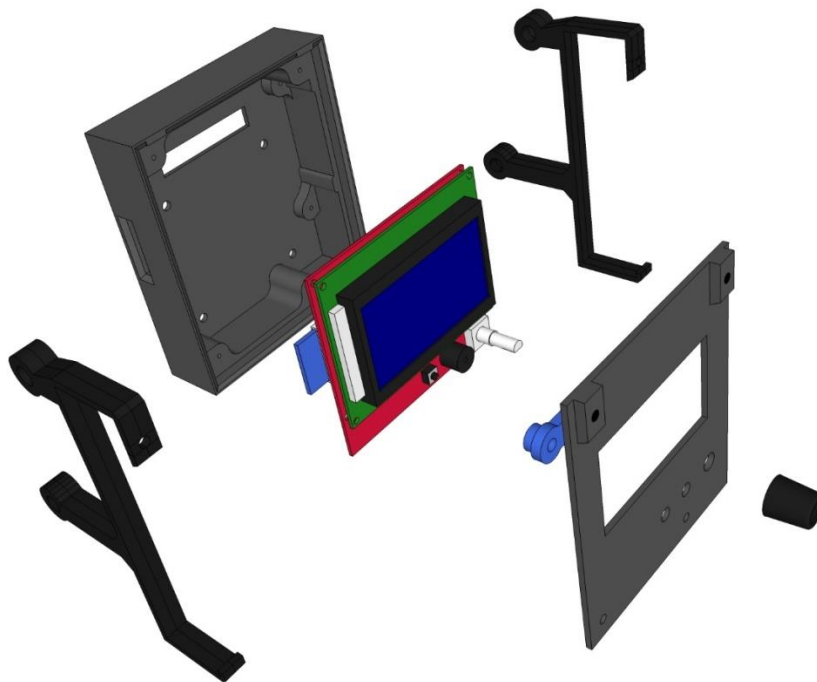


Ilustração 28 - Perspectiva explodida para montagem do conjunto da tela LDC - FAU/ UnB, 2016

A pesar de não ser essencial para o funcionamento da impressora 3D, a tela LCD pode auxiliar na utilização do equipamento. A tela permite movimentar os eixos e gerenciar a impressão com cartões SD. A caixa da tela LCD foi projetada especificamente para o projeto da impressora FAU/UnB. Contudo, existem diversos modelos disponíveis para *download* e podem ser modificados para se adequar ao projeto apresentado.

Posicionamento da Eletrônica na estrutura.

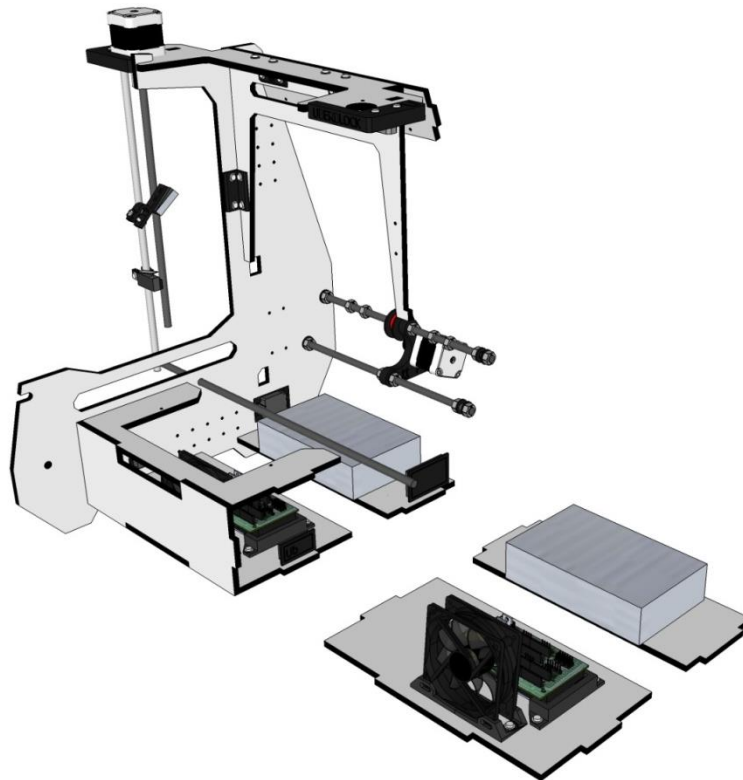


Ilustração 29 - Posicionamento da eletrônica na estrutura - FAU/ UnB, 2016

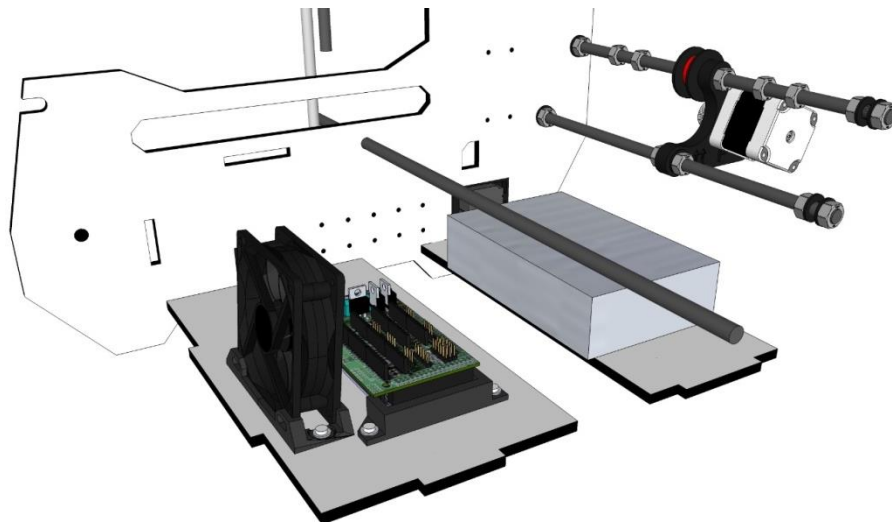


Ilustração 30 - Posicionamento da eletrônica na estrutura - FAU/ UnB, 2016

A estrutura foi projetada para permitir o posicionamento da eletrônica na parte interna do equipamento, diferente de outros modelos de impressoras *RepRap* disponíveis para *download*. O posicionamento interno foi definido para evitar acidentes devido a possibilidade de toque

humano indesejados no momento da impressão e permitir uma vida útil mais longa para a impressora.

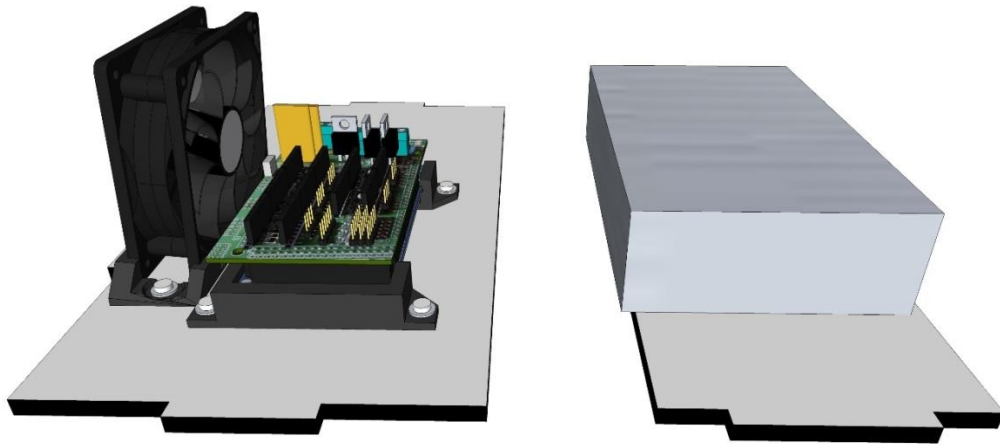


Ilustração 31 - Posicionamento da eletrônica na estrutura peças de suporte em MDF cortado à laser - FAU/UnB, 2016

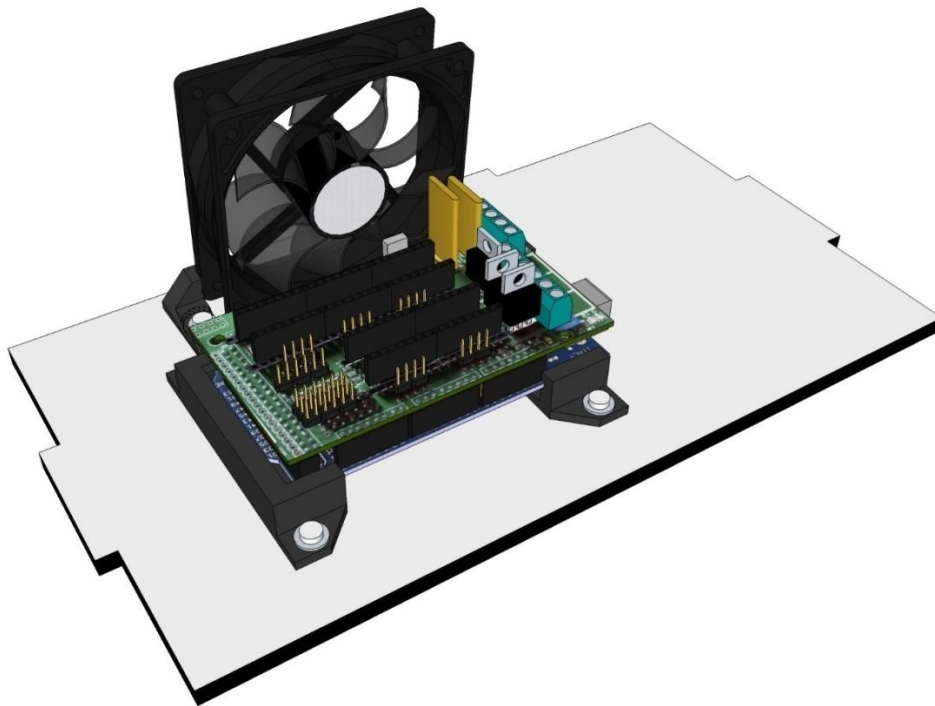


Ilustração 32 - Posicionamento da placa mãe com peças impressas - FAU/UnB, 2016

A placa mãe *Arduino* foi posicionada na parte frontal para permitir a ligação com a tela LCD. É importante ressaltar a importância de utilizar um *cooler* potente para resfriar o *Arduino* e o *Shield*. Nos testes de impressão e desempenhos das máquinas construídas na FAU/UnB observou-se o aquecimento indesejado do *Shield Ramps 1.4* danificando a peça mas não o *Arduino*. O cooler indicado para resolver esse incômodo é o de 10 centímetros por 10

centímetros de medidas. A placa mãe e o *cooler* são fixados na base de MDF com peças impressas desenhadas para posicionar o conjunto lado a lado.

Anexo 03

Manual do Usuário.

É necessário utilizar a impressora 3D com responsabilidade e cuidado. A máquina não é completamente automática, sendo necessário a utilização de *software* específico para definição do arquivo para impressão, minimizando problemas durante o uso. A programação criada para a placa *Arduino* deve ser cuidadosamente definida, melhorando o desempenho da máquina. Existem disponíveis na Internet programações prontas para o uso em projetos de impressoras 3D e outros projetos para *Arduino*. Entretanto, os códigos disponibilizados precisam ser revisados e testados para o completo funcionamento das impressoras. Nas máquinas construídas no laboratório LFDC, na FAU;UnB observou-se o problema com códigos baixados de desenvolvedores livres. Portanto, é indicado ao aluno ou construtor pesquisar como são desenvolvidos os programas criados para as placas *Arduino*.

Calibrando a impressora

Antes de iniciar qualquer impressão com uma impressora *RepRap* é importante calibrar a impressora para garantir a máxima qualidade e evitar erros de impressão.

A impressora *RepRap* é construída utilizando uma estrutura em madeira MDF e barras rosqueadas de 5/16 polegadas ou 8 milímetros de diâmetro. O conjunto é travado utilizando roscas e porcas compatíveis com as barras de 8 milímetros e cantoneiras impressas presas com parafusos de 3 milímetros de diâmetro. O movimento dos eixos pode afrouxar as porcas e parafusos. O afrouxamento dos parafusos pode prejudicar a impressão por permitir uma vibração irregular da máquina. É prudente verificar se todas as porcas e parafusos estão bem apertados antes de iniciar qualquer impressão.

A impressora possui três eixos, similar aos modeladores tridimensionais virtuais, eixos "X", "Y" e "Z". O eixo "Y" move a mesa aquecida para frente e para trás. O Eixo "X" movimenta o extrusor e o *hotend* para a esquerda e para a direita. A soma do movimento dos dois eixos permite a produção de qualquer desenhos bidimensional com até vinte centímetros de base.

Os eixos "X" e "Y" são movimentados por motores de passo associados a correias dentadas presas ao carro da mesa aquecida. Para garantir a maior qualidade do modelo impresso as

correias devem estar tracionadas. Correias frouxas diminuem a qualidade da impressão ao até mesmo impedem o funcionamento da máquina. Portanto, antes de imprimir um modelo importante, com várias horas de impressão, verifique se as correias não estão frouxas ou fora de prumo.

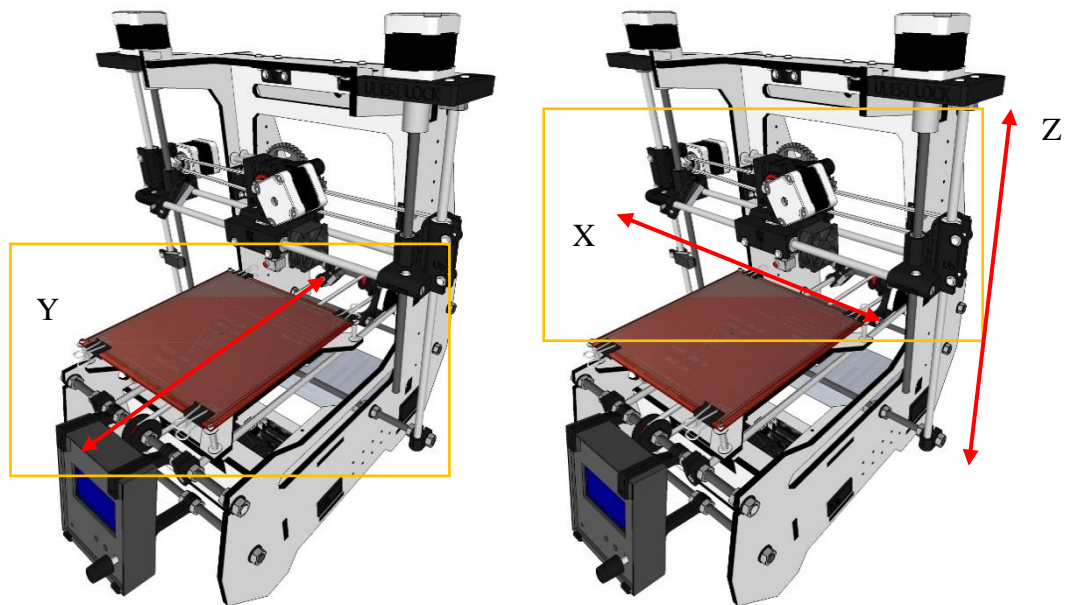


Ilustração 33 - Posicionamento da placa mãe com peças impressas - FAU/ UnB, 2016

***EndStops* ou chave de fim de curso**

Os *endstops* ou chave de fim de curso são interruptores que possibilitam a identificação da origem dos eixos. Semelhante aos modeladores virtuais com referenciais zero, zero, zero para os três eixos utilizados na modelagem virtual. A impressora 3D inicia seus movimentos zerando os eixos. Cada eixo possui um *endstop*.

Os *endstops* na impressora *RepRap* são fixados às barras lisas por peças impressas e devem ser posicionadas manualmente permitindo calibragem dos eixos. É importante verificar o posicionamento dos *endstops* e zerar os eixos para evitar colisões indesejadas dos eixos com as extremidades da impressora.

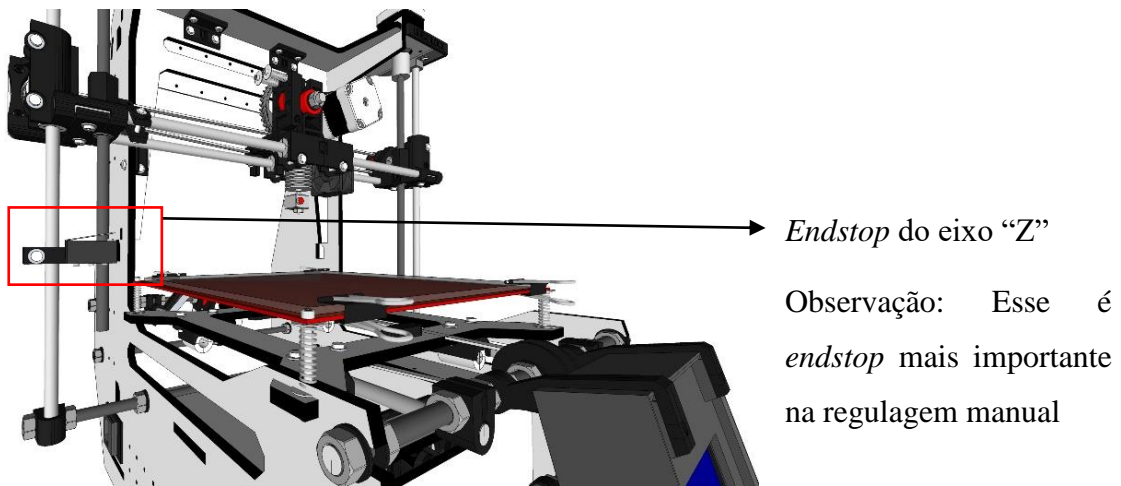


Ilustração 34 - Chave de fim de curso ou Endstop do eixo Z- FAU/ UnB, 2016

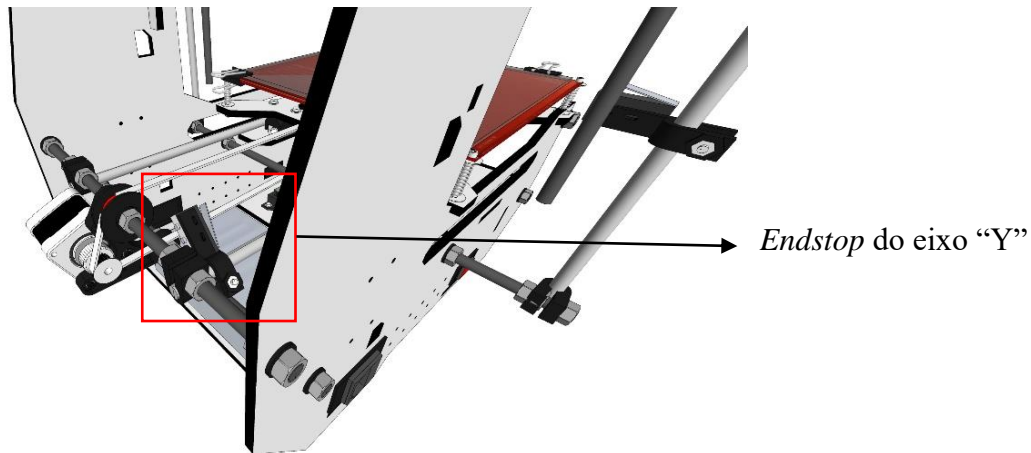


Ilustração 35 - Chave de fim de curso ou Endstop do eixo Z- FAU/ UnB, 2016

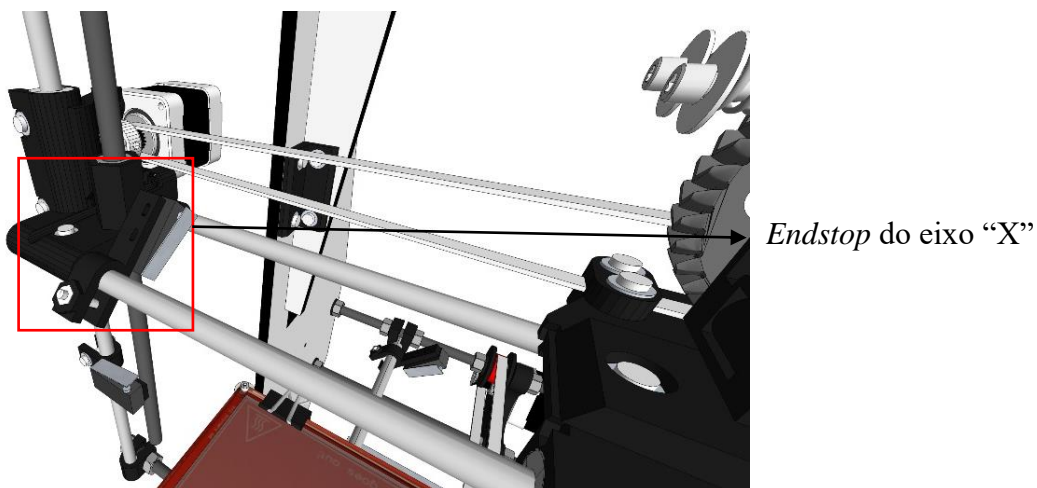


Ilustração 36 - Chave de fim de curso ou Endstop do eixo X- FAU/ UnB, 2016

O posicionamento correto dos *endsotps* permite fazer testes de movimento e zerar os eixos da impressora para iniciar impressões.

Calibrando os programas

A impressão 3D é gerenciada por extensões de arquivos específicos para esse tipo de trabalho. O primeiro passo é desenvolver um arquivo tridimensional, esse processo pode ser efetuado com diversos tipos de modeladores 3D. Com o modelo pronto é necessário salvar a maquete virtual em formato .STL. O formato .STL foi desenvolvido especificamente para o uso de programas que coordenam impressoras 3D. A popularização das impressoras impulsionou o desenvolvimento de *softwares* para impressão 3D ou a adaptação de programas de modelagem virtual existentes para salvarem os arquivos em formato .STL ou compatíveis para impressão 3D. Portanto, verifique se o programa escolhido para desenvolver a proposta está atualizado para esse tipo de função.

Para iniciar uma impressão 3D é necessário fatiar o arquivo .STL gerando inúmeras camadas. O processo de fatiamento gera um arquivo denominado *G.code*. Essa denominação de linguagem de programação é específica para comandar máquinas de corte numérico computadorizado (CNC) e impressoras 3D.

Repertier Host

O *Repertier Host* é um programa fornecido gratuitamente por seus criadores e pode ser utilizado para gerenciar a impressão de modelos para impressão.

O *Repertier Host* pode ser baixado no site: <https://www.repetier.com/>

Funcionando a impressora

O primeiro passo é conectar a impressora ao computador utilizando o cabo USB. Verifique se as luzes da placa mãe se acendem.

Depois ligue a máquina à fonte de energia. É recomendado utilizar um filtro de linha ou mesmo um *Nobreak* para evitar descargas ou picos de energia indesejados durante o processo de impressão. Contudo, se não for possível utilizar alguns desses aparelhos, a impressora pode ser ligada diretamente na rede de energia, pois a máquina possui uma fonte chaveada incorporada à sua estrutura.

Para que o computador reconheça a máquina com sucesso é interessante instalar antes do *Repertier Host*, o *driver CP210x* para definir portas virtuais. Esse *driver* pode ser baixado no link:

<http://www.silabs.com/products/mcu/pages/usbtouartbridgevcpcdrivers.aspx>.

Com o *Driver CP210x* baixado e instalado é necessário configurar a porta USB. Esse procedimento é executado no painel de controle.

Passos para configuração da porta USB: Painel de Controle > Gerenciador de dispositivos > Conecte a máquina ao computador e aguarde aparecer uma nova porta no gerenciador de dispositivos > aguarde o computador instalar o dispositivo > anote o nome da entrada virtual utilizada pelo computador para fazer a comunicação entre os dispositivos. > ainda no gerenciador de dispositivos, selecione a nova porta com o botão direito do mouse e vá em propriedades > na janela propriedades selecione a velocidade de 15200 para a transição de informação. > não modifique os outros campos de comando.

Com a porta configurada instale o programa *Repetier Host* e conecte a impressora.

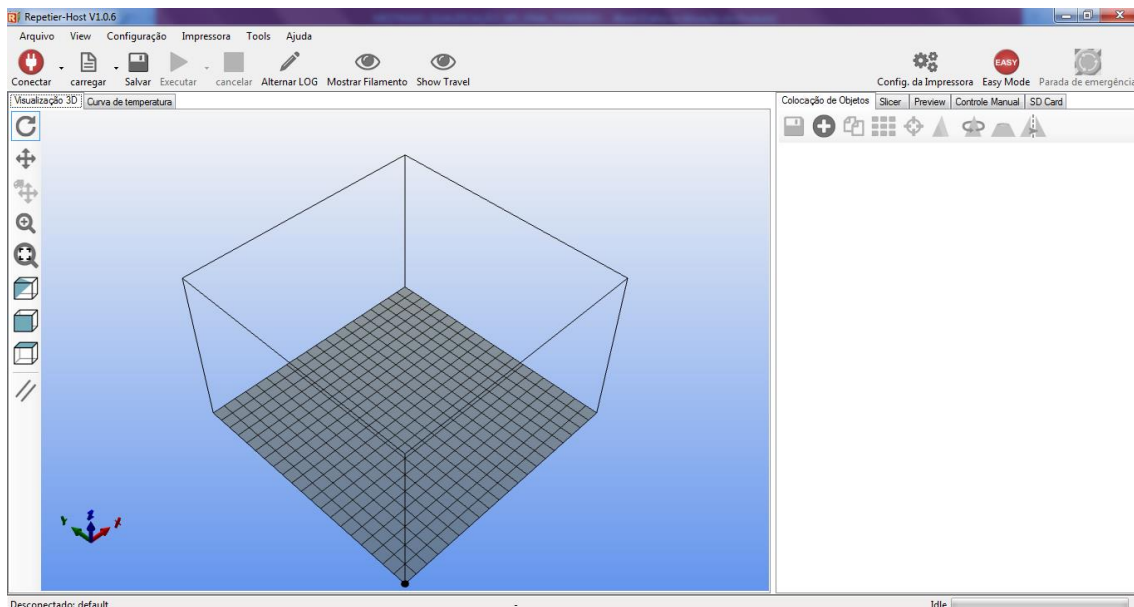


Ilustração 37 - Menu para configuração do programa Repetier Host

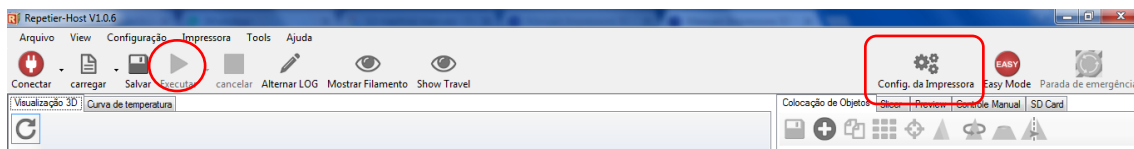


Ilustração 38 - Menu para dar início a impressão e configuração do programa Repetier Host

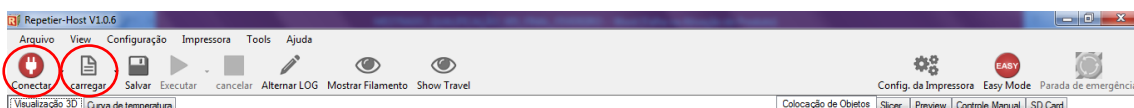
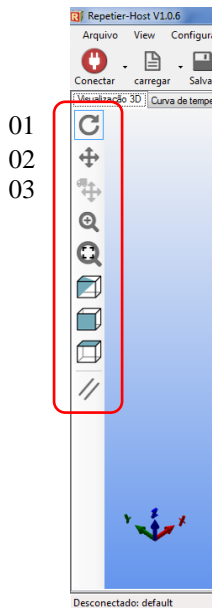


Ilustração 39 - Menu conectar a impressora ao programa e carregar arquivos no Repetier Host

Na Ilustração 39 são apresentados dois ícones. O primeiro é o ícone “Conectar”, esse ícone permite fazer a conexão da impressora 3D ao programa. Caso não funcione de primeira é preciso configurar a porta USB.

O ícone carregar permite subir para o programa arquivos .STL ou G.code para serem visualizados no programa *Repertier Host*. Faça um teste e Verifique como os dois modelos aparecem na tela quando são inseridos.



Os ícones apresentados na imagem da esquerda servem para visualizar o modelo trabalhado.

- 01: Permite Girar o modelo para visualização em 360°;

- 02: Permite mover o modelo na tela, comando semelhante ao *PAN* de programas cad;

- 03: Permite mover o modelo na área de impressão. O usuário pode definir o local onde o modelo será impresso na mesa aquecida;

Ilustração 40 - Menus para visualizar e movimentar os arquivos na área de impressão. p programa Repertier Host

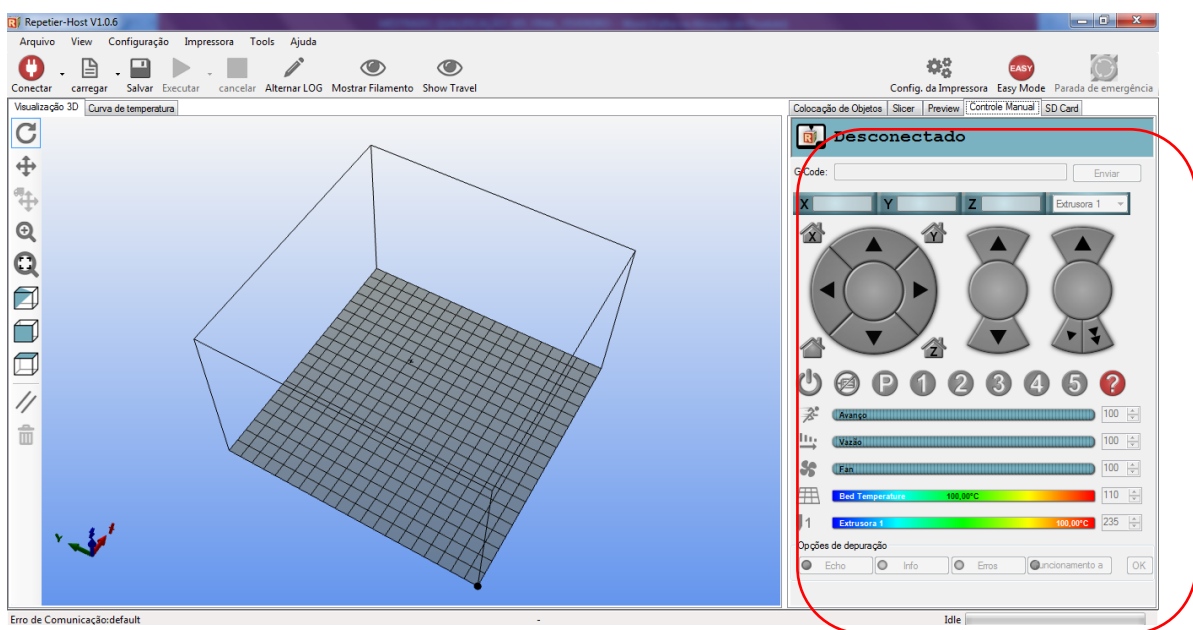


Ilustração 41 - Comandos virtuais para movimentação da impressora, definição de temperatura da mesa aquecida e hotend e controle de cooler para resfriamento do corpo do extrusor. Programa Repertier Host

A ilustração 41 mostra o controle virtual do programa, com ele é possível movimentar a impressora, aquecer a mesa e o *hotend*, ligar ventiladores, acionar o motor do extrusor e desligar os motores sem desligar a máquina. O controle virtual auxilia na calibragem da máquina antes do início de uma impressão.

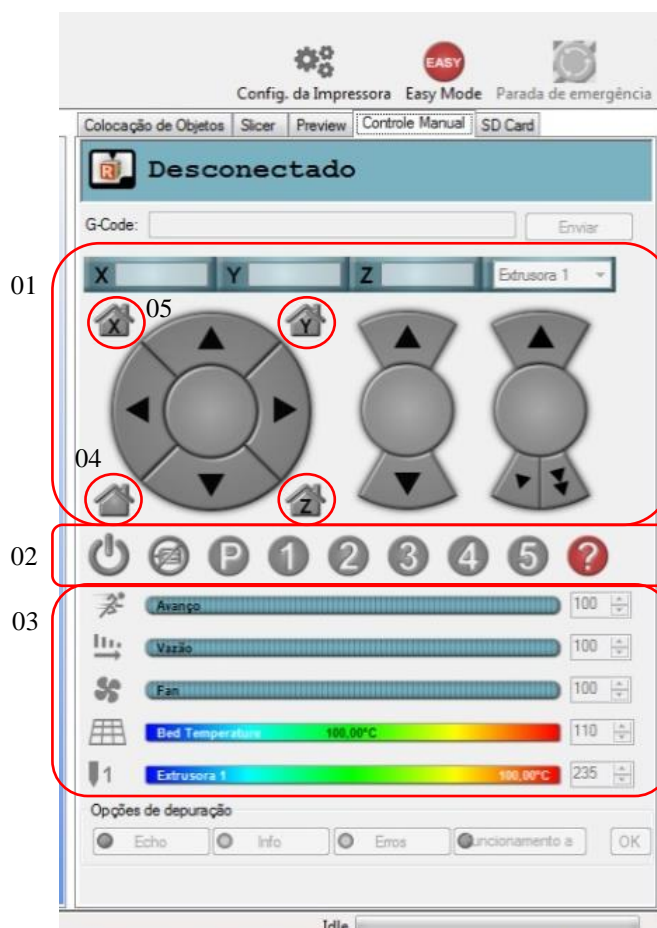


Ilustração 42 - Comandos virtuais para movimentação da impressora, definição de temperatura da mesa aquecida e hotend e controle de cooler para resfriamento do corpo do extrusor. Programa Repertier Host

- 01: Controladores dos eixos da impressora e do extrusor;
- 02: Liga/ Desliga a impressora e os motores;
- 03: Coordena o funcionamento da ventoinha, da mesa aquecida e do *hotend*. Possui indicadores de temperatura e velocidade;
- 04: O símbolo da casinha é o ícone responsável por zerar os eixos. A casinha sem letras zera os três eixos com único comando.
- 05: A casinha com letras zero o eixo respectivo ao eixo representado pela letra. Eixos X, Y ou Z.