



**Giordano Becker Delevatti**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D DO TIPO REP RAP**

**Horizontina**

**2013**

**Giordano Becker Delevatti**

**DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D DO TIPO REP RAP**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

**ORIENTADOR: Fabrício Desbessel, Especialista**

**Horizontina**

**2013**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTALINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**DESENVOLVIMENTO DE UMA IMPRESSORA 3D DO TIPO REP RAP**

Elaborada por:

**Giordano Becker Delevatti**

Como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em

Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 05/12/2013  
Pela Comissão Examinadora**

---

**Prof. Esp. Fabrício Desbessel  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

---

**Prof. Dr. Richard Thomas Lermen  
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

---

**Prof. Esp. Felipe Dal Piva Ely  
FAHOR – Faculdade Horizontalina**

**Horizontalina**

**2013**

## **DEDICATÓRIA**

Dedico este trabalho a minha família, Adegar, Anália e ao meu irmão Wendel, por estes que me ensinaram o valor fundamental da simplicidade e serviram de alicerce para minha conquista.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a minha esposa Josiele pelo companheirismo, amor e por sempre me incentivar para a realização dos meus ideais, encorajar-me a enfrentar todos os momentos difíceis da vida.

Ao meu professor Fabricio, pelo empenho nas atividades, pelas horas dedicadas na minha orientação e a paciência no ensinamento para ampliar os meus conhecimentos.

A todos os professores da FAHOR que passaram pela minha vida acadêmica e contribuíram para meu aprendizado, em especial, ao grande amigo e mestre Ricardo Severo que não está mais presente entre nós.

Aos grandes amigos e colegas que, de alguma forma, estiveram comigo durante toda a faculdade, em especial Cristian, Fernando, Matheus, André, Rafael, Evandro, Luan, João, Luciano e Renan, pessoas estas que me auxiliaram nos estudos durante toda minha caminhada.

## RESUMO

Atualmente se nota uma grande demanda por máquinas e ferramentas compactas e acessíveis, capazes de gerar formas tridimensionais e nesse conceito, uma das tecnologias mais importantes, é a capacidade de modelagem 3D.

Em busca de maximizar os requisitos identificados, apresentou-se um projeto consistente, com capacidade e conceito superior ao que apresenta a tecnologia REP RAP. Onde teve como principal objetivo o desenvolvimento um novo protótipo de impressora 3D do tipo Rep Rap, através da melhoria contínua aplicada sobre um modelo já existente e outros modelos encontrados no mercado. Ao longo deste trabalho foram mostrados referenciais que descreveram detalhes do processo de prototipagem e modelagem tridimensional, assim como metodologia utilizada para a realização do projeto, a qual foi aplicada a fim de se obter a concepção final do produto.

Para auxílio na obtenção dos resultados, foram aplicadas as ferramentas que melhor se adaptaram as necessidades dos clientes, tendo como exemplo o “Diagrama de Mudge” e a “Casa da Qualidade”. Os estudos e análises realizados em cada etapa do projeto foram avaliados com um propósito de se obter um alinhamento entre as fases. Assim tendo como resultado uma impressora 3D que, de acordo com o seu conceito, comprova a qualidade e capacidade de impressão superior à tecnologia existente.

**Palavras-chave:** Impressão 3D, Prototipagem, Modelagem.

## **ABSTRACT**

Currently there is a clear demand for large machines and tools compact and affordable, capable of generating three-dimensional shapes, and this concept of the most important technologies is the ability to 3D modeling. Looking to maximize the identified requirements, presented a project consistent with the capacity and superior concept that features technology REP RAP. The project aimed to develop a new prototype 3D printer type Rep Rap, through continuous improvement applied over an existing model and other models found in the market. Throughout the project were shown references that described details of the prototyping process and dimensional modeling, as well as the methodology used for the realization of the project, which was applied in order to obtain the final design product.

To aid in achieving the results we applied the tools that are best adapted to the needs of customers, taking as an example the diagram Mudge and the House of Quality. The studies and analyzes conducted at each stage of the project were evaluated with a view to obtain an alignment between the phases. Thus resulting in a 3D printer, which according to its concept, proves the quality and printability than the existing technology.

**Keywords:** 3D Printing, Prototyping, Modeling.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Funcionamento impressora 3D. ....	15
Figura 2: Principais etapas do processo de manufatura por camada.....	16
Figura 3: Modelagem Geométrica: Representação e Manipulação de objetos Geométricos Utilizando o Computador.....	19
Figura 4: Processo de Impressão Tridimensional. ....	20
Figura 5: Esquema do processo FDM- <i>Stratasys</i> - Desenvolvimento de Processos de Prototipagem Rápida via Modelagem por deposição de formas livres sob temperatura ambiente. ....	21
Figura 6: Características da Prototipagem Rápida no Brasil.....	22
Figura 7: Materiais usados pela prototipagem rápida.....	23
Figura 8: Esquema de Funcionamento da FDM .....	24
Figura 9: Modelo do processo de Projeto.....	27
Figura 10: Esquema de construção da Matriz da Casa da Qualidade .....	31
Figura 11: Diagrama de Mudge.....	40
Figura 12: QFD (Casa da qualidade). ....	41
Figura 13: Função Global da Impressora 3D.....	45
Figura 14: Estrutura funcional simplificada.....	46
Figura 15: Estrutura funcional I. ....	46
Figura 16: Estrutura funcional II . ....	47
Figura 17: Concepções alternativas. ....	51
Figura 18: Concepções alternativas. ....	52
Figura 19: Esboço da concepção final do projeto .....	54
Figura 20: Vistas laterais do esboço. ....	54
Figura 21: Composição da Impressora 3D .....	55
Figura 22: Leiaute Preliminar. ....	57

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Ciclo de vida do produto.....	36
Quadro 2 – Requisitos dos clientes.....	38
Quadro 3 – Requisitos do Projeto. ....	39
Quadro 4 – Classificação dos Requisitos dos clientes em ordem de importância. ....	40
Quadro 5 – Terço superior.....	42
Quadro 6 – Terço Médio.....	43
Quadro 7 – Terço Inferior.....	43
Quadro 8 – Descrição das Funções.....	48
Quadro 9 – Matriz Morfologia da Impressora 3D.....	49
Quadro 10 – Princípios de soluções... ..	50
Quadro 11 – Matriz de decisão.....	53

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>13</b>
2.1	MODELAGEM DE SÓLIDOS .....	13
2.2	IMPRESSÃO 3D.....	14
2.3	FUNCIONAMENTO DA IMPRESSORA 3D .....	15
2.4	PRINCÍPIO BÁSICO DE FUNCIONAMENTO .....	15
2.5	PROTOTIPAGEM RÁPIDA .....	16
2.5.1	criação de um modelo de CAD.....	17
2.5.2	CONVERSÃO PARA O FORMATO STL .....	17
2.5.3	FATIAMENTO DO ARQUIVO .....	17
2.5.4	CONSTRUÇÃO DO MODELO DE CAMADAS .....	18
2.5.5	LIMPEZA E ACABAMENTO.....	18
1.1	VANTAGENS DAS TÉCNICAS DE PROTOTIPAGEM.....	21
1.2	TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS.....	21
1.2.1	FDM - MODELAGEM POR DEPOSIÇÃO DE MATERIAL FUNDIDO.....	23
1.2.2	MATERIAIS TERMOPLÁSTICOS .....	25
<b>3.</b>	<b>METODOLOGIA .....</b>	<b>26</b>
3.1	PROJETO INFORMACIONAL.....	27
1.2.3	PESQUISA DE INFORMAÇÕES SOBRE O TEMA DO PROJETO .....	27
1.2.4	IDENTIFICAR AS NECESSIDADES DOS CLIENTES.....	28
1.2.5	ESTABELECEER OS REQUISITOS DOS CLIENTES .....	28
1.2.6	DEFINIR OS REQUISITOS DO PROJETO.....	29
1.2.7	HIERARQUIZAR OS REQUISITOS DO PROJETO.....	29
1.2.8	ESTABELECEER AS ESPECIFICAÇÕES DOS PROJETOS .....	30
1.2.9	AVALIAR E APROVAR FASE.....	31
3.2	PROJETO CONCEITUAL .....	31
3.2.1	VERIFICAR O ESCOPO DO PROBLEMA .....	31
3.2.2	ESTABELECEER ESTRUTURA FUNCIONAL.....	32
3.2.3	PESQUISAR POR PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO. ....	32
3.2.4	COMBINAR PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO .....	32
3.2.5	SELECIONAR COMBINAÇÕES.....	33
3.2.6	EVOLUIR EM VARIANTES DE CONCEPÇÃO .....	33
3.2.7	AVALIAR AS CONCEPÇÕES.....	33
3.2.8	AVALIAR E APROVAR FASE.....	34
3.3	PROJETO DETALHADO .....	34
3.3.1	ELABORAR LEIAUTES PRELIMINARES E DESENHOS DE FORMAS .....	34

3.3.2	ELABORAR LEIAUTES DETALHADOS E DESENHOS DE FORMA .....	34
3.3.3	FINALIZAR AS VERIFICAÇÕES .....	35
3.3.4	REVISAR O PROJETO .....	35
<b>4</b>	<b>APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DO RESULTADO .....</b>	<b>35</b>
4.1	PROJETO INFORMACIONAL .....	35
4.1.2	PESQUISAR INFORMAÇÕES SOBRE O TEMA DO PROJETO.....	35
4.1.3	IDENTIFICAÇÃO DAS NECESSIDADES DOS CLIENTES.....	36
4.1.4	ESTABELECIMENTO DOS REQUISITOS DOS CLIENTES .....	36
4.1.5	DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DO PROJETO.....	37
4.1.6	HIERARQUIZAÇÃO DOS REQUISITOS DO PROJETO.....	38
4.1.7	ESTABELECIMENTO DAS ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO .....	41
4.1.8	AValiação e APROVAÇÃO DA FASE .....	42
4.2	PROJETO CONCEITUAL .....	43
4.2.2	VERIFICAÇÃO DO ESCOPO DO PROBLEMA .....	43
4.2.3	ESTABELECIMENTO DA ESTRUTURA FUNCIONAL.....	44
4.2.4	PESQUISA DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO .....	47
4.2.5	COMBINAÇÃO DOS PRINCÍPIOS DE SOLUÇÃO .....	48
4.2.6	SELEÇÃO DA COMBINAÇÃO .....	51
4.2.7	EVOLUIR EM VARIANTES DE CONCEPÇÃO .....	52
4.3	PROJETO DETALHADO .....	55
4.3.2	LEIAUTES PRELIMINARES E DESENHOS DE FORMA .....	55
4.3.3	DETALHAR O LEIAUTE DEFINITIVO .....	56
4.3.4	ESTRUTURA FECHADA.....	56
4.3.5	BICO DE EXTRUSÃO .....	57
4.3.6	MESA AQUECIDA .....	57
4.3.7	PLACA ELETRÔNICA.....	57
<b>5.</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>59</b>
<b>6.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>61</b>

## 1. INTRODUÇÃO

Idealize uma técnica na qual você possa criar virtualmente, logo transformá-la um objeto real, essa tecnologia é denominada de impressora 3D. É devido a essa tecnologia que se iniciou uma revolução nas áreas de comunicações, inovando cada vez mais, desde os processos mais simples, os de impressão a jato de tinta e a laser, até as modernas impressoras 3D. Considerada a terceira revolução dentre as comunicações, as impressoras 3D está repercutindo em todo o mundo com sua maneira de transformar objetos virtuais em objetos reais.

Sabemos que não existe nenhuma transformação de uma grande ideia para um objeto tangível e útil e que se pode ter em mãos. É dessa forma que, através da modelagem (simulação, aperfeiçoamento, acabamento e finalização do modelo) em três dimensões e da prototipagem, as informações são geradas por intermédio do sistema auxiliado por um software que pode fabricar objetos físicos a partir dessas fontes de dados. No entanto o presente estudo vem apresentar um novo modelo de impressora 3D com a finalidade de auxiliar no aprendizado dos alunos nas aulas de projeto.

O desenvolvimento do projeto conceitual criou condições relacionadas à técnica e aprendizagem da impressora tridimensional, o que permite a faculdade definir, na prática de acordo com os resultados, a sua fabricação.

Assim, o projeto definitivo nos permitiu dedicar aos conhecimentos alcançados ao longo do curso de Engenharia Mecânica; atingindo, assim, os objetivos de trabalho final de curso.

O desafio proposto para este trabalho é aplicar melhorias em um novo modelo de impressora, a qual essa impressora servirá de auxílio nas aulas na Faculdade Horizontina.

Os estudantes de engenharia terão a oportunidade de aplicar na prática os conhecimentos adquiridos em sala de aula, que contribuirá para o aperfeiçoamento, a preparação e a qualificação, dos acadêmicos, para o mercado de trabalho.

Durante as aulas de projeto de produto no laboratório, os acadêmicos da Faculdade Horizontina terão oportunidade de desenvolver protótipos para fins de estudo podendo assim empregar na prática seus conhecimentos voltados à prototipagem, uma tecnologia com grandes inovações e oportunidades. Essa tem a

finalidade de, a partir de ideias criadas em *software*, gerar objetos reais com cores e texturas sólidas.

Desde as áreas do curso de engenharia mecânica, a área de projeto de produto é a que mais realça a importância atual do setor industrial, devido suas responsabilidades perante o restante da cadeia.

Com base nessas informações, este trabalho objetiva desenvolver um novo protótipo de impressora 3D do tipo Rep Rap, através da melhoria contínua aplicada sobre um modelo já existente.

Ao se definir os objetivos específicos, teve início um levantamento de informações já existentes no mercado. Essas informações como um todo, estão descritas no capítulo de revisão da literatura, como no mesmo capítulo têm-se as definições dos conceitos e o detalhamento virtual do modelo.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Esse capítulo descreve os conceitos sobre os assuntos correspondentes ao projeto e as principais tecnologias sobre modelagem de sólidos que contribuem para a prototipagem.

### 2.1 MODELAGEM DE SÓLIDOS

Modelo sólido é uma representação computacional clara de um objeto sólido físico. A pesquisa em modelagem sólida começou com alguns esforços exploratórios em meados de 1960, porém se destacou, no início do ano de 1970, quando vários grupos de pesquisa foram criados nas principais nações industriais. Pesquisadores e profissionais reconheceram que o desenho assistido por computador e o sistema de manufatura (CAD / CAM) intervém do usuário extenso tempo necessário para realizar tarefas aparentemente de rotina. (REQUICHA; VOELCKER, 1992).

Segundo Requicha e Voelcker apud Filho (s.n) diz que modelagem de sólidos é um dos processos importantes, pois tem a capacidade de apontar entre o interior, o exterior e a superfície de um objeto tridimensional, o que determina calcular propriedades condicionadas dessa distinção.

Conforme relata Guanglin (2012), durante a modelagem 3D, precisamos de muitos parâmetros da geometria do objeto. Em primeiro lugar, deve-se estabelecer o sistema de coordenadas e, em seguida, introduzir a localização dos pontos, o tamanho das linhas e o tamanho do plano que se estende na direção do corpo na base das operações indicadas acima, o que define a rotação, desenho, ângulo do chanfro e o ângulo *round* do modelo.

O mesmo autor aborda o entendimento teórico de modelagem sólida e algoritmos eficientes, para as operações básicas começou a se infiltrar no sentido de sistemas comerciais, e os valores de pesquisa estão mais focados em fazer e não especializar usuários mais produtivos.

## 2.2 IMPRESSÃO 3D

É possível criar objetos com três dimensões reais. A impressora 3D funciona basicamente com a construção do molde do objeto em um *software* virtual, logo em seguida, a impressora recebe as informações do programador, que calcula a quantidade de material necessário e o tempo estimado para ficar pronto (GARCIA, 2011).

Atualmente há vários modos e técnicas de impressão disponível no mercado, dentre elas a técnica de impressão 3D, em que os objetos são construídos a partir de um material em pó, interligado através de um ligante líquido. O jato de ligante é injetado através das cabeças de impressão iguais às utilizadas nas impressoras convencionais a jato de tinta. A peça então é removida da máquina, ficando solto o pó não aglutinado pelo ligante. O objeto sofre outra fase chamada de tratamento térmico, ou químico, aumentando sua resistência. Nesta etapa utilizam-se vários tipos de materiais em pó.

No processo de impressão, a máquina espalha, sobre a base da plataforma, uma pequena camada de pó que fica contido na caixa de alimentação, através de um pistão, que se locomove no sentido Z. O sistema injeta através de um cabeçote, semelhante a um jato de tinta, chamado “cabeçote de aquecimento”, um aglutinante, que é expulso em gotículas (LIRA, 2008).

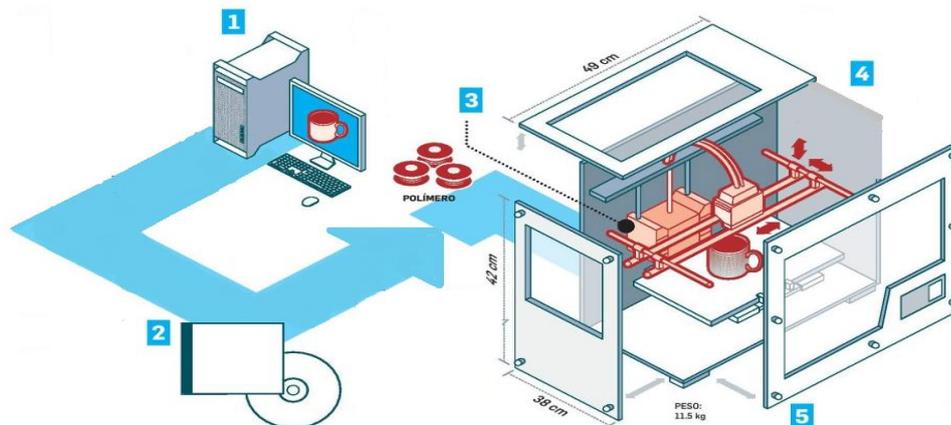
O jato aglutinante é aspirado pela camada armazenada, dando aparência e forma ao primeiro filete da camada. O pó não aglutinado apoia as camadas que serão impressas em cima das outras. Logo, para a formação da segunda camada e das sucessivas, o pistão desloca-se na direção Z e outra nova camada de pó é espalhada. O processo se repete até a total e completa deposição de todas as camadas e, por fim, o pistão é levantado e o pó não absorvido é retirado. (LIRA, 2008).

No processo de impressão, é necessária a limpeza após o término do trabalho, pois o aglutinante que fica no bico pode levar ao entupimento dos mesmos. O controle de deposição do aglutinante garante velocidade de deposição sem variá-la, evitando que o aglutinante seja espalhado demais ou insuficientemente, tanto na largura como na espessura da camada, o que influencia nas medidas do protótipo (GEBHART Apud LIRA 2008).

## 2.3 FUNCIONAMENTO DA IMPRESSORA 3D

Um desenho tridimensional deve ser modelado no computador através do *software* de modelagem (Ver na Figura 1, item 1); com um *software* da impressora, o usuário ajusta o tamanho e os detalhes do objeto que será modelado (Item 2); depois o desenho é enviado à impressora onde a máquina seleciona o material a ser usado (Item 3); em seguida a impressora sobrepõe as camadas, enquanto a base de sustentação desce de acordo com a impressão do objeto, até que ele seja conformado (Item 4). O tempo de impressão varia conforme o tamanho do objeto como, por exemplo, uma peça pequena com um tamanho de 5 cm de largura e 1cm de espessura e 1cm de altura é feita em vinte minutos. A Figura 1 representa uma esquematização do funcionamento da impressora 3D.

Figura 1 – Funcionamento impressora 3D



Fonte: Rocha, 2012

## 2.4 PRINCÍPIO BÁSICO DE FUNCIONAMENTO

A prototipagem rápida trabalha a partir da deposição do material em camadas sobre camadas, guiados por um *software* ou programa específico ao fazer a leitura de um modelo CAD 3D.

## 2.5 PROTOTIPAGEM RÁPIDA

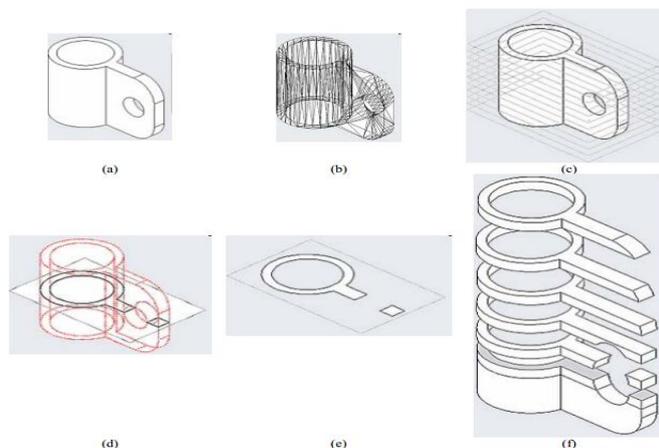
O significado de prototipagem rápida marca um conjunto de tecnologias empregadas para se projetar um objeto real diretamente a partir de fontes de dados gerados por sistemas de projeto auxiliado por computador (GORNI *apud* OLIVEIRA, 2008).

Para avaliar, se um projeto proposto será bem sucedido na engenharia, a prototipagem rápida é um método de construção para ver se o modelo projetado está conforme planejado. Diferentes protótipos são necessários para responder a diferentes perguntas. De alguma forma, as questões podem ser resolvidas com modelos frágeis, enquanto outros podem sobreviver à manipulação normal. Questões que envolvem força, são exigidos tanto do modelo ou daqueles modelos adequados para a força exata na peça de produção (KIETZMAN, 1999).

Baseado nos conceitos de Gorni (2001), e olhando mais detalhadamente para o processo, é possível distinguir algumas etapas básicas, conforme pode ser visto abaixo:

- Criação de um modelo CAD 3D (Figura 2a)
- Conversão do arquivo para a extensão STL (*StereoLithography*), e inserção no *software* do equipamento; (Figura 2b)
- Simulação (ou fatiamento) do modelo em camadas (Figura 2c);
- Construção do modelo em camadas; (Figura 2f).

Figura 2 - Principais etapas do processo de manufatura por camada



### **2.5.1 Criação de um modelo de CAD**

Primeiramente, Hotza (2009) aborda que o modelo a ser construído é modelado em um *software* que fatia o modelo em CAD em certo número de camadas finas que são construídas, então são sobrepostas umas sobre as outras. Os modelos sólidos (Figura 2a) tendem representar objetos 3D mais precisamente do que modelos de armação de arame e dão melhores resultados. O projetista pode usar um arquivo de CAD pré-existente ou então pode criar outro arquivo apenas para propósitos de prototipagem. Essa metodologia é idêntica para todas as técnicas de construção de prototipagem rápida.

### **2.5.2 Conversão para o formato STL**

Para Hotza (2009), vários *softwares* de CAD usam algoritmos diferentes para simular objetos sólidos. Para formar consistência, o formato STL (de estereolitografia, a primeira técnica de RP) foi adotado como o padrão da indústria de prototipagem rápida. Logo, o segundo passo é converter o arquivo de CAD para formato STL. Esta forma representa uma superfície tridimensional como uma montagem de triângulos planares (Figura 2b). O arquivo contém as coordenadas dos vértices e a direção da normal externa de cada triângulo. Como o arquivo STL usa elementos planares, estes não podem representar curvas de modo exato, por isso, aumenta o número de triângulos e melhoram a aproximação, mas às custas de um tamanho de um arquivo maior. Arquivos grandes e complicados requerem mais tempo para pré-processamento e construção, no entanto o projetista tem que equilibrar precisão com facilidade para produzir um arquivo STL útil. Considerando que o formato STL é universal, esse processo é igual para todas as modelagens técnicas de RP.

### **2.5.3 Fatiamento do arquivo**

No terceiro passo, Hotza (2009) relata que em um *software* de pré-processamento prepara o arquivo de STL para ser projetado. Vários programas estão disponíveis e a maioria permite ao usuário ajustar o tamanho, localização e

coordenação do modelo. A orientação de construção é importante por várias razões, primeiramente, as características dos protótipos variam de acordo com a direção da coordenada como, por exemplo, os protótipos são normalmente mais fracos e menos precisos na direção z (vertical) do que no plano x-y, além disso, a direção da peça determina o período de tempo exigido para se fabricar o modelo. Colocando-se a dimensão mais curta na direção z, reduz-se o número de camadas; encurtando, assim, o tempo de construção. O *software* de pré-processamento fatia o modelo STL em várias camadas de 0,01 mm a 0,7 mm de espessura, dependendo da técnica de construção (Figura 2c-e). O programa também pode gerar uma estrutura auxiliar para apoiar o modelo durante a construção. Apoios são úteis para características delicadas como partes pendentes, cavidades internas e seções de parede fina. Cada empresa fabricante de máquina de Prototipagem fornece um *software* de pré-processamento apropriado.

#### **2.5.4 Construção do modelo de camadas**

No quarto passo, Hotza (2009) menciona a construção real do modelo (Figura 2f). Usando uma dentre as várias técnicas, que é o processo em que as máquinas de Prototipagem inserem uma camada de cada vez a partir de um polímero, papel, pó metálico ou outro material de partida. A maioria das máquinas é bastante autônoma, precisando de pequena intervenção humana.

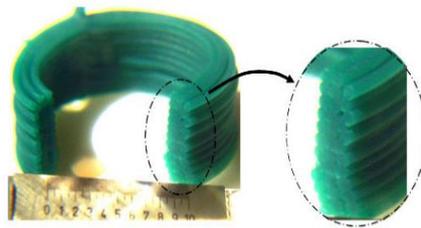
#### **2.5.5 Limpeza e acabamento**

No passo final, Hotza (2009) cita o pós-processamento. A etapa envolve a retirada do protótipo da máquina e a separação de algum componente. Alguns materiais fotossensíveis precisam ser curados completamente antes do uso. Protótipos também podem requerer limpeza secundária e tratamento de superfície. Lixamento, marcação e/ou pintura do modelo podem melhorar sua aparência e durabilidade.

Gorni (2002) cita que as estas etapas podem sofrer pequenas modificações de acordo com o fabricante da máquina e, com os diferentes tipos de prototipagem. Os protótipos são erguidos sobre uma plataforma localizada num recipiente

preenchido com material reduzido a pó. Um cabeçote de impressão através de um jato de tinta "imprime" seletivamente um agente ligante que funde e aglomera o pó nas áreas desejadas, isso a partir de um desenho em 3D. O pó que continua solto permanece na plataforma para dar suporte ao protótipo que vai sendo modelado. A plataforma é ligeiramente abaixada, adiciona-se mais material pulverulento e o processo é repetido novamente. As camadas se sucedem na ordem de 1mm, o que confere precisão ao modelo impresso conforme Figura 3.

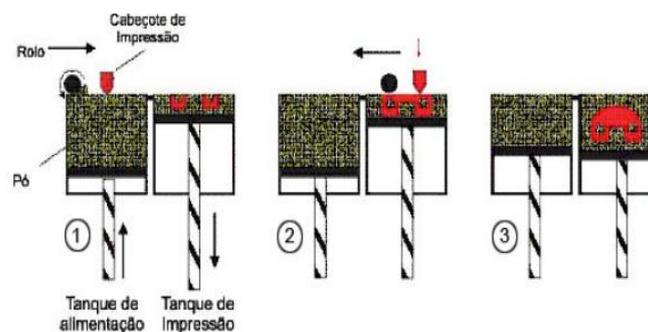
Figura 3 - Modelagem Geométrica: Representação e Manipulação de objetos Geométricos Utilizando o Computador



Fonte: Lira, 2008, p.114.

A figura 4 nos mostra, de forma didática, o processo de impressão 3D, desde o deslocamento do pó virgem pelo rolo na etapa 1, até o retorno do rolo e a exoneração do ligante na etapa 2, logo, a finalização do processo na etapa 3. A impressão tem como seu principal benefício adicional sobre as demais impressoras a não necessidade de imprimir o material suporte, pois o próprio pó sem o ligante aguenta a peça no momento da impressão. O pó é removido, peneirado e seco, podendo ser reutilizado em outra impressora 3D (GARCIA, 2010).

Figura 4- Processo de Impressão Tridimensional

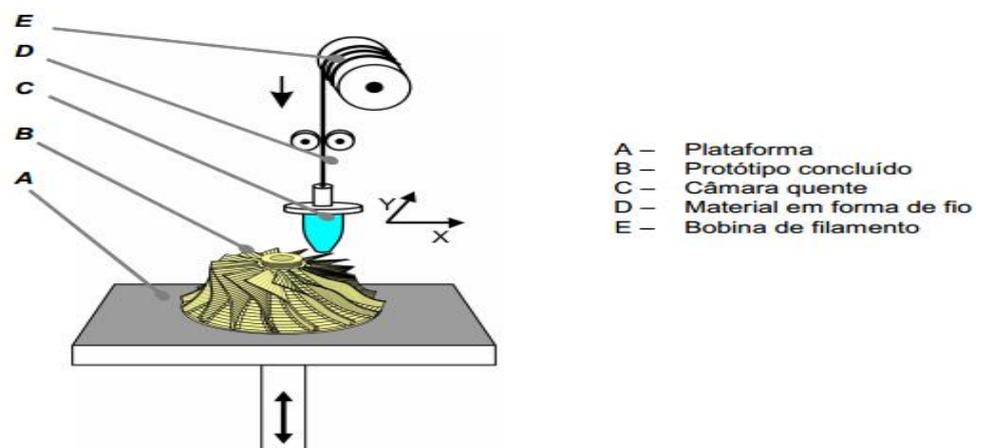


Fonte: Garcia, 2010, p.24.

Conforme abordado por Lira (2008), a modelação por deposição fundida, mais conhecida como tecnologias FDM (Fusão e deposição do Material) os modelos são projetados por deposição de camadas, uma sobreposta a outra, através da extrusão do material termoplástico fluidificado por aquecimento, para a preparação das camadas da fatia do protótipo. O plástico ABS (acrilonitrila, butadieno e estireno), conforme suas características é o material mais preferido para a prototipagem, pois possui alta resistência à tração, tenacidade e durabilidade. Nesse caso, também se pode usar o *nylon* (protótipo para averiguação de medidas e controle de projeto), elastômeros ou ceras que pode construir peças sólidas, alveoladas ou vazadas. Também é preferível utilizá-lo como gabarito para confecção para fundição.

Relata também Lira (2008), para a tecnologia FDM, o material usado (ABS), é apresentado inicialmente em forma de fios e injetado através de um bico injetador com diâmetro 0,178 mm. O ABS é depositado por um cabeçote extrusor a uma temperatura controlada para aquecê-lo, até ficar no ponto pastoso. Logo o cabeçote extrude e armazena o ABS em camadas em uma base de pouca aderência, ou seja, suporte para o material. O material é distribuído de forma precisa sobre as camadas já extrudadas e logo é solidificado.

Figura 5 - Esquema do processo FDM- *Stratasys* - Desenvolvimento de Processos de Prototipagem Rápida via Modelagem por deposição de formas livres sob temperatura ambiente



## 2.6 VANTAGENS DAS TÉCNICAS DE PROTOTIPAGEM

Conforme Coutinho (2006), o princípio fundamental dessa técnica de prototipagem é que torna possível uma maior envoltura dos usuários com o processo de desenvolvimento do sistema, o que melhora a comunicação entre esses e a equipe de desenvolvimento das mesmas. Isso se dá ao fato que através do protótipo, é possível a consignação de uma comunicação mais rica sobre as características e funções que serão incorporadas ao produto final.

No mesmo pensamento, Coutinho (2006) aborda que os protótipos também interpretam para o usuário uma visão mais real do que está sendo implementado, portanto evitam que o usuário venha a se surpreender com o resultado final do projeto. A facilidade de criação de ideias dos protótipos, principalmente, daqueles levantados usando a técnica de prototipagem rápida, permite que transformações sejam realizadas rapidamente, o que facilita o esclarecimento de dúvidas a respeito das mudanças requisitadas.

## 2.7 TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS

As tecnologias de deposição de materiais ou RP (Prototipagem Rápida) disponíveis no mundo são as mais diversas, como se pode observar a seguir:

- Modelagem por Deposição de Material Fundido (FDM, *Fused Deposition Modeling*),
- Modelagem por jato de tinta (MJM);
- Estereolitografia (SLA, *Stereolithography*), Sinterização Seletiva a Laser (SLS, *Selective Laser Sintering*);
- Manufatura de Objetos em Lâminas (LOM, *Laminated Object Manufacturing*);
- Impressão Tridimensional (3D Print);
- Cura Sólida na Base (SGC, *Solid Ground Curing*);
- Impressão por Jato de Tinta (MJT, *Multi Jet Modeling*; BPM, *Ballistic Particle Manufacturing*);
- Conformação Próxima ao Formato Final via Laser (LENS, *Laser Engineered Net Shaping*).

Para Junior A., Junior O. e Neto (2007), “existem outras tecnologias - citadas acima - de deposição de materiais ou RP, entretanto seguem abaixo, na Figura 6 as mais utilizadas e difundidas no Brasil.”

Figura 6 – Características da Prototipagem Rápida no Brasil

<i>Processo / Características</i>	<b>SLA</b>	<b>SLS</b>	<b>LOM</b>	<b>3D Print</b>	<b>FDM</b>
<i>Variedade de Materiais</i>	Pequena	Grande	Pequena	Média	Média
<i>Translucidez</i>	Sim	Não	Não	Não	Sim
<i>Qualidade Superficial</i>	Regular	Boa	Regular	Boa	Regular
<i>Pós-Acabamento superficial</i>	Regular	Boa	Baixa	Boa	Regular
<i>Precisão</i>	Excelente	Boa	Baixa	Boa	Regular
<i>Resistência ao Impacto - simulando Polímeros</i>	Regular	Boa	Baixa	Baixa	Boa
<i>Resistência a Flexão – simulando Polímeros</i>	Baixa	Excelente	Baixa	Baixa	Excelente
<i>Custo do Protótipo – no Brasil</i>	Alto	Médio	Alto	Médio	Médio
<i>Pós-Processo</i>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
<i>Pós-Cura</i>	Sim	Não	Não	Não	Não

**Fonte:** Junior A., Junior O., Neto, 2007, p.5.

Segundo Raulino (2011), cada tecnologia possui suas próprias vantagens e desvantagens, cabendo a uma avaliação prévia determinar qual será a mais eficiente para o produto. Alguns pontos a se considerar:

- (i) Tempo. O termo prototipagem rápida é relativo, pois a sua celeridade é superior a outras técnicas convencionais de fabricação de protótipos, mas em tempo real a velocidade de produção é geralmente muito lenta. Dependendo do nível de precisão requerido e do tamanho do objeto, o processo pode levar de poucas horas a dias (RAULINO, 2011).
- (ii) Volume. Atualmente, a maioria dos equipamentos não pode fabricar itens com volume superior a 500mm<sup>3</sup> (RAULINO, 2011).
- (iii) Acabamento. Muitas vezes a superfície do objeto gerado necessita de um acabamento secundário para atingir a qualidade final desejada (RAULINO, 2011).
- (iv) Material. A variedade de materiais disponíveis para a RP com adição de materiais é ainda muito limitado (RAULINO, 2011), podendo ser vista na figura 6.

Figura 7 – Materiais usados pela prototipagem rápida

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

**Fonte:** Raulino, 2001, p.9.

Segundo Batista L.C. (2012) apud Volpato (2001), “atualmente, existem mais de vinte sistemas de RP no mercado que, apesar de usarem diferentes tecnologias de adição de material, que se baseiam no mesmo princípio de manufatura por camada.”, no momento serão citados apenas os principais tipos de prototipagem, de acordo com a classificação que cada um corresponde.

Os processos de prototipagem se classificam basicamente em três tipos: Baseados em líquidos, baseados em sólidos e baseados em pó.

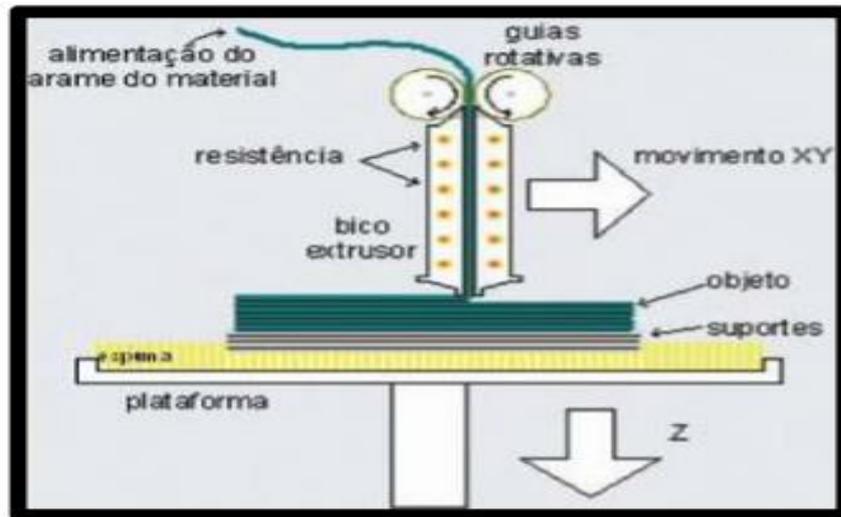
### **2.7.1 FDM - Modelagem por Deposição de Material Fundido**

Conforme aborda Batista L.C (2009) apud Volpato (2007), através de um bico que se movimenta nos eixos X e Y, extrai-se uma resina termoplástica, que é depositada primeira sobre uma mesa de temperatura inferior a do material. Devido a esta diferença entre as temperaturas, o material se solidifica rapidamente. Através de um elevador, a plataforma desloca-se no eixo Z e uma nova camada de resina é depositada sobre o material solidificado, de forma a formar novas camadas até que se obtenha o modelo desejado (Figura 8).

Para facilitar a fabricação do modelo, é necessário que se tenha um segundo bico injetando um material de base, para servir de apoio quando as camadas não forem completamente apoiadas sobre a superfície anterior como, por exemplo, a modelagem de um aeromodelo, em que o material de base é depositado

abaixo das asas, para dar suporte para a deposição da resina permanente. Esse material de base é posteriormente removido através da utilização de instrumentais e equipamento de ultrassom.

Figura 8 – Esquema de Funcionamento da FDM



Fonte: Hotza, 2009, p.1106.

A tecnologia FDM que será aplicada mais a frente na elaboração desse projeto que, conforme Raulino (2011), é a segunda técnica de FDM mais utilizada no mundo. Baseia-se na deposição de camadas resultantes do aquecimento, por volta de 200°C e amolecimento de filamentos (arames) de material termoplástico.

O processo FDM, constrói objetos por extrusão de filamentos de polímeros como ABS e Poliamida, aquecidos e com um cabeçote movimentando-se nas coordenadas xy, além de uma plataforma movimentando-se no sentido vertical coordenada z. No cabeçote, fios do material termoplástico são direcionados, por guias rotativas, a atravessarem dois bicos extrusores aquecidos. Um bico recebe material para a construção do objeto 3D enquanto outro recebe material para ser utilizado como suporte para a fabricação. Ao final de cada camada a plataforma se desloca para baixo, com uma distância igual à espessura de camada, formando camadas superpostas de filamento até formar o objeto pretendido (GRIMM Apud JUNIOR A., JUNIOR O. e NETO, 2007).

A plataforma é mantida sob uma temperatura inferior a do material, de forma que a resina termoplástica endurece rapidamente. Após esse endurecimento a plataforma se abaixa ligeiramente e a matriz de extrusão deposita uma segunda camada sobre a primeira. O processo é repetido até a construção total do protótipo. São construídos suportes durante a fabricação para segurar o protótipo durante sua fabricação. Tais suportes são fixados ao protótipo usando-se um segundo material, mais fraco, ou uma junção perfurada (GORNI, 2001).

Segundo Artis Apud Mello, Silva e Costa (2006) o *software* da FDM é um misto CAD/CAM e não é integrado à máquina. Esta é conectada ao computador, com o sistema CAM, que monitora constantemente os comandos de construção. Para cada camada, geram-se coordenadas ou caminhos pelos quais o bico extrusor vai depositando os fios fundidos.

De acordo Wohlers Apud Mello, Silva e Costa (2006), o processo não desperdiça material durante ou após a produção do protótipo, exigindo pouca necessidade de limpeza e permitindo sua instalação em ambientes não industriais.

Já para Grimm Apud Raulino (2011), por causa dessas características de processos durante e após a construção em termos de custo (de aquisição, operação e material) e em qualidade que proporciona, na maioria das aplicações, conforme o objetivo sugerido pela Rep Rap, a técnica de FDM apresenta a melhor relação custo-benefício (comparando a técnica SLA), cabendo para uma pós avaliação, determinando que essa tecnologia seria a mais eficiente para o produto.

### **2.7.2 Materiais Termoplásticos**

Para Gorni Apud Mello, Silva e Costa (2006), as resinas termoplásticas adequadas a esse processo [prototipagem rápida] incluem poliéster, polipropileno, ABS, elastômeros e cera usada no processo de fundição por cera perdida.

De acordo com Saura (2003), diversos materiais estão disponíveis para o processo, inclusive plástico industrial ABS. O ABS oferece uma boa resistência, mais recentemente materiais como policarbonato e polisulfonas foram introduzidos, estendendo-se as potencialidades em resistência e de temperatura.

Termoplásticos: são os chamados plásticos, constituindo a maior parte dos polímeros comerciais. A principal característica desses polímeros é poder ser fundido [extrusado para essa aplicação] diversas vezes. Amaciam com o aumento de temperatura e endurecem com a diminuição de temperatura – processos reversíveis. Dependendo do tipo do plástico, também podem dissolver-se em vários solventes. [...]. As propriedades mecânicas variam conforme o plástico: Sob temperatura ambiente, podem ser maleáveis, rígidos ou mesmo frágeis (ROSA, 2010).

Segundo Padilha (1997) muitos termoplásticos são parcialmente cristalinos e alguns são totalmente amorfos. Exemplos típicos de termoplásticos são: polietileno, policloreto de vinila (PVC), polipropileno e poliestireno.

### 3. METODOLOGIA

Por ser de um trabalho específico de projeto de produto buscou-se selecionar os principais métodos existentes na área de pesquisa e desenvolvimento de produto a fim de adaptar-se o que mais se adequa ao projeto. A metodologia adotada foi adaptada de Reis (2003), e modificada em apostila por Mantovani (2011), auxiliando assim no desenvolvimento de novos produtos e servindo de fonte básica para este trabalho.

A metodologia antecipa a divisão do processo de desenvolvimento de produto em três fases principais: Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado.

Na sequência, a Figura 9 relata as fases da metodologia de projeto que, segundo Mantovani (2011), para cada uma delas é feita a sua descrição. Do modelo de produto resultante da fase, são definidos os principais termos são apresentados os principais passos de cada fase, são detalhadas as ferramentas empregadas na efetivação das tarefas e os aspectos relevantes do domínio de conhecimento são considerados.

Figura 9 - Modelo do processo de Projeto



Fonte: O autor

Posteriormente descrevem-se as três fases: Projeto Informacional, Projeto Conceitual e Projeto Detalhado. Essas fases serão empregadas como aporte para o

desenvolvimento do trabalho e conseqüentemente para o projeto do novo modelo de impressora 3D do tipo Rep Rap.

### 3.1 PROJETO INFORMACIONAL

Para Fonseca (2000), o projeto informacional deve ser realizado para transformar a informação de entrada em especificações de projeto. Essas especificações será o guia do trabalho nas fases posteriores do processo de projeto, então por essa razão a sua obtenção implica uma responsabilidade para o sucesso do projeto.

#### **3.1.2 Pesquisa de informações sobre o tema do projeto**

Neste tópico, como o projeto trata do desenvolvimento de um produto, são apresentados os métodos aplicados que, diante do atual problema, parecem apropriados e promissores.

Referente ao estabelecimento do ciclo de vida do produto, Pahl et al. (2005) aborda, em sua obra, que a duração do ciclo de vida varia muito de acordo com o tipo de produto e da especialidade dele. No mesmo pensamento Romano (2003), nos mostra como estabelecer as especificações do projeto que são identificadas, primeiramente, as necessidades dos clientes.

Logo Amaral et. al. (2006) coloca que os clientes de um projeto podem ser classificados em três tipos:

- Clientes externos – conjunto de pessoas ou organizações que irão usar ou consumir o produto, e/ou manter, desativar e retirar o produto.
- Clientes intermediários – correspondem àqueles responsáveis pela distribuição, compras, vendas e marketing do produto.
- Clientes internos – entende-se como sendo os fabricantes e o pessoal envolvido no projeto e na produção dos produtos.

O mesmo autor salienta que as categorias de clientes são associadas aos setores produtivos (clientes internos), que são aqueles setores em que se agrega valor ao produto; aos setores de mercado (clientes intermediários) onde o produto é

comercializado; e aos setores de consumo (clientes externos), em que o produto é usado em funcionamento.

### **3.1.3 Identificar as necessidades dos clientes**

Conforme Reis (2003), a identificação das necessidades dos clientes pode ser feita com o auxílio de pesquisa bibliográfica, análise de sistemas técnicos similares, consulta a especialistas, simulações de uso e questionário aos clientes do produto.

Reis (2003) orienta ainda que, dentre essas atividades, o desenvolvimento do questionário aos clientes do produto deve seguir diretrizes estabelecidas para orientar o desenvolvimento e a implementação de ferramentas de apoio ao levantamento e sistematização das necessidades de projeto. São elas:

- estabelecer as fases do ciclo de vida do produto como base na classificação das informações de projeto;
- definir os clientes do projeto de acordo com as fases do ciclo de vida do produto;
- elaborar questões para cada cliente do projeto de acordo com assuntos relevantes em cada fase do ciclo de vida do produto.

Amaral et. al. (2006) relata que os desejos dos clientes externos, de características tais como: qualidade, baixo preço de aquisição e manutenção, durabilidade, fácil operação devem ser tratados com máxima prioridade, pois, se o produto não atender às necessidades e requisitos desses, o mesmo resultará em um fracasso em termos de vendas.

### **3.1.4 Estabelecer os requisitos dos clientes**

De acordo com Romano (2003), para estabelecer as especificações de projeto são identificadas, primeiramente, as necessidades dos clientes e/ou usuários, sendo estas desdobradas em requisitos dos clientes. A partir dos requisitos dos clientes são definidos os requisitos do projeto da máquina.

Reis (2003) relata que o desdobramento das necessidades dos clientes em requisitos dos clientes é um trabalho feito em grupo. Em primeiro lugar, as necessidades levantadas são distribuídas ao longo do ciclo de vida do produto a fim

de identificar mais facilmente quais delas são claramente redundantes. Logo, cada uma das necessidades é analisada e, se necessário, decomposta com o intuito de descobrir, em linguagem de engenharia, o que o cliente realmente busca.

### **3.1.5 Definir os requisitos do projeto**

Back (1983) observa que o alvo de partida de qualquer projeto é uma análise e estabelecimento dos requisitos de projeto, o que se compõe do resumo do projeto. Esse resumo poderá ser preparado pelo consumidor ou então, quase que inteiramente, pelo projetista.

Nesse mesmo contexto, Romano (2003) realça que, para estabelecer as especificações de projeto são identificadas, primeiramente, as necessidades dos clientes e/ou usuários, sendo estas desdobradas em requisitos dos clientes. A partir daí são definidos os requisitos do projeto do produto.

Conforme propõe Ogliari apud Mantovani (2011), o estudo dos requisitos dos clientes passa por uma apuração de uma lista de atributos relacionados a cada um desses requisitos. Sendo assim, para cada um dos requisitos dos clientes em questão, deverão ser identificados atributos que os caracterizam e ajudem na sua compreensão, o que auxilia na obtenção de uma primeira lista de requisitos do projeto.

### **3.1.6 Hierarquizar os requisitos do projeto**

De acordo com Reis (2003), esta etapa de hierarquizar os requisitos do projeto consiste na aplicação da matriz da casa da qualidade, ou primeira matriz do QFD (*Quality Function Deployment* - Desdobramento da Função Qualidade). O QFD é uma ferramenta que auxilia na transformação das necessidades dos clientes em características mensuráveis, que ao serem incorporadas ao projeto, compõem-se nos requisitos de qualidade (requisitos de projeto obtidos visando à qualidade).

Mirshawka & Mirshawka apud Mantovani (2011) salientam que nenhuma outra parte da matriz da casa da qualidade tem mais importância no resultado do processo do que os valores atribuídos aos requisitos dos clientes.

Conforme obra de Amaral et. al. (2006), cabe citar quais são os principais benefícios do QFD:

- Redução do número de mudanças de projeto;
- Diminuição do ciclo de projeto;
- Redução dos custos de início de operação (*start-up*);
- Redução de reclamações de garantia;
- Planejamento da garantia de qualidade mais estável;
- Favorece a comunicação entre os diferentes agentes que atuam no desenvolvimento do produto;
- Traduz as vontades dos clientes que são vagas e não mensuráveis em características mensuráveis;
- Identifica as características que mais contribuem para os atributos de qualidade;
- Possibilita a percepção de quais características deverão receber maior atenção.

Figura 10: Esquema de construção da Matriz da Casa da Qualidade



Fonte: Reis, 2003.

### 3.1.7 Estabelecer as especificações dos projetos

Rozenfeld et. al. (2006) ressalta que as especificações de projeto, além de proporcionar uma direção para a obtenção de concepções para o produto, devem refletir os elementos os quais serão avaliados depois do projeto e do produto final. O

mesmo autor relata ainda que, mesmo que os requisitos de projeto formem a base para a elaboração das especificações de projeto, outros requisitos de clientes importantes, além dos qualitativos, poderão fazer parte das especificações de projeto.

### **3.1.8 Avaliar e Aprovar fase**

De acordo com Amaral (2006), evitar retrabalhos e resultados formulados de forma incorreta é fundamental para o sucesso do desenvolvimento de um projeto, assim o autor aborda que, ao final de cada fase do projeto, é necessário elaborar uma revisão e aprovação formal dos produtos. Para isso se adota o termo em inglês *gate*, traduzindo ao português, significa portão. Isso nada mais é que a passagem de uma fase a outra, se todos os requisitos forem cumpridos, pode-se iniciar a fase seguinte.

## **3.2 PROJETO CONCEITUAL**

Para Mantovani (2011) o processo de projeto conceitual encontra-se dividido em duas partes: análise (ponto de partida no campo abstrato, análise funcional e decomposição) e síntese (composição, síntese das soluções e o resultado mais próximo do campo concreto).

### **3.2.1 Verificar o escopo do problema**

O objetivo desta etapa é identificar e avaliar o problema, permitindo melhores soluções. Segundo Pahl et. al. (2005) um problema caracteriza-se por três componentes:

- Uma situação inicial indesejada.
- Uma situação final desejada.
- Obstáculos que, num dado momento, impede a transformação da situação inicial indesejada na situação final desejada.

Nessa abordagem, Pahl et. al. (2005) transcreve que para solução de um problema, necessita-se, primeiramente, de um determinado conhecimento dos fatos

acerca do âmbito da realidade em que o problema deve ser resolvido. Logo, também, o indivíduo precisa conhecer determinados métodos (processos) para a busca de soluções, para que possa agir com eficácia.

### ***3.2.2 Estabelecer estrutura funcional***

Romano (2003) afirma que o objetivo dessa atividade é obter um determinado número de concepções alternativas que possibilitem a pré-seleção das mais promissoras. Assim serão desenvolvidos modelos do produto (físicos ou virtuais) que atendem às especificações de projeto, permitindo a determinação da estimativa de custo de cada opção pré-selecionada.

### ***3.2.3 Pesquisar por princípios de solução.***

Nesta etapa se passa do abstrato ao concreto. A cada uma das subjunções da estrutura funcional é atribuído um princípio de solução, em que várias estimativas de ideias surgem ao longo do desenvolvimento do projeto, mas é necessário utilizar métodos apropriados e práticos para a definição adequada (REIS, 2003).

Para Amaral et. al. (2006), o princípio de solução deve nos mostrar as formas aproximadas dos elementos. Esses não devem fazer referência às suas dimensões, a não ser àquelas necessárias ao entendimento da função, representação ou do comportamento do princípio de solução. Devem ser especificados apenas atributos referentes às propriedades desses materiais.

### ***3.2.4 Combinar princípios de solução***

Reis (2003) afirma que, ao obter os princípios de solução para cada uma das subjunções da estrutura funcional do produto, é necessário combiná-los de forma a atender a função global do sistema. Com o emprego da matriz morfológica são estabelecidas combinações de princípios de soluções.

Back et. al. (2008) comenta, em sua obra, que o método da matriz morfológica consiste em uma pesquisa sistemática de várias combinações de elementos ou parâmetros, com o intuito de encontrar uma nova solução para o problema.

### **3.2.5 Selecionar combinações**

Segundo Pahl & Beitz apud Mantovani (2011), a grande disparidade de soluções alternativas originadas, constitui-se no ponto forte (grande número de soluções analisadas) e no ponto fraco (dificuldade de querer todas as soluções) da abordagem sistemática nessa etapa do projeto conceitual. Para diminuir o risco de eliminar uma solução promissora, há que se empregarem métodos sistemáticos de seleção que se adaptam à pequena quantidade de informações disponíveis nessa etapa. Ulmann (1992) apud Mantovani (2011) apresentam um procedimento que utiliza quatro técnicas diferentes para reduzir as variantes geradas a umas poucas, mas promissoras soluções.

### **3.2.6 Evoluir em variantes de concepção**

O nível de detalhamento de uma concepção deve permitir a continuidade do projeto a partir desse ponto (projeto preliminar) e a avaliação de sua viabilidade, REIS (2003).

### **3.2.7 Avaliar as concepções**

Para Romano (2003), a seleção da concepção mais apropriada é realizada através da análise corporativa entre as alternativas desenvolvidas, considerando vários aspectos. É importante advertir que a tarefa de seleção da concepção envolve todos os domínios de conhecimento.

O mesmo autor observa que o estudo de leiautes de distintas concepções evidencia outras informações que permitem a seleção final da concepção. Em casos mais raros em que, mesmo o estudo de leiautes, não seja suficiente para a tomada de decisão, pode ocorrer a necessidade de construção de protótipos para serem submetidos a testes funcionais.

### **3.2.8 Avaliar e aprovar fase**

De acordo com Amaral (2006), essa etapa é semelhante à respectiva etapa do projeto informacional, a única mudança é que agora comenta em especificações físicas, em que é possível julgar mais exatamente a concepção desejada, para isso levam-se os seguintes itens em questão:

- Existe alguma limitação tecnologia?
- Possui viabilidade econômica?
- As especificações de custo estão sendo atendidas?
- A segurança e as funções operacionais são conhecidas?

## **3.3 PROJETO DETALHADO**

Conforme Forcellini (2002) apud Pahl & Beitz (1996), afirmam que essa é a etapa na qual, partindo da concepção de um produto, o projeto é desenvolvido, de acordo com critérios técnicos e econômicos e à luz de informações adicionais, até o ponto em que o projeto detalhado resultante possa ser encaminhado à produção.

### **3.3.1 Elaborar leiautes preliminares e desenhos de formas**

Segundo Mantovani (2011) esta etapa é transformada em várias tarefas, que são:

- Identificação de requisitos determinantes;
- Produção de desenhos em escala;
- Identificação dos portadores de efeito físico determinantes;
- Desenvolver leiautes preliminares e desenhos de forma.

### **3.3.2 Elaborar leiautes detalhados e desenhos de forma**

A primeira tarefa dessa etapa é a decisão de quais funções auxiliares essenciais são imprescindíveis, tendo em vista a sugerida em uso. Para essas funções, buscam-se, preferencialmente, soluções já conhecidas, como peças padronizadas ou de catálogos (BACK et al., 2008)

A segunda tarefa é a de ligar no leiaute e nos desenhos de forma que as soluções para as funções auxiliares, ressaltam as regras básicas (clareza, simplicidade e segurança) e as diretrizes de projeto abordadas detalhadamente na obra de Pahl et al. (2005) como metodologias de anteprojeto.

### **3.3.3 Finalizar as verificações**

Mantovani (2011) cita as principais tarefas constituintes desta etapa, são elas:

- Apurar e completar os desenhos de forma;
- Verificar erros e fatores de perturbação;
- Preparar lista de partes preliminares e documentos iniciais para a produção.

### **3.3.4 Revisar o projeto**

De acordo com a metodologia proposta, esta é a última etapa do projeto detalhado, sendo que a preocupação aqui é verificar se o produto atende as especificações e as normas formadas para que possa cumprir a função para o qual foi projetado.

## **4 APRESENTAÇÃO E ANÁLISES DO RESULTADO**

Neste capítulo serão expostos os resultados decorrentes da aplicação da metodologia de produto já apresentada na etapa anterior, na qual pelo meio das necessidades do cliente se chegará a uma concepção para melhor completar tais solicitações.

### **4.1 PROJETO INFORMACIONAL**

#### **4.1.2 Pesquisar informações sobre o tema do projeto**

Para a primeira etapa do projeto informacional é a decisão do ciclo de vida do produto, assim como os clientes do projeto. O Quadro 1 mostra o ciclo de vida, que relaciona os tipos de clientes com todas as fases que o produto irá surgir.

Quadro 1 – Ciclo de vida do produto

Fases do Ciclo de vida	CLIENTES		
	INTERNOS	INTERMEDIÁRIOS	EXTERNOS
PROJETO	Integrantes do Projeto		
TESTES	Acadêmicos FAHOR	Alunos e Professores	
PRODUÇÃO	Integrantes do Projeto		
UTILIZAÇÃO			Alunos FAHOR
DESCARTE			FAHOR

Fonte: O autor

Para a definição desse ciclo de vida, foram adicionadas cinco fases. Por meio da metodologia aplicada, foram relacionados também os de clientes, sendo que a primeira coluna mostra o que os integrantes apresentaram sobre o projeto. Logo se associou para cada um desses clientes, de uma forma mais correta, a nomenclatura que foi dividida em internos, intermediários e externos.

Como temos os integrantes como clientes do projeto, que usufruirão do produto e logo os acadêmicos da FAHOR que participarão dos testes em sua aplicação. Uma vez aprovado, o produto será produzido sob a responsabilidade dos integrantes do projeto. Com o produto pronto, os acadêmicos poderão usar o projeto para as aulas de projeto de produto.

#### **4.1.3 Identificação das necessidades dos clientes**

Com o intuito de estabelecer as necessidades dos clientes, essa etapa foi dividida em duas linhas. Foram realizadas reuniões com os clientes internos e intermediários. Nessas reuniões foram levantados de forma aberta, os requisitos julgados como os mais importantes por alunos e professores da instituição.

#### **4.1.4 Estabelecimento dos requisitos dos clientes**

Com o resultado do estudo e compreensão das informações obtidas na etapa anterior, desenvolveu-se o Quadro 2, em que se descreve todos os requisitos do cliente.

Como melhor forma de adaptar as informações e também facilitar o desenvolvimento das etapas futuras, o mesmo quadro divide os requisitos por tipo de cliente, logo tornando mais claro a forma de incidir cada requisito, uma vez que sabemos de onde o mesmo agrega.

As respostas objetivas foram diretamente transcritas pra o Quadro 2, que contém informações obtidas nas alternativas adicionadas pelo cliente. Foram adicionadas informações, que são de extrema importância para o projeto.

Quadro 2 - Requisitos dos clientes

CLIENTES	REQUISITOS
PROJETO	Ser Confiável Simplificado
TESTES	Qualidade nos componentes
PRODUÇÃO	Fácil Regulagem Fácil Manutenção Montagem simples Longa durabilidade
UTILIZAÇÃO	Ser Seguro Peças para reposição Baixo custo Ergonomia em sua utilização Visualização da peça
DESCARTE	Material reciclável

Fonte: O autor

#### **4.1.5 Definição dos Requisitos do Projeto**

Os requisitos dos clientes já estão definidos, então o próximo passo se aplica o quadro sugerido por Amaral (2006), que oportuniza a melhor adequação dos termos levantados na definição dos requisitos dos clientes.

Nessa etapa, assim como foram adicionados alguns requisitos, também teve a desconsideração de outros, uma vez que se avaliou em condizer com o tipo de produto a ser desenvolvido, ou até mesmo estando implícito em outro requisito sugerido.

Partindo do pressuposto já mencionado, encontraram-se 24 requisitos, devidamente selecionados e definidos, conforme recomenda a metodologia seguida.

Então, finalmente, temos a definição dos pré-requisitos necessários para a elaboração da etapa seguinte, apresentados no Quadro 3.

Quadro 3- Requisitos do Projeto

<b>Atributos gerais</b>	<b>Básicos</b>	<b>Funcionamento</b>	Velocidade de Impressão Capacidade de Impressão Qualidade de impressão
		<b>Ergonômico</b>	Fácil acesso Regulagem com esforços reduzidos
		<b>Econômico</b>	Próprios componentes impressos Vida útil
		<b>Segurança</b>	Acesso seguro do operador Botões de segurança
		<b>Legal</b>	Atender as normas aplicáveis
		<b>Impacto Ambiental</b>	Matéria prima de baixo ou nenhum impacto ambiental
	<b>Ciclo de vida</b>	<b>Confiabilidade</b>	Impressão por completa
		<b>Fabricabilidade</b>	Construção simples
		<b>Montabilidade</b>	Montagem simplificada Ferramentas usuais
		<b>Usabilidade</b>	Fácil operação
<b>Atributos específicos</b>	<b>Materiais</b>	<b>Geométricos</b>	Designer arrojado Estrutura fechada
		<b>Material, Cor, Peso</b>	Materiais padronizados comuns Cor padrão FAHOR Baixo peso
		<b>Controle</b>	Número e duração de regulagens Monitoramento de impressão

**Fonte:** O autor. Adaptado de Amaral (2006)

#### 4.1.6 Hierarquização dos Requisitos do Projeto

Nesta fase se realizou a hierarquização dos requisitos dos clientes por meio do Diagrama de Mudge que confronta todos os requisitos. Entre eles definiu-se uma pontuação para cada um e será apresentado aquele que obteve mais ponto. Logo, sendo este o mais importante. Ao acrescentar as letras A, B e C em cada comparação, identificou-se o quanto mais importante é um requisito em relação ao outro confrontado. Se o requisito é muito mais importante medianamente, mais importante ou pouco mais importante, respectivamente. Na Figura 11 podemos visualizar o Diagrama de Mudge aplicado.

Já no Quadro 4, podemos visualizar os requisitos listados e identificados com seu grau de importância, ou seja, com uma ordem decrescente do mais importante para o menos importante.

Figura 11 - Diagrama de Mudge

**DIAGRAMA DE MUDGE**  
**Número de Requisitos**

	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	Soma	%	VC
1	1C	1A	1C	1B	1A	1C	1C	1B	1A	1A	1A	1A	40	17%	10
	2	2B	2C	2C	2C	7C	8A	9C	2B	2C	2C	2B	14	6%	4
		3	4C	5C	6C	3C	8A	9A	3A	3C	3A	3A	17	7%	4
			4	4C	6C	4A	8C	9C	4A	11C	4A	4A	22	10%	6
				5	6C	7C	8B	9B	5A	11C	5A	5A	16	7%	4
					6	6A	8C	6B	6A	11B	6A	6A	26	11%	7
						7	8A	9C	7C	11B	7C	7A	9	4%	2
							8	8C	8A	8C	8A	8A	37	16%	9
								9	9C	9C	9C	9A	19	8%	5
									10	11B	10C	10A	6	3%	2
										11	11B	11A	19	8%	5
											12	12A	5	2%	1
												13	0	0%	1
													<b>Total</b>	<b>230</b>	<b>100%</b>

<b>A =</b>	<b>5</b>	Mais importante
<b>B =</b>	<b>3</b>	Medianamente importante
<b>C =</b>	<b>1</b>	Pouco importante

Fonte: O autor

Quadro 4 - Classificação dos requisitos dos clientes em ordem de importância

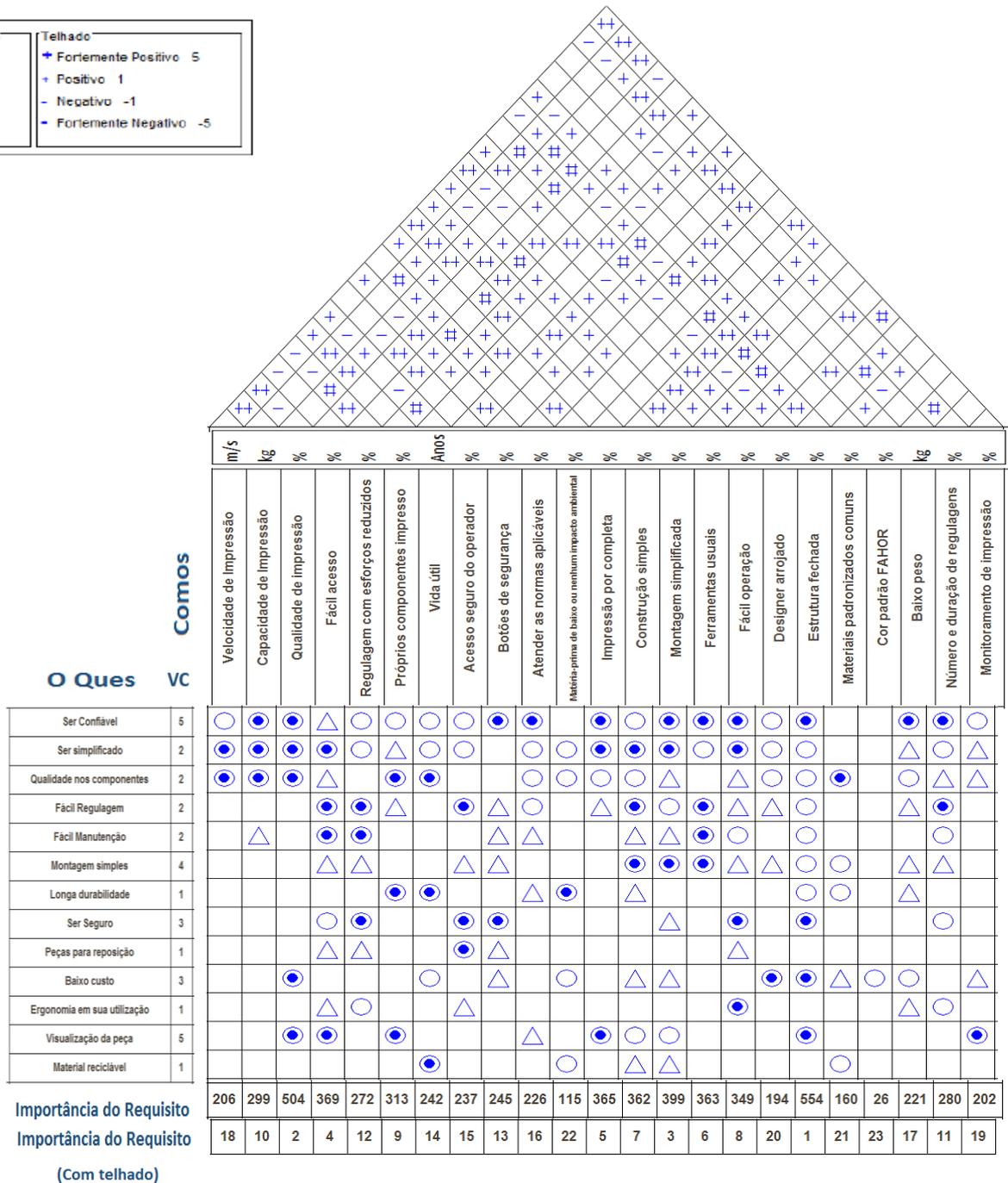
CLASSIFICAÇÃO POR IMPORTÂNCIA		
1º	1	Ser Confiável
2º	8	Visualização da peça
3º	6	Montagem simples
4º	4	Fácil Regulagem
5º	11	Baixo custo
6º	9	Ser Seguro
7º	3	Qualidade nos componentes
8º	5	Fácil Manutenção
9º	2	Simplificado
10º	7	Longa durabilidade
11º	10	Peças para reposição
12º	12	Ergonomia em sua utilização
13º	0	Material reciclável

Fonte: O autor

A Figura 12 mostra a aplicação da Matriz da qualidade, em que teremos, de forma ainda mais depurada, a hierarquização dos requisitos de projeto.

Figura 12 - QFD (Casa da qualidade)

Legenda	
Relacionamento	Telhado
● Forte 5	+ Fortemente Positivo 5
⊙ Médio 3	+ Positivo 1
○ Fraco 1	- Negativo -1
	- Fortemente Negativo -5



Fonte: O autor

Conforme já citado, também nessa fase se aplicou a ferramenta do QFD, ou Matriz da casa da Qualidade como é conhecida. A sua aplicação proporcionou com

maior segurança os principais requisitos que deverão ter maior atenção, assim como os de menor importância. Teve-se como resultado importante o grau de relação entre os requisitos; permitindo, assim, que a equipe de projeto entenda a relação entre eles, os quais serão trabalhados de modo integrado.

#### **4.1.7 Estabelecimento das especificações do projeto**

Com os níveis de importância já determinados, iniciaram-se as definições ainda mais ressaltantes, a futura visão do produto. Nessa última etapa do projeto informacional, ela apresenta informações específicas para melhor avaliar cada requisito. Ao estabelecer uma meta para cada um deles, também se sugere a forma mais adequada de mensurar a obtenção da especificação requerida. Como forma de salientar possíveis complicações na implementação de cada especificação, relataram-se, também, os principais aspectos que devem ser evitados.

O Quadro 5 oferece os pontos-chaves que deverão ser administrados com maior prioridade no desenvolvimento da concepção que será desenvolvida posteriormente. Já no Quadro 6 e no Quadro 7, aparecem as demais especificações também descritas em decorrência do grau de importância.

Quadro 5 - Terço superior

	Requisito	Valor Meta	Forma de Avaliação	Aspectos Indesejados
1	Estrutura Fechada	100%	Análise do Projeto	Incremento de Custo e peças delimitadas
2	Qualidade de Impressão	100%	Testes	Mesa da impressora com pouco aquecimento
3	Montagem Simplificada	80%	Análise do Processo de fabricação	Não atender as normas do produto
4	Fácil Acesso	70%	Testes	Reduz opções de Regulagens
5	Impressão por Completa	100%	Testes	Danificação da peça
6	Ferramentas Usuais	90%	Análise do processo de Montagem e Fabricação	Ferramental inadequado para peças impressas
7	Construção Simples	85%	Análise do Processo de fabricação e projeto	Não atender as normas aplicadas e qualidade do produto
8	Fácil Operação	Acionament os eletrônicos	Teste de Impressão	Incremento de custos em materiais

Fonte: O autor

Quadro 6 - Terço Médio

	Requisito	Valor Meta	Forma de Avaliação	Aspectos Indesejados
9	Próprios componentes Impressos	50%	Testes de Impressão	Danificação das peças
10	Capacidade de Impressão	100%	Testes	Congestionamento do bico injetor
11	Número e duração de regulagens	≤10	Testes Comparativos	Incremento de custos em materiais e processos
12	Regulagens com esforços reduzidos	Manualmente	Inspeção de segurança	Incremento de custos em materiais e processos
13	Botões de segurança	100%	Inspeção de segurança	Informação pouco clara
14	Vida Útil	10 anos	Testes de Impressão	Incremento de custos em materiais e processos
15	Acesso seguro do operador	100%	Inspeção de segurança	Incremento de custos em materiais
16	Atender as normas aplicáveis	100%	Análise de projeto	Incremento de custo

Fonte: O autor

Quadro 7 - Terço Inferior

	Requisito	Valor Meta	Forma de Avaliação	Aspectos Indesejados
17	Baixo Peso	10kg	Pesagem do produto	Redução da Capacidade e Qualidade
18	Velocidade de Impressão	75%	Teste de impressão	Deformação do Material
19	Monitoramento de Impressão	100%	Testes	Visualização pela Metade
20	Designer Arrojado	40%	Comparar com o demais concorrentes	Limitação Visual
21	Materiais Padronizados Comuns	80%	Análise das Especificações dos materiais	Danificação do molde e do produto
22	Matéria de baixo ou nenhum impacto ambiental	60%	Inspeção de Segurança	Incremento de custos em Materiais
23	Cor padrão FAHOR	80%	Comparar com os demais componentes da impressora	Incremento de custos em Materiais

Fonte: O autor

#### 4.1.8 Avaliação e Aprovação da Fase

Todas as etapas, até o presente momento, foram realizadas conforme a metodologia estipula, porém algumas fases obtiveram maiores relatos que outras.

A caracterização, que já foi anunciada, vem a ser proporcional ao grau de representatividade que cada uma possui no projeto informacional.

No final da fase, já com os objetivos apurados e com as ferramentas aplicadas, obteve-se resultados que pouco se diferenciaram das necessidades iniciais do cliente, representadas na pesquisa de campo; mostrando, assim, estar alinhado com o desenvolvimento esperado do projeto.

Ao se chegar ao término dessa fase, entende-se que os resultados encontram-se bem definidos e com fortes indicadores que condicionam uma boa credibilidade em sua obtenção. Isso torna este projeto apto a seguir com seu desenvolvimento.

## 4.2 PROJETO CONCEITUAL

Esta etapa amplia e define soluções conceituais para dar forma ao produto que é solicitado na etapa anterior. Para isso a metodologia já descrita continua sendo aplicada, segundo as subfases especificadas a seguir.

### ***4.2.2 Verificação do escopo do problema***

Para uma impressão de alta qualidade, precisamos demonstrar as principais características que o mesmo deve conter. A ferramenta de QFD aplicada no projeto conceitual, juntamente com o diagrama de Mudge, nos trazem dados claros e diretos, deixando com que os preconceitos e preferências pessoais não possam ser aplicados.

Como escopo principal, temos que relacionar os requisitos mais importantes; podendo, então, omitir os requisitos menos importantes. É necessário considerar cada um dos requisitos, uma vez que, mesmo não tendo alto grau de importância, podem balizar alguma definição, como no caso de cores e dimensões. Abaixo estão relacionados os principais requisitos para a concretização desse projeto:

- Estrutura Fechada;
- Qualidade de Impressão;
- Montagem Simplificada;

- Fácil Acesso;
- Impressão por Completa;
- Ferramentas Usuais;
- Construção Simples;
- Fácil Operação;

A etapa será transformar informações quantitativas em qualitativas, para assim chegar ao essencial, conforme recomendado por Pahl & Beitz (1996):

- Estrutura fechada dentro das normas;
- Qualidade de impressão com montagem simplificada;
- Fácil acesso com construção simples;
- Ferramentas usuais para fácil operação;

Ao admitir os requisitos ainda mais reduzidos e mais claros, torna-se mais fácil a formulação do problema do projeto sem definir soluções.

Garantir uma excelente qualidade de impressão com uma montagem e construção simplificada, permite o fácil acesso à utilização de ferramentas usuais na operação e sua estrutura fechada dentro das normas.

### **4.2.3 Estabelecimento da estrutura funcional**

No decorrer desta metodologia desenvolvida, visou-se uma melhor abrangência das operações básicas e fundamentais do processo da impressora tridimensional, desenvolveu-se a função global do sistema, para demonstrar em linhas superficiais qual será a principal função do produto. A Figura 13 mostra essa definição.

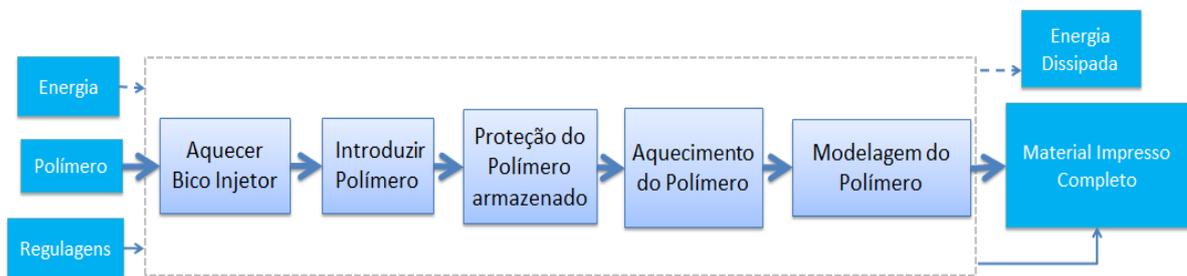
Figura 13 - Função Global da Impressora 3D



Fonte: O autor

A partir da função global com o desdobramento da mesma, desenvolveu-se a estrutura simplificada. Nessa função já se abrem as funções mais específicas que se tornam fundamentais na composição das futuras concepções, ou seja, até essa etapa constatou-se que a função geral é composta por, ao menos, sete funções específicas. Com a Figura 14, pode-se compreender melhor essa esquematização.

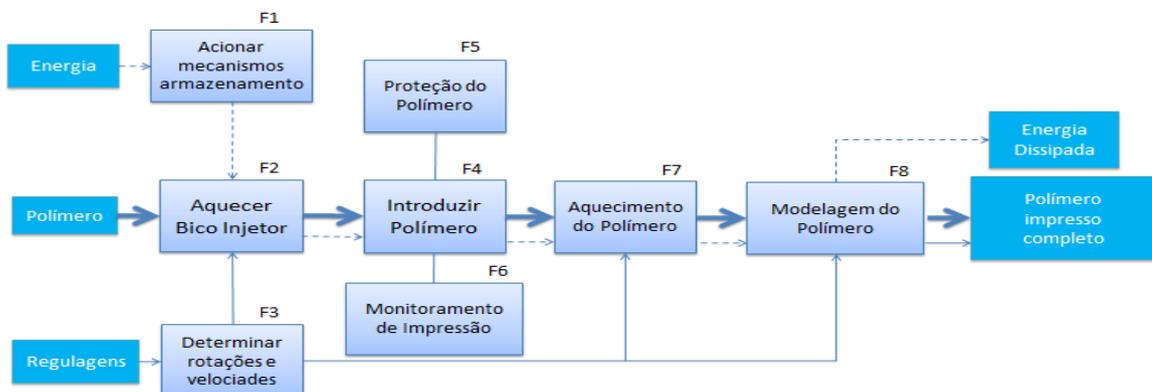
Figura 14 - Estrutura funcional simplificada



Fonte: O autor

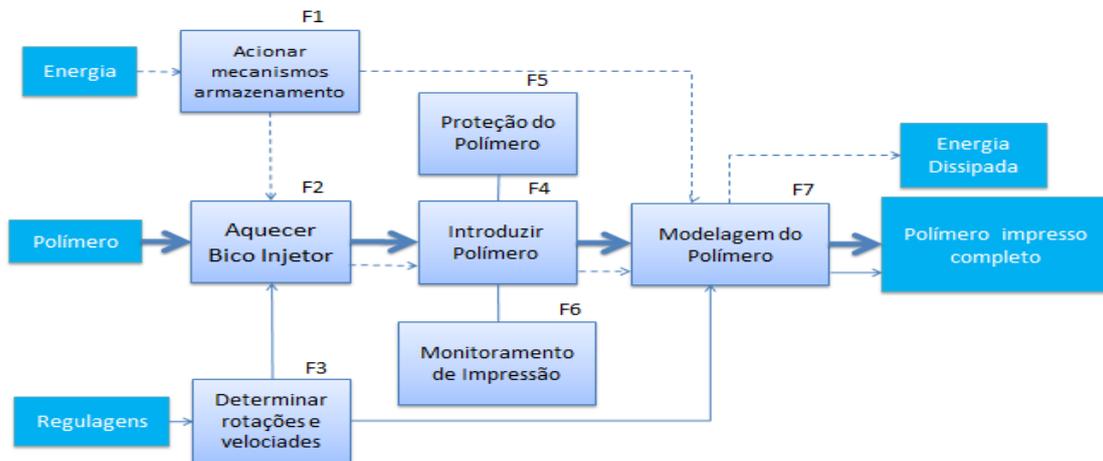
Conforme Amaral (2006), para se chegar a uma futura concepção, é preciso determinar, de maneira genérica, como cada função se proporciona no sistema como um todo, ou seja, cada função é relacionada com as demais com uma ordem de execução já decidida, logo se relatam as entradas e saídas de cada uma delas, como o próprio ABS, energia e regulagens. Duas estruturas funcionais são representadas pela Figura 15 e Figura 16.

Figura 15 - Estrutura funcional I



Fonte: O autor

Figura 16 - Estrutura funcional II



**Fonte:** O autor

Pronta essas definições, serão analisadas as duas estruturas funcionais, em que a segunda estrutura é uma versão mais simplificada da primeira, que se distingue basicamente pela forma de aplicação. Conforme enfatizado por alguns clientes, o produto deve aceitar aquecimento e modelagem total do polímero. Como essa opção é explicada na segunda estrutura funcional, já se elimina nessa fase a possibilidade de avisos sonoros de segurança no decorrer da modelagem.

No Quadro 8, podemos ver cada função básica do produto relacionado com as respectivas definições, entradas e saídas.

Quadro 8 - Descrição das Funções

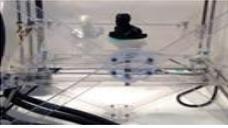
Função	Descrição	Entradas	Saídas
F1 - Acionar mecanismos de armazenamento	Prover energia mecânica para os mecanismos	Energia Elétrica	Energia mecânica
F2 - Aquecer bico injetor	Deslocar o polímero para dentro da impressora	Polímero em movimento fora da impressora	Polímero em movimento dentro da impressora
F3 - Determinar rotações e velocidades	Fazer as regulagens de acordo com o polímero a ser impresso	Energia	Sistema regulado
F4 - Introduzir Polímero	Alocar o polímero dentro do bico injetor	Polímero não armazenado	Polímero armazenado
F5 - Proteção do Polímero	Evitar que pessoas externas tenham contato com o Polímero	Polímero não protegido	Polímero protegidos
F6 - Monitoramento de Impressão	Monitorar a quantidade de Polímeros no bico injetor	Energia mecânica	Emitir sinais de aviso
F7 - Modelagem do Polímero	Garantir que o polímero se conforme por completo	Polímero alocado de acordo o ângulo de 90 graus em relação à mesa.	Polímero uniformemente distribuído por toda a mesa aquecida.
F8 - Polímero impressora completo	Extrair polímero por completo	Molde armazenado na Impressora	Polímero impresso na mesa.

Fonte: O autor

#### 4.2.4 Pesquisa dos princípios de solução

Nesta etapa do projeto, passou-se a dar forma ao mesmo. Para cada função específica, já definida anteriormente, precisamos indicar formas, então para cada uma dessas funções foi denominado duas ou três opções de aplicação. Cada uma das opções sugeridas no Quadro 9 possui atributos diferentes com o intuito de portar o efeito físico solicitado por cada função específica. Para concluir o método de busca discursivo, através da matriz morfológica, foi aplicado o método de busca convencional, segundo recomenda a metodologia.

Quadro 9 - Matriz Morfologia da Impressora 3D

Funções Elementares	Matriz Morfológica		
	1	2	3
F1 - Acionar mecanismos de armazenamento			
F2 - Aquecer bico injetor			
F3 - Determinar rotações e velocidades			Nenhuma
F4 - Introduzir Polímero		Nenhuma	Nenhuma
F5 - Proteção do Polímero			
F6 - Monitoramento de Impressão			Nenhuma
F7 - Modelagem do Polímero			Nenhuma
F8 - Polímero impressora completo			

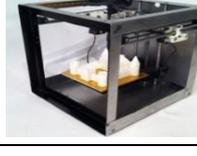
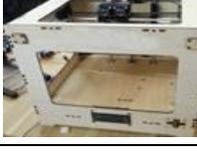
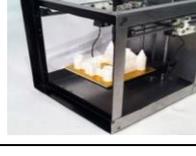
Fonte: O autor

#### 4.2.5 Combinação dos princípios de solução

Com as opções atribuídas na matriz morfológica, alcançaram-se princípios de solução nomeados para atender a função geral do projeto. Segundo a metodologia,

optou-se pela decisão das combinações que de fato condizem com as expectativas de cliente e projeto. Dessa maneira, o Quadro 10 apresenta quatro combinações potenciais para abranger as expectativas atribuídas.

Quadro 10 - Princípios de soluções

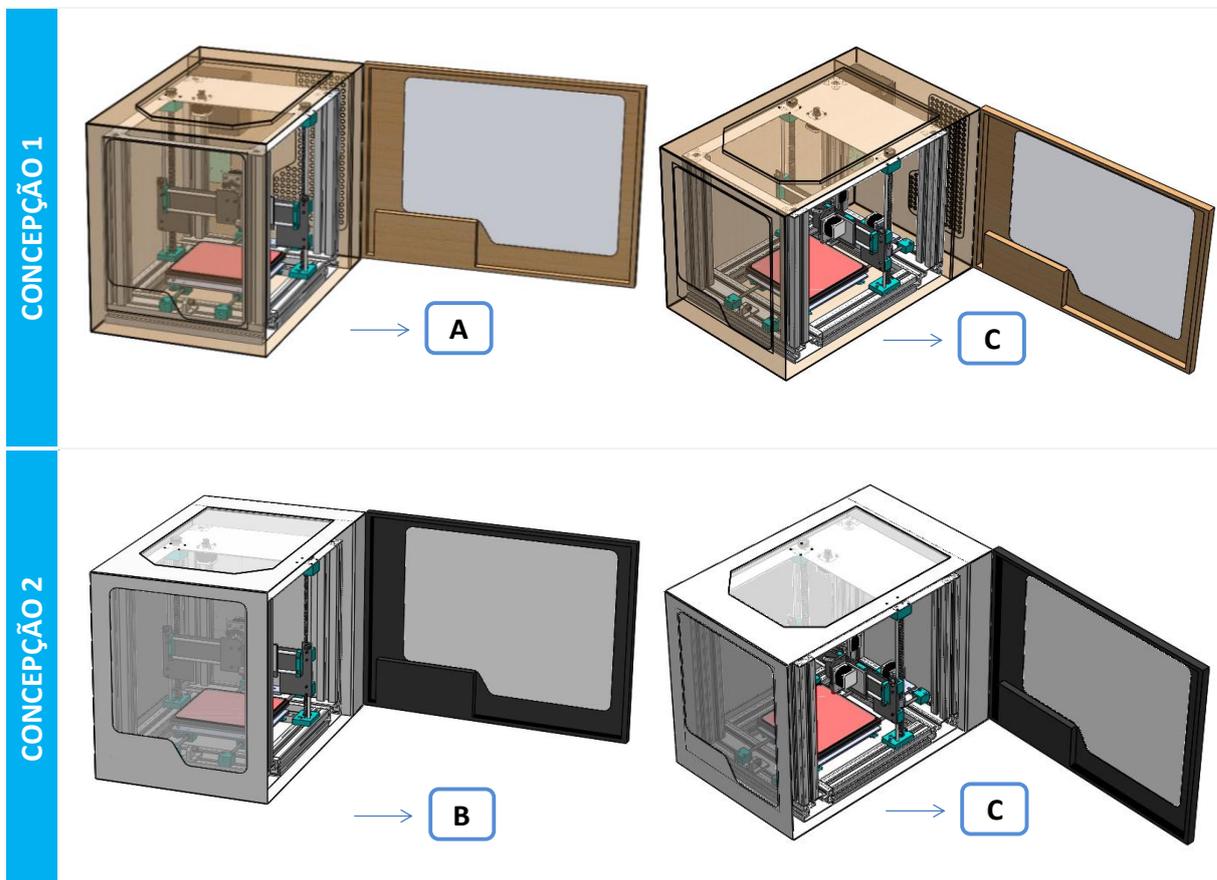
Funções Elementares	Matriz Morfológica			
	1	2	3	4
F1 - Acionar mecanismos de armazenamento				
F2 - Aquecer bico injetor				
F3 - Determinar rotações e velocidades				
F4 - Introduzir Polímero				
F5 - Proteção do Polímero				
F6 - Monitoramento de Impressão				
F7 - Modelagem do Polímero				
F8 - Polímero impressora completo				

Fonte: O autor

Nesta etapa realizou-se uma apurada análise que confere cada princípio apresentado com as especificações do projeto. Algumas alternativas estabelecidas na matriz morfológica foram rejeitadas, pois tiveram alguma discordância com as especificações mais importantes obtidas no projeto informacional, tais como: custo, grau de tecnologia e características dimensionais.

Desse modo, a Figura 17 e a Figura 18 apresentam quatro concepções resultantes das várias combinações admissíveis. Essas concepções passam a ser portadoras de maior perspectiva de aceitação da definição final.

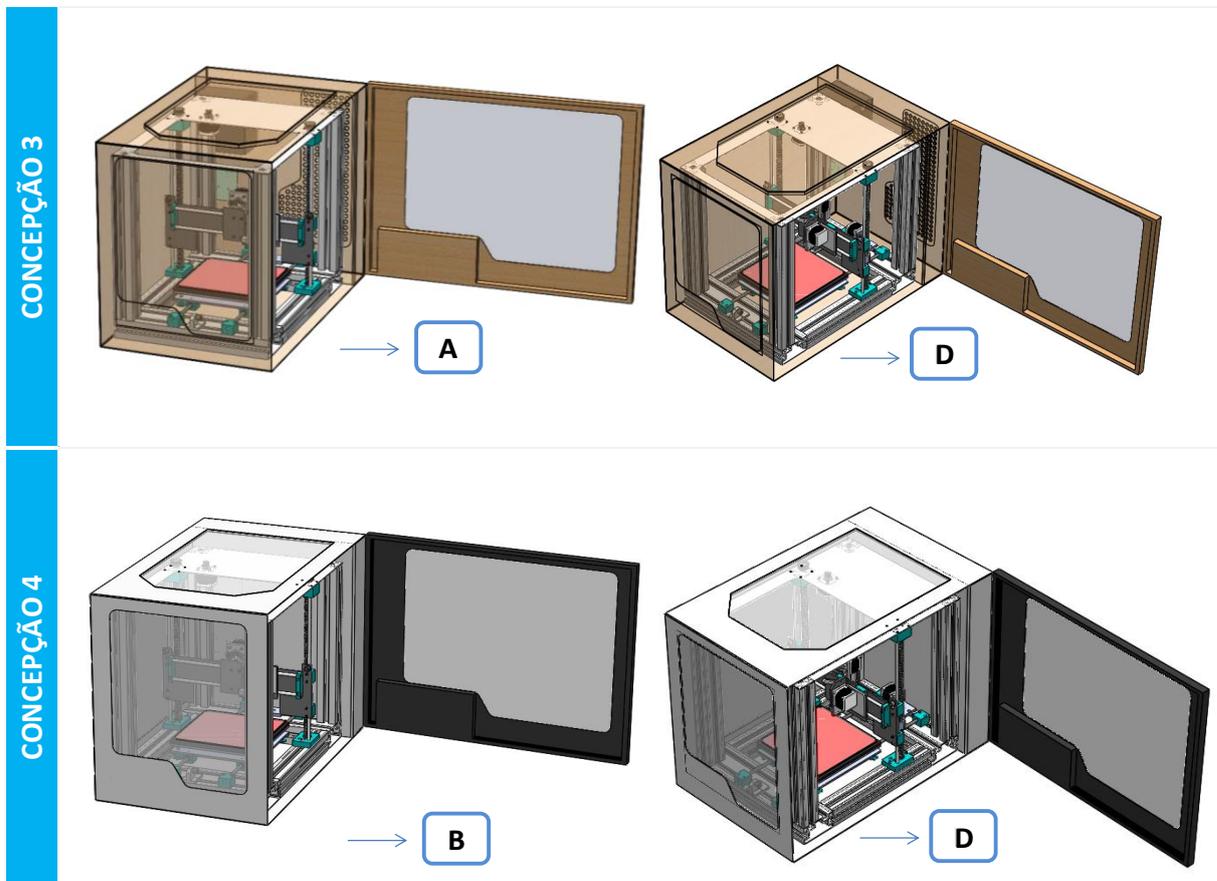
Figura 17 - Concepções alternativas



Fonte: O autor

As duas primeiras concepções, apresentadas na Figura 17, possuem apenas uma diferença de construção, em que a primeira possui estrutura de madeira (A) e a segunda possui uma estrutura metálica (B).

Figura 18 - Concepções alternativas



Fonte: O autor

As duas últimas concepções apresentadas, na Figura 18, também possuem apenas uma diferença de construção, em que a primeira possui estrutura de madeira (A) e a segunda estrutura metálica (B).

Um destaque pode ser feito nos sistemas de rotação e velocidade, para as concepções um e dois, o sistema de rotação e velocidade foi considerado através de engrenagens diferentes das concepções três e quatro que foram consideradas corrente.

#### 4.2.6 Seleção da combinação

Depois da combinação de princípios de solução que ocasionaram quatro concepções, é necessário selecionar a concepção de estrutura funcional que melhor completa a função global do produto.

Como todas alternativas citadas anteriormente, é no mínimo satisfatória até esse momento, o método empregado para decidir a concepção que mais se enquadra nos requisitos de projeto, a matriz de decisão.

Escolheu-se esse método por adequar uma comparação clara e direta entre cada concepção, relacionando com os requisitos do cliente e seus respectivos pesos. Dessa maneira, como podemos ver no Quadro 11, a concepção dois prevaleceu, pois ela melhor atende os requisitos do cliente.

Quadro 11 - Matriz de decisão

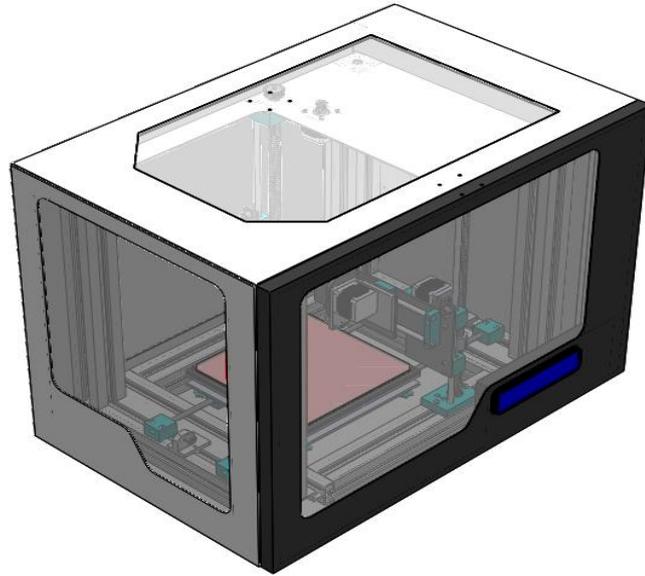
Requisitos do cliente	VC	Concepções							
		1		2		3		4	
Ser Confiável	10	0	0	1	10,0	0	0,0	1	10,0
Simplificado	4	0	0	1	4,0	-1	-4,0	-1	-4,0
Qualidade nos Componentes	4	0	0	1	4,0	1	4,0	1	4,0
Fácil Regulagem	6	0	0	1	6,0	-1	-6,0	-1	-6,0
Fácil Manutenção	4	0	0	0	0,0	-1	-4,0	-1	-4,0
Montagem Simples	7	0	0	1	7,0	0	0,0	1	7,0
Longa Durabilidade	2	0	0	1	2,0	-1	-2,0	1	2,0
Ser seguro	9	0	0	1	9,0	-1	-9,0	1	9,0
Peças para reposição	5	0	0	1	5,0	1	5,0	1	5,0
Baixo custo	2	0	0	-1	-2,0	0	0,0	-1	-2,0
Ergonomia em sua utilização	5	0	0	-1	-5,0	-1	-5,0	-1	-5,0
Visualização da Peça	1	0	0	1	1,0	1	1,0	1	1,0
Material Reciclável	1	0	0	1	1,0	1	1,0	1	1,0
<b>Peso da Concepção</b>		<b>0</b>		<b>42</b>		<b>-19</b>		<b>18</b>	

Fonte: O autor

#### 4.2.7 Evoluir em variantes de concepção

No decorrer das etapas anteriores, desenvolvidas pela metodologia adotada, temos o resultado da concepção final do projeto, cuja concepção de maior score foi avaliada novamente e melhor adaptada ao escopo do projeto. A Figura 19 mostra o esboço da concepção.

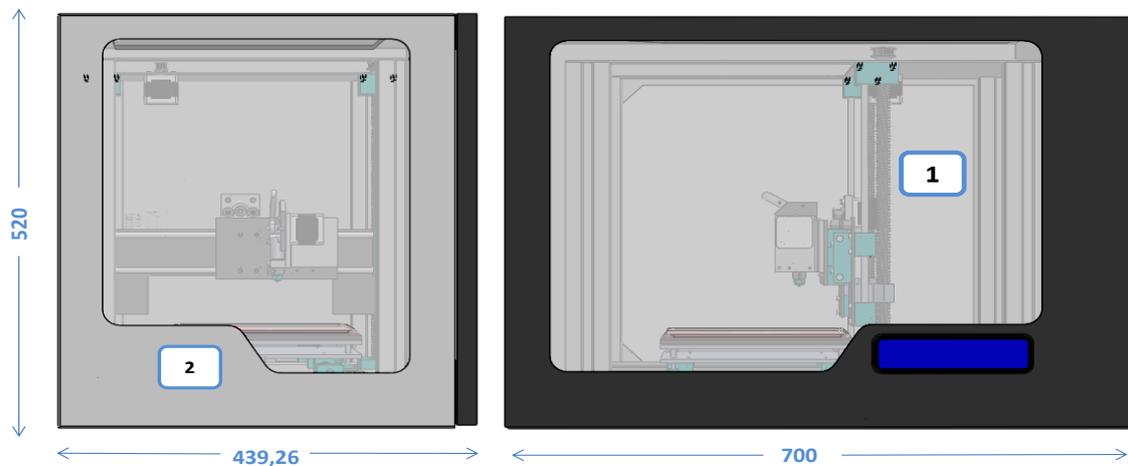
Figura 19 - Esboço da concepção final do projeto



Fonte: O autor

Em consequência do esboço acima apresentado, destacam-se pontos importantes que vem ao encontro das funções específicas e conseqüentemente aos requisitos impostos a ele. A Figura 20 mostra as principais vistas, juntamente com suas dimensões básicas.

Figura 20 - Vistas laterais do esboço



Fonte: O autor

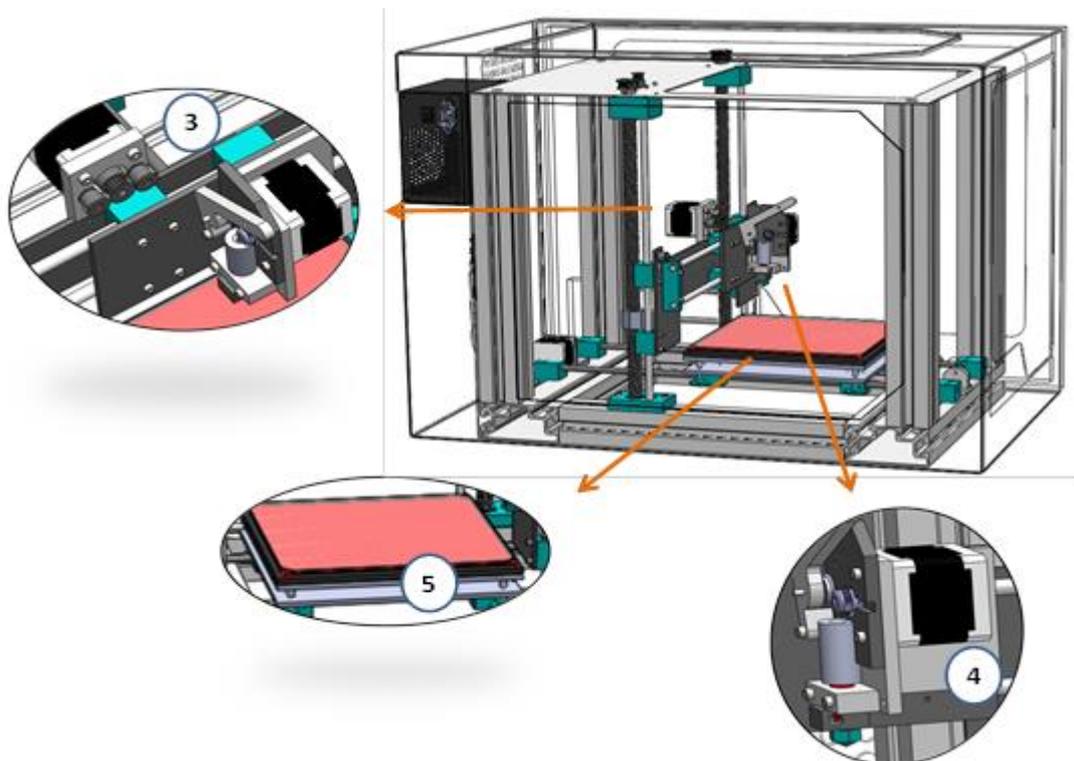
Estrutura: A estrutura (Figura 20 item 2) será composta basicamente por uma chapa metálica de um material leve e de custo inferior. O acesso ao interior fica por meio da mesma, em que a porta frontal se movimenta 90°.

Dentro do mesmo conceito, os movimentos serão realizados através dos motores de passo que ficaram dispostos no interior da impressora e proporcionam movimentos rotacionais ao sem fim, movendo os eixos x, y (Item 1).

A Figura 21 referencia os principais elementos da impressora 3D com a montagem propriamente dita.

Sistema de enchimento do Polímero: Os motores de passo (Item 3) realizam a movimentação dos sem fim (eixo y), que faz com que o polímero entre para o interior da impressora e chegue ao bico injetor. Sua velocidade é padrão, conforme o motor de passo conforme Figura abaixo.

Figura 21 - Composição da Impressora 3D



Fonte: O autor

Estrutura do bico injetor: o bico injetor (Item 4) é o responsável pelo aquecimento e modelagem do polímero na mesa aquecida. Para que isso ocorra, o

polímero é empurrado através das engrenagens acopladas no motor de passo, que é constituído de uma engrenagem metálica com lamina afiada, os quais empurram o polímero até o centro do bico injetor.

A mesa aquecida (Item 5) é a ultima etapa até a conformação do material. Essa tem por função receber o polímero em processo com o bico injetor até o fim da impressão do protótipo, sua regulagem é de extrema importância na impressão para que o molde não fique com qualidade baixa, nem haja interrupção na impressão. A mesa se constitui de quatro pinos reguladores abaixo de sua extremidade, esses são inseridos como um recurso de regulagem para que possa ficar alinhado com o bico injetor, o que auxilia na qualidade de impressão.

### 4.3 PROJETO DETALHADO

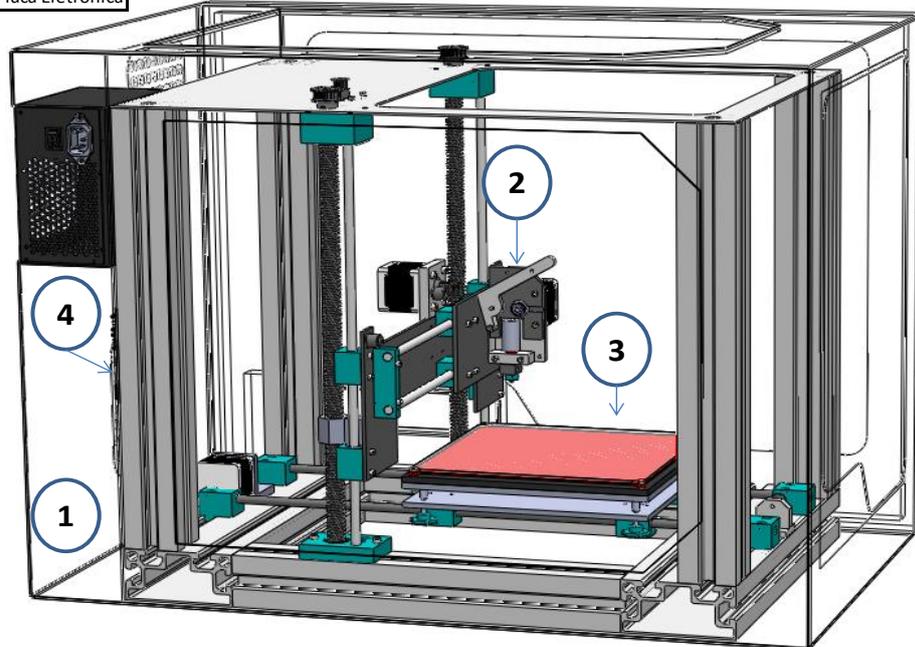
Após ter os conceitos determinados na fase anterior, na fase de “projeto detalhado” a forma, as dimensões e os materiais devem ser confirmados e o modelo do produto é anunciado pela documentação completa necessária A sua produção. Nessa fase, torna-se comum o emprego de ferramentas como, CAD, *SoliWorks* entre outros que compreendem o entendimento e reduzem os esforços solicitantes.

#### **4.3.2 Leiautes preliminares e desenhos de forma**

Determinada a escolha da concepção, logo isso será transformado em um produto final. A primeira etapa dessa fase é a identificação dos componentes de efeito físico, os quais permitem selecionar os componentes que desempenham as funções principais do equipamento. A Figura 22 apresenta o leiaute preliminar do equipamento.

Figura 22 - Leiaute Preliminar

Nº do Item	DESCRIÇÃO
1	Estrutura
2	Bico Injetor
3	Base aquecida
4	Placa Eletrônica



Fonte: O autor

Através do leiaute preliminar adotado na Figura 22, podem ser visualizados os principais componentes que fazem parte da estrutura da impressora. A seguir estão descritos algumas informações e parâmetros de cada conjunto.

#### **4.3.3 Detalhar o leiaute definitivo**

Para a definição das dimensões adequadas ao projeto em questão, levaram-se em consideração os tipos de peças que serão impressas no projeto inicial, bem como as áreas e a estrutura da impressora.

#### **4.3.4 Estrutura fechada**

A estrutura fechada é considerada por dar a sustentação e segurança ao projeto como um todo, porém sua principal função será manter aquecido o ambiente

interno da impressora, fazendo com que o material se adere à mesa aquecida e não prejudique a impressão. Essa estrutura é construída em liga de alumínio 1060, com dimensões de 698.59 x 518.59 x 439.26mm. Sua principal característica será o coeficiente de expansão térmico de 0,000024/k, por ser um alumínio tem boas condições de suportar o calor do ambiente interno, em que terá que suportar o calor de 198°C do Bico injetor e 130°C da mesa aquecida dissipados no ambiente interno da impressora.

#### **4.3.5 Bico de Extrusão**

Bico extrusor é a última fase antes de finalizar a prototipagem. Sua principal função é a entrada do polímero com diâmetro de 1.75mm e saída de 0.45mm, com uma furação de 1.75mm para o filamento. Sua temperatura de trabalho varia em torno de 185°C a 230°C, temperatura ideal para conformar o polímero. O bico extrusor é aquecido através de um Termistor com uma temperatura de operação de -40°C a 350° C, fazendo com que o bico aqueça a temperatura ideal escolhida pelo operador para conformação do material na mesa.

#### **4.3.6 Mesa Aquecida**

A mesa, com dimensões 200x200mm e constituída de alumínio, tem por função receber o polímero após ter fundido no bico injetor; posteriormente irá moldar-se na mesa aquecida, cuja temperatura máxima é de 130° C e leva em torno de 10 minutos para ser atingida, consumindo 13A (Ampéres) para aquecer. Depois, conseqüentemente, seu consumo cai. Como o bico injetor possui um termistor, a mesa possui oito resistores de cerâmica 10W e um termistor de 100k, para mantê-la a uma temperatura máxima de 130° C.

#### **4.3.7 Placa Eletrônica**

A placa eletrônica vem configurada para ser usada nas impressoras 3D Rep Rap, com um processador ATMEGA644 ou ATMEGA1284P com *bootloader* e *firmware* gravado. A placa é confeccionada em fenolite de 1,6mm, possui: duas

saídas de 12V (...) para ventilador com rotação reduzida; uma saída de 12V para o ventilador do bico injetor (se necessário); duas saídas para o aquecimento do bico e da mesa; também possui duas entradas de termistores para bico e mesa; entradas de energia de 12V e uma entrada de energia para a fonte ATX. A placa possui um regulador interno de 5V, e pode operar com fonte de PC ou com uma fonte de 12V apenas. PARÁGRAFO EXTENSO

## 5. CONCLUSÃO

A obtenção desse trabalho foi a partir da definição conceitual de uma impressora tridimensional com alta capacidade de impressão, tendo conceitos modificados por completos ou em partes, uma vez que teria que adicionar geometrias semelhantes com a REP RAP adquirida pela Faculdade FAHOR.

Da mesma forma foram atribuídas hipóteses ao projeto, que foram totalmente validadas, pois com a impressora proposta para este projeto, a capacidade, qualidade e o designer da impressão obtiveram resultados esperados.

Em consequência dessas hipóteses, com o seu designer arrojado e fechado, garantiu-se um acabamento superior à impressora já existente e que garante uma maior segurança ao operador.

Para a obtenção dos resultados esperados, obteve-se um grande amparo da metodologia utilizada, em que foram definidas etapas claras e decisivas em todo o desenvolvimento do projeto.

É preciso ressaltar que muitas dificuldades foram percebidas no desenvolvimento deste trabalho, principalmente, no tange o referencial teórico específico para impressoras 3D, pois a mesma tecnologia ainda se encontra em vários momentos em fases de desenvolvimento e estudos, o que dificultou várias vezes encontrar bibliografias para o estudo dessa nova tecnologia.

A elaboração do esboço também teve certo grau de dificuldade proveniente da complexidade que a metodologia propôs para o produto como um todo.

Em decorrência do que já foi dito, foram encontrados resultados satisfatórios, uma vez que teve uma alta qualidade de impressão. Para isso foi considerado o fato de o produto estar fechado, o que permite concentrar o calor da mesa aquecida dentro do ambiente; melhorando, assim, a qualidade da impressão e não deixando de conformar o material.

As alterações do conceito e adições de acessórios foram decisivas para a obtenção dos resultados. Verificou-se que é possível reduzir custos e peso sem interferir na qualidade do produto, como é o caso da estrutura fechada de acrílico. Essa alteração na estrutura foi crucial para o operador, pois a peça não será interrompida na impressão, podendo ser impressa com temperaturas menores que zero graus, sem interferir no momento da impressão, uma vez que a mesa não

aquecida o suficiente, o polímero não adere a ela. Com a nova estrutura possibilita-se ganhar em tempo de processo na impressão.

Este trabalho, portanto, possibilitou elevado aprimoramento dos estudos desenvolvidos em sala de aula e práticas de laboratório, durante todo o curso de Engenharia Mecânica, deixando evidente o quanto extenso é a área de projeto e o quanto ainda pode ser explorado.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL et. al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos** - Uma referência para a melhoria do processo. São Paulo, Saraiva 2006.

BACK, N., **Metodologia de projeto de produtos industriais**. Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 1983.

BATISTA, L.C.; **A prototipagem rápida como ferramenta auxiliar no desenvolvimento de produtos, um estudo de caso envolvendo implantes ortopédicos**. Escola de Engenharia de Piracicaba 2012 Disponível em <<http://brasil.fumep.edu.br/~phliblio/10023259.pdf>>

COUTINHO, J.R. T; **Prototipagem Rápida como Forma de Envolvimento de Usuário em Metodologia Ágil de Desenvolvimento de Software**. Universidade federal de Pernambuco centro de informática, 2006 Disponível <[http://www.cin.ufpe.br/~ccte/publicacoes/jrtsc\\_TG%20\[ok\].pdf](http://www.cin.ufpe.br/~ccte/publicacoes/jrtsc_TG%20[ok].pdf)>

FILHO, A. C. **Modelagem Geométrica: Representação e Manipulação de objetos Geométricos Utilizando o Computador**. Disponível em: <[www.ltc.ufes.br/fgr/Apostila%20de%20Modelagem.pdf](http://www.ltc.ufes.br/fgr/Apostila%20de%20Modelagem.pdf)>. Acesso em: 10 Abr.2013.

FONSECA, A. J. H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional**. Florianópolis, 2000. Tese de doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000.

FORCELLINI F. A. **Desenvolvimento de Produtos e sua importância para a competitividade**. 2002. Disponível em: <[http://pessoal.utfpr.edu.br/vrubel/arquivos/apostila\\_DesenvolProduto-profForcellini.pdf](http://pessoal.utfpr.edu.br/vrubel/arquivos/apostila_DesenvolProduto-profForcellini.pdf)>. Acesso em: 19 de Abri. 2013.

GARCIA, L. H. T. **Desenvolvimento e Fabricação de uma mini-empresa 3D para cerâmicas**. Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica, 2010.

GORNI, A. A. **Introdução a Prototipagem Rápida e seus Processos**. 2002. Revista Plástico Industrial, pág. 230-239. Disponível em: <[www.ucg.br/site\\_docente/fabio/design/mat3/aula15/RP.pdf](http://www.ucg.br/site_docente/fabio/design/mat3/aula15/RP.pdf)> Acesso em: 15 Mar.2013.

GORNI, A. A.; **Introdução à prototipagem rápida e seus processos**. Disponível em: <<http://www.gorni.eng.br/protrap.html>>. Acesso em: 10 de Abri. 2013.

GIL, A. C.; **Como Elaborar Projetos de Pesquisas**. 4 Edição - São Paulo: Editora Atlas S. A., 2002.

GUANGLIN, F. **The 3D Solid Modeling Technology and Its Applications in Machine Design**. 2012. [S.l.] Disponível em: <<http://www.ier-institute.org/2070-1918/Init17/v17/559.pdf>> Acesso em: 19 de abril de 2013.

HOTZA D. **Prototipagem rápida de Pilhas a Combustível de Óxido Sólido**. Revista Matéria, v. 14, n. 4, pp. 1101 – 1113, 2009.

JUNIOR, A. S.; JUNIOR, O. C.; NETO, A. I.; **Análise comparativa entre os processos de prototipagem rápida por deposição ou remoção de material na concepção de novos produtos.** In: IV COBEF, 2007, São Paulo. Disponível em: <<http://www.grima.ufsc.br/cobef4/files/121001084.pdf>>. Acesso em: 09 de Abri. 2013.

KIETZMAN, J. **Rapid Prototyping Polymer Parts via Shape Deposition Manufacturing.** 1999. Disponível em: <[http://npl-web.stanford.edu/user/files/papers/thesis\\_jkietzman.pdf](http://npl-web.stanford.edu/user/files/papers/thesis_jkietzman.pdf)> Acesso em: 19 de abr. de 2013.

LIRA, V. M. **Desenvolvimento de processo de prototipagem rápida via modelagem por deposição de formas livres sob temperatura ambiente de materiais alternativos.** Tese apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Engenharia, 2008.

MANTOVANI, C. A. **Apostila de Metodologia de projeto de produto.** Apostila (Disciplina de Projeto de Produto), Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Horizontina, 2011.

MANTOVANI C. A. **Desenvolvimento do projeto de uma impressora 3D a partir de modelo tipo Rep Rap já existente.** Programa de iniciação científica Desenvolvimento de produto. Acesso em 20 Mar.2013.

MELLO, C; **Processo De Desenvolvimento De Produtos.** Universidade Federal de Itajubá, 2010. Disponível <[http://www.carlos.mello.unifei.edu.br/Disciplinas/epr-707/Aula\\_Prototipagem\\_Rapida\\_2010.pdf](http://www.carlos.mello.unifei.edu.br/Disciplinas/epr-707/Aula_Prototipagem_Rapida_2010.pdf)>

MELLO, C. H. P.; SILVA, C. E. S.; COSTA, S. C.; **Comparação de três diferentes tecnologias de prototipagem rápida em relação a critérios de custo e tempo.** In: XXVI ENEGEP, 2006, Fortaleza. Disponível em: <[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006\\_TR490328\\_7839.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR490328_7839.pdf)>. Acesso em: 09 de Abri. 2013.

OLIVEIRA, M. R. **Modelagem 3D e prototipagem rápida aplicada à Coordenação de Projetos.** Processo Seletivo Bolsa de Mestrado – FAPESP – 2008. Disponível em: <<http://www.iau.usp.br/pesquisa/grupos/arquitec/Marina/plano.pdf>> Acesso em: 20 Mar.2013.

PADILHA, A. F.; **Materiais de Engenharia - Microestrutura e Propriedades.** Curitiba: Hemus Livraria, Distribuidora e Editora S.A., 2007.

PAHL, G.; et. al. **Projeto na engenharia: Fundamentos do desenvolvimento eficaz de produto**, métodos e aplicações. São Paulo: Edgard Blucker; 2005.

REIS, A.V. **Desenvolvimento de concepção para dosagem e deposição de precisão para sementes miúdas.** Tese Doutorado em projetos de Sistemas Mecânicos CTC/EMC. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2003

REQUICHA, A. G; VOELCHER, H. B. **Solyd Modeling and Beyond.** [S.I.] IEEE Computer Graphics and Applications, 1992. Disponível em: <<http://excelsior.biosci.ohio-state.edu/~carlson/history/PDFs/solid-modeling92.pdf> > Acesso em: 19 de abr. de 2013.

ROCHA. C. **Como funciona a impressão 3D.** Disponível em: <<http://blogs.estadao.com.br/link/como-funciona-a-impressao-3d/>> Acesso em: 10 de Abr. 2013.

ROSA, V.; **Materiais de Engenharia.** Aula do dia 17 de Fevereiro de 2010, 2010.

RAULINO, B. R.; **Manufatura aditiva: Desenvolvimento de uma máquina de prototipagem rápida baseada na tecnologia FDM (Modelagem por fusão e deposição)**. Brasília, 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenheiro de Controle e Automação - Engenharia Mecatrônica), UnB, 2011.

ROMANO, L. N. **Modelo de referência para o processo de desenvolvimento de máquinas agrícolas**. Tese Doutorado em Engenharia Mecânica. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

SAURA, C. E.; **Aplicação da Prototipagem Rápida na Melhoria de Processo de Desenvolvimento de Produtos em Pequenas e Médias Empresas**. Campinas: Unicamp, 2003. Dissertação de mestrado acadêmico (Mestre em Engenharia Mecânica), Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, 2003.