

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE DESIGN E COMUNICAÇÃO
CURSO DE DESIGN

ALBERTO FELIPE BEZERRA DA SILVA

**TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA APLICADO AO DESIGN DE
PRODUTO: UM ESTUDO DE CASO**

CARUARU, 2016

ALBERTO FELIPE BEZERRA DA SILVA

**TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA EM PROL DO DESIGN DE
PRODUTO: UM ESTUDO DE CASO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação,
apresentado à disciplina de Projeto de Graduação em
Design II, do curso de Design da Universidade Federal de
Pernambuco, como requisito para obtenção de título de
Bacharel em Design.

Orientador: Prof^o. Dr. Manoel Guedes Alcoforado Neto

CARUARU, 2016

Catálogo na fonte:
Bibliotecária - Marcela Porfírio CRB/4 - 1878

S586t Silva, Alberto Felipe Bezerra da.
Tecnologias de prototipagem rápida aplicado ao design de produto : um estudo de caso. / Alberto Felipe Bezerra da Silva. – 2016.
122f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Manoel Guedes Alcoforado Neto.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, Design, 2016.
Inclui Referências.

1. Engenharia de protótipos. 2. Desenho (Projetos). 3. Desenho industrial. I. Alcoforado Neto, Manoel Guedes (Orientador). II. Título.

740 CDD (23. ed.) UFPE (CAA 2016-343)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
NÚCLEO DE DESIGN E COMUNICAÇÃO**

**PARECER DE COMISSÃO EXAMINADORA
DE DEFESA DE PROJETO DE
GRADUAÇÃO EM DESIGN DE**

ALBERTO FELIPE BEZERRA DA SILVA

**“TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM RÁPIDA APLICADO AO DESIGN DE
PRODUTO: UM ESTUDO DE CASO”**

A comissão examinadora, composta pelos membros abaixo, sob a presidência do primeiro, considera o aluno ALBERTO FELIPE BEZERRA DA SILVA

APROVADO

Caruaru, 14 de Dezembro de 2016

Profº Drº Manoel Guedes Alcoforado Neto

Profº Drº Edgard Thomas Martins

Profº Drº Charles Ricardo Leite da Silva

A minha mais que querida avó Maria Soares do Espírito Santo, que me mostrou o sentido da vida, que me ensinou a viver num mundo de grandes contrastes, e que protagonizou comigo grandes momentos, me ensinando a rir na hora de rir, chorar na hora de chorar e saber perdoar, o que pode ser perdoado.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por estar sempre me ouvindo e me mostrando as melhores formas de cumprir minha missão nesse plano.

A minha querida avó Maria Soares do Espírito Santo, que onde estiver sempre estará intercedendo por mim.

Aos meus pais (Beto e Cida), que embora educados em épocas bem, mais bem diferentes da minha geração sempre tentam fazer o melhor, e sempre estão disponíveis a me ajudar.

A minha irmã Aslany Fernanda, que embora ainda pequena me mostra que ainda não estou preparado para ser pai, mas como irmão, estou apto.

A meu consorte Mateus Henrique, que me mostrou e ensinou que raízes são raízes, e que para evoluirmos temos que entender que só fazemos o melhor quando queremos o melhor.

Aos meus professores de base, por serem parte muito importante da pessoa que sou hoje, e que não irie citar nomes, por medo de esquecer de algum. Mas, gostaria de fazer uma ressalva muito importante para Taciana e Marcilene, que fizeram parte do Jardim I, II e Alfabetização. A Eliane Torres professora da 1ª série, e a Rosângela Cavalcante Vila Nova (Rosa) que foi professora da 2ª a 4ª série e que entre diversas coisas que me ensinou, a mais especial foi a que devemos escutar toda a sentença e depois escrevê-la. Entre outras palavras me ensinou a diferença entre escutar e ouvir.

Aos meus professores do ensino fundamental I e II da Escola Maurina Rodrigues dos Santos de Passira, que foram de grande importância em minha formação psicológica, em especial a Sevy, com sua personalidade, a Monica Lopes com seu pulso firme, a Alda com seu jeito meigo de ser, a Teresa com suas ótimas aulas de Matemática, a

Selda com suas aulas de Biologia e Química, a Luiz Gomes com sua equação do primeiro grau e a Rosilda, que embora com sua idade já elevada para os professores da época, mostrou que quando queremos algo conseguimos e que todo esforço é digno de respeito, onde a mesma subiu conosco a Serra da Batinga.

Aos meus professores do ensino médio, que me mostraram que a vida após o ensino médio é bem diferente do que imaginamos quando adolescentes. Em especial a Rita com suas animadíssimas aulas de Química, a Cindy com suas encantadoras aulas de História, a Wendel com grande eficiência nas aulas de Matemática, a Lúcia Rego por suas aulas de Português e Literatura.

E falando em Português, agradecer a Graça Castro por acreditar sempre no potencial de seus alunos, a Ceça Amorim com suas aulas de educação física, que até hoje quando me deparo com algum assunto abordados pela mesma em suas aulas, logo me vem a memória.

E a Rinalda Arruda, que em suas aulas de Português, não abordava apenas os assuntos pertinentes a disciplinas, mas por fazer links importantes com outros assuntos nos dando o primeiro contato com a interdisciplinaridade, explanando o que era importante para a nossa atualidade.

Aos meus professores do Superior, que de forma agradável e na maioria das vezes menos agradável, mostraram-me que a vida é cheia de cacos, cacos esses que devemos tomar posse deles e montarmos nossa história.

Ainda sobre os professores, agradecer de forma mais que especial a Lourival Costa, que me recepcionou na primeira segunda-feira de uma grande etapa de minha vida, a Teresa Lopes, que me mostrou que um bom profissional não surge do dia para noite, a Lia Alcântara que me deu uma injeção de realidade me ajudando a ministrar aulas, a Silvio Diniz que me ensinou a ver as disciplinas da universidade como um teste para o mundo fora dela, mostrando também que paciência é a alma do negócio, a Bruno Barros, que me mostrou que *riatas* de cintos também serve como pega para pessoas de baixa estatura.

A Tony, que me mostrou que lixar não é para qualquer um. A Paula Valadares, que me apresentou *Flusser*, e que a partir de então aprendi que compreensão é vida. E a Rosangela Vieira, que foi quando paguei PGBC, que tive certeza que trabalho manual não é meu forte.

As assistentes sociais Joana e Patrícia que sempre estiveram disponíveis para me atender.

A escolaridade, na pessoa de Neide Menezes que sempre estava pronta para sanar minhas dúvidas e me atender com maior respeito e boa vontade.

A Elenice Nogueira, por acreditar em meu potencial e me mostrar que na vida tudo é conquistável, quando usamos a dedicação da forma certa.

A Fernando, por ser parte importantíssima de minha monografia.

Por fim e não menos importante, a meu orientador, que embora tendo tantos compromissos com a direção do CAA, sempre conseguiu um tempo para me orientar eficientemente.

O design é uma das características básicas do que significa ser humano e um elemento determinante da qualidade de vida das pessoas. *John Heskett*

RESUMO

Diante das novas tecnologias de prototipagem rápida e das possibilidades abertas para utilização dessa tecnologia no desenvolvimento de produtos, o presente trabalho, além de ampliar a pesquisa sobre o tema, se utilizará do estudo de caso de um suporte de leitura para cadeirante, com a perspectiva de avaliação das novas tecnologias de modelagem e impressão 3D e sua possibilidade de aplicação ao Design.

Palavras-chaves: Design. Tecnologias de prototipagem rápida. Impressão 3D. Design de produto.

ABSTRACT

Before the new rapid prototyping technologies and the possibilities open to use this technology in product development, this work and expand research on the subject, it will use the case study of a reading support for wheelchair, with the prospect assessment of new technologies modeling and 3D printing and its possible application to the design.

Keywords: Design. Rapid prototyping technologies. Print 3D. Product design

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - ARTEFATOS DO PERÍODO NEOLÍTICO.....	22
FIGURA 2 - PRODUTO INDIVIDUALIZADO PRODUZIDO PELA ADIDAS	27
FIGURA 3 – OBJETOS COM SEÇÕES TRANSVERSAIS EM AMBIENTE DIGITAL DE IMPRESSÃO	28
FIGURA 4 – FILAMENTO DE ABS UTILIZADO NA CONFORMAÇÃO POR FDM	30
FIGURA 5 – CAVACO METÁLICO	31
FIGURA 6 - PROTÓTIPO DA IMPRESSORA 3D DE CHUCK HULL.....	32
FIGURA 7 - IMPRESSORA 3D.....	32
FIGURA 8 – USINAGEM – FRESADORA CNC	33
FIGURA 9 - UTILIZAÇÃO DA CNC.....	34
FIGURA 10 - SOFTWARE CAD/CAM	34
FIGURA 11 - PEÇA FRESADA.....	35
FIGURA 12 - CORTE A LASER	36
FIGURA 13 - CORTE A LASES EM COURO COM APLICAÇÃO EM CALÇADO	37
FIGURA 14 - FDM: PROCESSO - FONTE: THRE3D, 2014.....	38
FIGURA 15 - BICO EXTRUSOR PARA TERMOPLÁSTICOS.....	38
FIGURA 16 - EXTRUSÃO EM CHOCOLATE	39
FIGURA 17 – IMPRESSORA LOM.....	40
FIGURA 18 - OBJETO CONFORMADO POR LOM.....	40
FIGURA 19 - PROCESSO DA IMPRESSÃO LOM	41
FIGURA 20 - CONFORMAÇÃO EM SLS	42
FIGURA 21 - PRODUTO CONFORMADO EM SLS.....	42
FIGURA 22 - OBJETO CONFORMADO EM FDM COM PROJEÇÃO DE SUPORTE NA COR BRANCA.....	43
FIGURA 23 - OBJETO SEM APLICAÇÃO DE RESINA OU TINTAS	43
FIGURA 24 - CONFORMAÇÃO POR SLA	44
FIGURA 25 - CONFORMAÇÃO POR SLA EM QUALIDADE DE CURA FINAL.....	45
FIGURA 26 - PROCESSO DE CONFORMAÇÃO POR SGC	46
FIGURA 27 - PEÇA CONFORMADA POR SGC.....	47
FIGURA 28 - PROCESSO DE CONFORMAÇÃO POR MJT	48
FIGURA 29 - PROCESSO DE CONFORMAÇÃO EM IJP.....	49
FIGURA 30 - CONFORMAÇÃO EM LENS.....	50
FIGURA 31 - CONFORMAÇÃO EM PLT	52
FIGURA 32 - CONFORMAÇÃO EM 3DP	53
FIGURA 33 – FRONTEIRAS DA ERGONOMIA, CIÊNCIA E TECNOLOGIA: PROJETOS ERGONÔMICOS.....	55
FIGURA 34 - A CURVATURAS DA COLUNA VERTEBRAL EM CONJUNTO.....	65
FIGURA 35 - A APARIÇÃO DAS CURVATURAS DA COLUNA VERTEBRAL.	65
FIGURA 37 - HOMEM (VISTA FRONTAL)	71
FIGURA 38 - HOMEM (VISTA LATERAL).....	72

FIGURA 39 - HOMEM (VISTA SUPERIOR)	72
FIGURA 40 - NÍVEIS DE ALCANCE PARA CADEIRANTES	73
FIGURA 40 - DIMENSIONAMENTO ANTROPOMÉTRICO.....	77
FIGURA 41 - TRENA ANTROPOMÉTRICA	78
FIGURA 42 - DIMENSÕES MAIS USADAS POR DESIGNERS	79
FIGURA 43 - ANÁLISE DA TAREFA	81
FIGURA 44 - DIAGRAMA DA TAREFA.....	81
FIGURA 45 - ALTERNATIVA 1.....	87
FIGURA 46 - ALTERNATIVA 2.....	88
FIGURA 47 - ALTERNATIVA 3.....	89
FIGURA 48 – ALTERNATIVA 1	91
FIGURA 49 - ALTERNATIVA 2.....	91
FIGURA 50 - RENDERING COMPLETO.....	93
FIGURA 51 - RENDERING DA PARTE PLANA DO SUPORTE	93
FIGURA 52 - RENDERING DO SISTEMA DE SUSTENTAÇÃO.....	94
FIGURA 53 - VISTA EXPLODIDA DO MODELO.....	94
FIGURA 54 - AMBIENTE DE MODELAGEM DO <i>RHINOCEROS</i>	95
FIGURA 55 - IMPRESSORA 3D.....	96
FIGURA 56 - CONFIGURAÇÃO PARA IMPRESSÃO DAS PEÇAS	97
FIGURA 57 - CLONERMAKER3D INTERPRETANDO OS CÓDIGOS	97
FIGURA 58 - PEÇAS SENDO PROTOTIPADAS.....	98
FIGURA 59 - PEÇA PRONTAS	98
FIGURA 60 - <i>LAYOUT</i> DE CORTE FEITO NO <i>ILLUSTRATOR</i>	99
FIGURA 61 - <i>SOFTWARE</i> OPERANDO O CORTE	99
FIGURA 62 – CORES DIFERENTES PARA DIFERENCIAR O CORTE DO QUE VAI SER GRAVADO	100
FIGURA 63 - PEÇA FINAL CORTADA E GRAVADA A LASER	100
FIGURA 64 - MODELO EM ESCALA REDUZIDA	101
FIGURA 65 - SUPERFÍCIE SEM DESLOCAMENTO.....	102
FIGURA 66 - SUPERFÍCIE EM DESLOCAMENTO.....	102
FIGURA 67 - VISTA FRONTAL DA CADEIRA DE RODA.....	119
FIGURA 68 - VISTA SUPERIOR.....	120
FIGURA 69 - VISTA LATERAL	121

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - NECESSIDADES DO USUÁRIO	76
TABELA 2 - DIMENSIONAMENTO DO USUÁRIO	78
TABELA 3 - DIMENSIONAMENTO DA CADEIRA DO USUÁRIO	79
TABELA 4 - AVALIAÇÃO DE DESCONFORTO ANTES DE EXECUTAR A ATIVIDADE	82
TABELA 5 - AVALIAÇÃO DE DESCONFORTO DEPOIS DE EXECUTAR A ATIVIDADE	82
TABELA 6 - REQUISITOS DO PROJETO	84
TABELA 7 - ANÁLISE DE SIMILARES.....	86
TABELA 8 - RESULTADO DA ANÁLISE DE SIMILARES	86
TABELA 9 - SELEÇÃO DE ALTERNATIVAS PARA SUPERFÍCIE DO SUPORTE DE LEITURA	90
TABELA 10 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS PARA SUPERFÍCIE DO SUPORTE DE LEITURA	90
TABELA 11 - SELEÇÃO DE ALTERNATIVA SISTEMA DE SUPORTE DO SUPORTE DE LEITURA.....	92
TABELA 12 - RESULTADO DA AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS PARA SISTEMA DE SUPORTE DO SUPORTE	92

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

3DP	Impressão Tridimensional
ABS	Acrilonitrila Butadieno Estireno
AM	Manufatura Aditiva
CAD	Desenho Assistido por Computador
CAM	Manufatura Auxiliada por Computador
CNC	Comando Numérico Computadorizado
FDM	Modelagem por Decomposição Fundida
IJP	Impressão a Jato de Tinta
LENS	Conformação Próxima ao Formato Final Via Laser
LM	Manufatura por Camadas
LOM	Fabricação de Objeto Laminado
MJT	Impressão por Múltiplos Jatos de Tinta
PES	Poliéster
PI	Produtos Individualizados
PLA	Poliácido Láctico
PLT	Tecnologia com Lâminas de Papel
PP	Polipropileno
PPR	Processo de Prototipagem Rápida
RP	Prototipagem Rápida
RT	Ferramental Rápido
RM	Manufatura Rápida
SGC	Cura Sólida na Base
SLA	Esteriolitografia
SLS	Sinterização por Laser Seletivo

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
1.1. Contextualização	17
1.2. Problema da pesquisa	18
1.3. Perguntas da pesquisa	18
1.4. Objetivos	18
1.4.1. Objetivo geral	19
1.4.2. Objetivos específicos	19
1.5. Metodologia	19
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1. Artesanato, Design e Revolução industrial	21
2.2. Tecnologias de prototipagem rápida e manufatura rápida	27
2.2.1. Fresamento	33
2.2.2. Corte a laser	35
2.2.3. Modelagem por decomposição fundida (FDM).....	37
2.2.4. Modelagem de objetos por laminação (LOM)	39
2.2.5. Sinterização por laser seletivo (SLS).....	41
2.2.6. Estereolitografia (SLA)	43
2.2.7. Cura sólida na base (SGC)	45
2.2.8. Impressão por múltiplos jatos de tinta (MJT)	47
2.2.9. Impressão a jato de tinta (IJP)	48
2.2.10. Conformação próxima ao formato final via laser (LENS).....	49
2.2.11. Tecnologia com lâminas de papel (PLT).....	51
2.2.12. Impressão tridimensional (3DP)	52
2.3. Ergonomia aplicada ao design	54
2.4. Biomecânica da postura sentada	63
2.4.1. A coluna vertebral	63
2.5. Antropometria	67
3. APLICANDO TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM NO DESIGN	74
3.1. Metodologia projetual de Alcoforado (2014)	74
3.2. O cadeirante como estudo de caso	74
3.3. Necessidades do usuário	76

3.4. Requisitos do projeto	76
3.5. Análise de similares	84
3.5.1. Resultados da análise de similares.....	86
3.6. Geração de alternativas	87
3.6.1.1. Alternativa 1	87
3.6.1.2. Alternativa 2	88
3.6.1.3. Alternativa 3	88
3.6.1.4. Seleção alternativa para superfície do suporte.....	89
3.6.2. Geração de alternativas sistema de suporte do suporte	90
3.6.2.1. Alternativa 1.....	91
3.6.2.2. Alternativa 2	91
3.6.2.3. Seleção de alternativa para sistema de suporte do suporte	92
3.7. Rendering da alternativa	92
3.8. Processo de prototipagem/manufatura rápida	94
3.8.1. Modelo final	100
3.8.2. Modelo final melhorado	101
3.9. Memorial descritivo.....	102
3.10. Considerações sobre o projeto	103
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS	105
REFERÊNCIAS.....	107
APÊNDICES.....	118
Apêndice A – Entrevista.....	118
Apêndice B – Dimensionamento da cadeira do cadeirante	119
ANEXOS.....	122
Anexo A - Escala de avaliação de desconforto postural	122

1. INTRODUÇÃO

1.1. Contextualização

É notado desde o século XVIII com a chegada da revolução industrial, a inserção das máquinas em diversos ambientes, dentre eles o principal ambiente foi o ambiente fabril. E foram dentro dos ambientes fabris que as máquinas evoluíram. Como decorrência dessas evoluções das máquinas nas fábricas, as mesmas passaram então a fazer partes de outros ambientes facilitando a vida das pessoas em seu dia-a-dia, agora não apenas no ambiente de trabalho.

Com a evolução das tecnologias, as máquinas passam a habitar nas casas das pessoas facilitando as atividades desenvolvidas em seu lar. É válido salientar que as mesmas também se espalham para outros ambientes como hospitais, restaurantes, entre outros passando a ser massificado e indispensável o uso das máquinas nesses ambientes e nas diversas atividades executadas cotidianamente nesses ambientes.

Quando se trata do uso de máquinas em diversos ambientes dar-se necessário explanar sobre as máquinas que já substituem humanos na execução de inúmeras atividades.

Decorrente da massificação do uso das máquinas em diversos setores, o design não poderia deixar de lado essas tecnologias. Estamos em uma época que as tecnologias ao passar dos dias vão ganhando mais espaço, de forma gradativa em ambientes escolares, na rua, no trabalho e em casa, agora para outras necessidades que inexistiam no século XIII.

Dentro deste contexto de ampliação contínua das tecnologias que vem datada desde o século XVIII com o nascimento da revolução industrial, nos deparamos inclusive no cenário de diversas tecnologias de prototipagem rápida.

Dentre diversas tecnologias contemporâneas, uma das tecnologias bem ressaltadas é a Modelagem por Deposição Fundida (FDM), conhecida popularmente como Impressão 3D, que entra em um contexto que facilita a vida do designer em diversas situações e em especial, quando se trata do desenvolvimento com protótipos.

Com o protótipo, o designer pode verificar os possíveis erros que iriam ocorrer quando o produto fosse finalizado, exposto e comprado pelo consumidor final. Com isso estima-se que a economia de tempo e de custos proporcionada pela aplicação das técnicas de prototipagem rápida na construção de modelos sejam da ordem de 70 a 90%. (GORNI, 2001).

1.2. Problema da pesquisa

Qual a contribuição das tecnologias de prototipagem rápida para o processo de desenvolvimento de produto individualizados (PI).

1.3. Perguntas da pesquisa

- Como tecnologias de prototipagem rápida podem ajudar no processo de Design?
- Como a prototipagem interfere no desenvolvimento de PI?
- Como pode ser desenvolvido um suporte de leitura com tecnologia de prototipagem rápida?

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo geral

Apontar caminhos para o emprego da prototipagem rápida no desenvolvimento de produtos individualizados (suporte para leitura).

1.4.2. Objetivos específicos

- Mapear o estado da arte das tecnologias de prototipagem rápida
- Identificar se alguma tecnologia de prototipagem rápida facilita o processo de manufatura
- Desenvolver um suporte de leitura para cadeirante a partir de um sistema de modelagem e impressão 3D.

1.5. Metodologia

Esta pesquisa é de cunho projetual, durante o desenvolvimento da mesma foi projetado um produto. A abordagem das tecnologias de prototipagem rápida é de grande importância, importante também respaldar a importância de aspectos ergonômicos para o desenvolvimento do produto individualizado para o cadeirante, sendo então uma pesquisa multidisciplinar pois abordará fundamentação teórica de Design e Ergonomia.

Qualitativa, pois abordar diversas tecnologias tendo como característica a qualidade das informações presente nesse documento e também será um estudo de caso, pois estabelece parâmetros de desenvolvimento projetual focado nas características de um determinado usuário.

Para Kauark (2010) estudo de caso é um estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos que se permite o seu amplo e detalhado conhecimento. Como método de abordagem, o hipotético-dedutivo, pois acreditasse que a prototipagem pode contribuir para o desenvolvimento de produtos individualizados, fazendo então uma abordagem geral sobre tecnologias de prototipagem, indo para um contexto específico de produtos individualizados.

Como técnicas de pesquisa, feito um levantamento bibliográfico como suporte para o desenvolvimento desta pesquisa. Será realizado observações direta intensiva por meio de entrevista. A presente pesquisa não terá amostragem pois terá apenas um participante.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Artesanato, Design e Revolução industrial

Segundo MASCÊNE et al (2010, p. 22) define o artesanato como toda atividade produtiva que resulte em objetos e artefatos acabados, feitos manualmente ou com a utilização de meios tradicionais ou rudimentares, com habilidade, destreza, qualidade e criatividade. Neste universo, o Termo de Referência categoriza essas atividades de acordo com seu processo de produção, sua origem, uso e destino.

Historicamente o artesanato tem uma ligação direta e mutante com o ser humano e o meio em que o mesmo está incluso, pois o artesanato se modifica com o decorrer dos tempos (SERAFIM, 2015).

Com base na afirmação conferida pela autora citada acima é possível notar a evolução da humanidade a partir de seus artefatos artesanais. Assim, toda população tem um acervo artesanal, e a partir das características intrínsecas notórias nesses artefatos, não se faz necessário que os mesmos precisem ser assinados identificando quem o fez, essas características já deixam as claras por quem foi feito.

Os primeiros produtos artesanais estão diretamente ligados as civilizações que fizeram parte da pré-história. Como artefato de artesanato da época tem-se as suas vestimentas, as suas armas de caça, entre outros artefatos que caracterizam essa determinada civilização, que buscavam meio de sobrevivência, onde inexistia luz artificial e até mesmo meios facilitadores de como conseguir comida, ou forma de lazer para essas civilizações de grandes artesãos.



Figura 1 - Artefatos do período Neolítico – Fonte: Yting, 2015.

É válido ressaltar que primeiros objetos artesanais são catalogados do período neolítico (aproximadamente 6.000 a.C.) e já apresentavam características funcionais e decorativas (COSTA, 2012).

Para Ono (2006), esses primeiros artefatos desenvolvidos pelos homens pré-históricos, interferem no espaço natural dando início à manifestação cultural, material e artesanal da época. Esses artefatos geram uma comunicação e acabam fazendo parte das relações sociais entre as civilizações (SERAFIM, 2015).

Faz-se necessário comentar que antes da Revolução Industrial, não havia uma cisão entre beleza e utilidade:

Uma jarra de vidro, uma cesta de palha, um vestido rústico de musselina, uma bandeja de madeira: objetos belos, não apesar de sua utilidade, mas por causa dela. Sua beleza lhes é inerente, como o perfume ou a cor das flores. É inseparável de sua função: são coisas belas porque são coisas úteis. O artesanato pertence a um mundo anterior à distinção entre o útil e o belo. Tal distinção é mais recente do que se imagina. Muitos dos artefatos que chegaram até nossos museus e coleções particulares pertenciam a um mundo no qual a beleza não era um valor isolado e autônomo. Um utensílio, um talismã, um símbolo: a beleza era a aura em torno do objeto, resultante –

quase sempre involuntariamente – da relação secreta entre sua forma e seu significado. Forma: o modo como uma coisa é fabricada; significado: o propósito para o qual é fabricada (PAZ, s/d).

Ao artesão, assim como ao artista, também cabia a função da concepção e execução de objetos únicos (CARDOSO, 2004) e nesses artefatos gerados pelas mãos desses artesão e artistas as suas características ficam empreguinadas, sendo assim peças exclusivas.

Por serem peças exclusivas, o artesão nunca consegue fazer peças fidedignas umas às outras, ressaltando também que o tempo de concepção dos artefatos artesanais são relativamente maiores quando comparado ao tempo de criação de artefatos produzidos pelas máquinas.

Com a chegada da Revolução Industrial no século XVIII muita coisa começa a ser mudado por conta que, o que antes era criado pelo artesão/artista, passa a ser criado nas indústrias e com um poder de produção muito elevado aos dos profissionais citados acima. Com o advento da Revolução Industrial o tempo de produção se torna muito menor quando se trata do tempo de produção artesanal.

Como contraste do artesanato x indústria, os artefatos produzidos pelos artesãos/artistas que eram peças exclusivas, com a industrial os produtos poderiam ser produzidos em série com um tempo de produção muito inferior ao artesanal. Com as indústrias novo matérias foram explorados, assim como novas técnicas de produção.

Onde antes da Revolução Industrial o artesão/artistas fazia os artefatos para a civilização de sua época, agora surge a necessidade do designer dentro da indústria para então poder projetar produtos que sejam produzidos em série.

Löbach (2001) afirma que, para ser um produto de design o mesmo precisa ser passível de produção em série, o que descaracteriza os produtos produzidos pelos artistas/artesãos passando a ser qualquer coisa, menos produto, segundo o autor citado anteriormente.

Para Heskett (2008) o design afeta todo mundo em todos os detalhes de todos os aspectos de tudo que as pessoas fazem ao longo do dia. “Design é o processo de conceber, planejar, projetar, coordenar, selecionar e organizar uma série de elementos – normalmente textuais e visuais – para a criação de comunicações visuais” (Frascara apud Farbiarz, J., 2007);

Conforme Maldonado (1999, p. 13), “tudo isto mostra como é difícil formular uma definição de *design* industrial, baseando-se exclusivamente na modalidade do processo laborativo”.

Para Flusser (2007), está definição é apresentada sob o foco da língua inglesa, por indicação como substantivo ou verbo. Como substantivo significa “protótipo, plano, interação, meta, esquema maligno, conspiração, forma, estrutura básica, e todos esses e outros significados estão relacionados à astúcia e à fraude” (FLUSSER, 2007, p. 181). Como verbo “*to design*” o autor comenta que significa “tramar algo, simular, projetar, esquematizar, configurar, proceder de modo estratégico” (FLUSSER, 2007, p. 181).

Com base no entendimento de Flusser (2007) o design tem condição de moldar o natural através de técnicas tornando-o artificial. Nessa mesma linha de pensamento Calvera (2006, p. 101) ressalta que o design se refere ao processo de projetar, e está assim relacionando à prática.

A autora ainda indaga que:

Design é o tornar-se consciente de ação transformadora como uma atividade de modelagem [...] como um modo de ação transformação, ele nos permite ver como negociamos os limites do que entendemos, em qualquer momento, na definição do atual. Ele denomina a sua abordagem umas 'práxis ou phrónesis, do artificial'. (CALVERA, 2006, P. 101).

Cardoso (2008, p. 20) afirma que em sua origem o termo design já se apresenta ambíguo. Mas que se refere ao aspecto abstrato de “conceber/projetar/atribuir” ou frente ao aspecto concreto “registrar/configurar/formar”. Forty (2007) indica que o termo design poderá ter dois significados. O primeiro direcionado às aparências das

coisas, que, de certa forma, refere-se à “beleza/estética” de tais produtos, e o Segundo está mais voltado para o uso da palavra design, ou seja, “[...] à preparação de instruções para a produção de bens manufaturados, e este é o sentido utilizado quando alguém diz ‘estou trabalhando no design de um carro’”. (FORTY, 2007, p. 12).

Para Moraes (2007) o design na sociedade contemporânea pode ser visto como um novo caminho de projetar o design, cuja concepção ultrapassa o objeto em si, tendo em vista que busca a inserção de valores intangíveis e a construção de sentidos a todo esse processo. Deve também ser entendido enquanto transformador nas instâncias tecnológicas, sociais e ambientais.

O design passa a fazer parte de um contexto em que a indústria se destaca como fundamental para o crescimento da economia, com isso, o design industrial é entendido como “[...] a concepção de objetos para fabrico industrial, [...] por meio de máquinas, e em série” (MALDONADO, 1999, p. 11).

Com todas as intervenções advindas da Revolução Industrial, o que antes se tinha produtos feitos por artesãos/artistas em pequena escala e exclusivo, a indústrias chegam e mudam todo o contexto de produção com novos materiais, técnicas, tempo de produção. A Revolução Industrial chega com o intuito de facilitar a disseminação de produtos para diversos usos com um baixo custo.

Entretanto, atualmente é inviável desenvolver produtos por meio das grandes indústrias, que não sejam produzidos em grande escala, indo totalmente de encontro aos pressupostos de barateamento de produtos do século XVIII. Para se desenvolver produtos em pequena escala por intermédio de indústrias, o custo/benefício do produto fica inviável, por conta que esses produtos são financeiramente viáveis quando em grande escala.

Como um olhar para esses grandes avanços tecnológicos, empresas passam a produzir seus próprios produtos sem a necessidade de enviá-los para serem produzidos em grande escala nas indústrias, montando agora um novo cenário para

o desenvolvimento de produtos individualizados por intermédio da manufatura rápida¹.

Com esse novo cenário surgem novos questionamentos para a indústria, por conta desse novo meio de produção. Com a manufatura rápida o usuário pode fazer seus próprios produtos em qualquer lugar.

Com foco nessa facilidade de produção por intermédio da manufatura rápida, surgem então a necessidade de produzir produtos para suprir suas necessidades mais particulares, nascendo então um novo nicho para o mercado de Produtos Individualizados (PI). Empresas passam a desenvolver produtos para características específicas do seu usuário.

Por conta dessas características específicas dos usuários é totalmente inviável a produção desses artefatos nas indústrias por conta que o custo seria elevadíssimo para a produção de uma peça única e exclusiva para um determinado usuário.

Para Lima (2009) o mercado encontrasse atualmente em um ambiente cada vez mais globalizado, onde os seus produtos devem estar dentro das qualificações exigidas pelo consumidor. Assim a indústria/empresa que não estão focadas nos avanços tecnológicos acabam ficando para trás das que estão sempre buscando melhorias e novas tecnologias que venham agregar valor a mesma.

Com a manufatura rápida é possível desenvolver produtos tendo uma ligação muito próxima do usuário final, contrastando com a indústria que desenvolvem produtos para uma massa e que correm o risco desse produto ser aceito positivamente ou negativamente pela massa.

Com base nesse novo mercado, empresas como *Wacker*, *Eos* e *Adidas* já desenvolvem produtos individualizados para diversos clientes.

¹ Rápida manufatura é uma nova área de manufatura desenvolvida de uma família de tecnologias conhecida por um amplo termo, inclusive o uso de (RP) prototipagem rápida, (RT) ferramentaria rápida e o uso direto de tecnologias de manufatura de camada para produzir produtos finais rapidamente (LABGRAPH, 2015).



Figura 2 - Produto individualizado produzido pela Adidas - Fonte: Adidas, 2015.

Por essa facilidade da manufatura rápida, pode-se produzir diversos protótipos para serem testando inúmeras vezes, antes do mesmo ser finalizado, visando avanços nos processos de desenvolvimento do produto, mantendo qualidade e ao mesmo tempo obtendo um ciclo de desenvolvimento de produto reduzido (TOLEDO; BRITO, 1999).

Tendo também como um diferencial para a manufatura rápida, o valor da matéria prima que é bem mais barata das matérias primas utilizadas nas indústrias assim como os processos para concepção de partes ou do produto como um todo acaba sendo mais rentável financeiramente quando se trata de processos e técnicas de produção de produtos dentro de um setor industrial.

2.2. Tecnologias de prototipagem rápida e manufatura rápida

A prototipagem rápida é uma tecnologia inovadora desenvolvida nas últimas duas décadas. Ela visa produzir protótipos de forma relativamente rápida para inspeção visual, avaliação ergonômica, análise de forma/dimensional e como padrão mestre para a produção de ferramentas para auxiliar na redução de tempo do processo de desenvolvimento de produtos (CHOI e CHAN, 2004).

Para LabGraph (2015) prototipagem rápida em resumo é um processo que emprega softwares de ambientes 3D, que transforma objetos 3D em seções transversais e quando impresso o objeto físico corresponde ao objeto virtual.

Neste contexto os termos Manufatura Aditiva (*Additive Manufacturing – AM*), Prototipagem Rápida (*Rapid Prototyping – RP*), Ferramental Rápido (*Rapid Tool – RT*), Manufatura Rápida (*Rapid Manufacturing - RM*) e Manufatura por Camadas (*Layer Manufacturing - LM*) (CASAGRANDE, 2013).

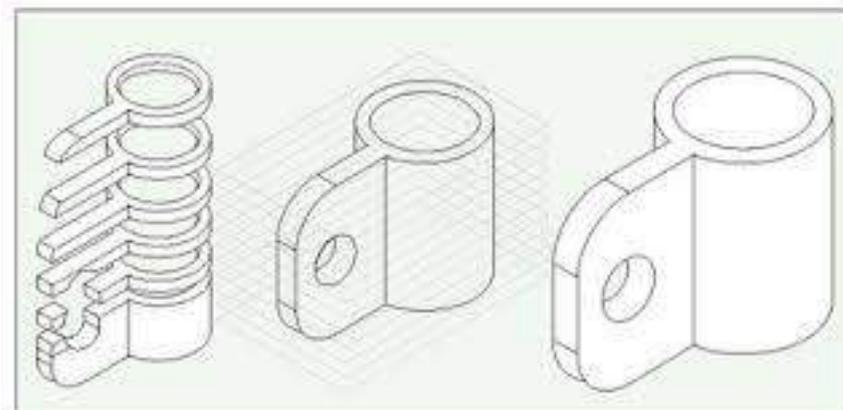


Figura 3 – Objetos com seções transversais em ambiente digital de impressão – Fonte: Encrypted, 2015.

Esta diversidade de nomenclaturas tem um motivo histórico. No final dos anos 80 surgiram as primeiras tecnologias para fabricação de protótipos, seja através da construção do protótipo em si, seja indiretamente através da criação de moldes para fabricar protótipos (LAFRATTA, 2004). Ainda nessa época os materiais utilizados para a confecção dos protótipos tinham baixas propriedades térmicas, químicas e mecânicas, ou seja, sua durabilidade é reduzida e seu preço de produção.

Contudo, com o desenvolvimento dos materiais que poderiam ser utilizados nas máquinas de RP, as propriedades já eram suficientes para algumas aplicações em produtos finais e o custo já não era tão elevado como antes. Essa grande quantidade de definições demonstra que eram criadas diversas definições para o mesmo princípio de fabricação e com o desenvolvimento desses materiais mais definições existirão. Por conta dessa grande quantidade de definição alguns teóricos conceituaram a tecnologia.

Kai, Jacob e Mei (1997) definem a RP como sendo um processo que produz peças camadas por camadas diretamente do modelo de CAD. Todavia, processos que produzem objetos a partir da sobreposição de camadas, também podem ser

chamados de modelagem por deposição fundida (FDM), conhecido popularmente por impressão 3D.

Pham e Gault (1998) definem RP como um grupo de novas tecnologias para produção precisa de peças diretamente dos modelos de CAD em algumas horas, com a mínima necessidade de intervenção humana. Uma ressalva feita na década de 90, entretanto muito contemporânea. É notório o quando as tecnologias de prototipagem estão diretamente ligadas ao desenvolvimento de modelos CAD.

Para Kaminski (2000) a RP é uma tecnologia que produz modelos físicos a partir de materiais básicos depositado em camadas subsequentes cujo contorno é obtido diretamente desses sistemas. Atualmente, o desenvolvimento de modelos físicos a partir de produtos como plástico tendo como exemplo o ABS e o PLA, assim como é visto nesses processos a utilização de gesso e de um produto primário como a madeira no processo de fresamento.

Upcraft e Fletcher (2003) afirma que este termo é genérico para um conjunto de tecnologias que disponibilizam componentes sem a necessidade de ferramental em um primeiro momento, ou sem a necessidade de prototipadores. Os autores citados acima fazem uma afirmação pertinente, pois em diversos processos de prototipagem rápida é desnecessária a utilização de ferramentas no processo de conformação.

Volpato (2007) define RP como um processo de fabricação através da adição de material na forma de camadas planas sucessivas, permitindo fabricar componentes físicos 3D com informações obtidas diretamente do modelo geométrico gerado no software CAD, de forma rápida, automatizada e totalmente flexível.

Hopkinson, Hague e Dickens (2006) definem RM como o processo de manufatura aditiva automatizada baseada no uso do desenho assistido por computador (CAD) para construir peças que serão utilizadas como produtos finais ou componentes.

Para Buswell et al, (2007) o termo RP refere-se normalmente aos métodos de produção de protótipos por sistemas aditivos. Sendo assim, apesar de algumas pequenas diferenças, a RP é então a fabricação de objetos por deposição de camadas geradas a partir de um modelo CAD, sem a necessidade de mudança de ferramentas, para um fim.

Impressão 3D é um nome dado ao processo onde é criado um objeto com três dimensões a partir de um modelo digital. (AZEVEDO, 2013). Tecnicamente, impressão 3D é um processo no qual camadas de materiais, que em grande parte das vezes é a Acrilonitrila Butadieno Estireno (ABS) ou Poliacido Láctico (PLA) são adicionadas de forma sucessiva uma encima da outra compondo então o objeto 3D, inicialmente modelado em ambiente 3D digital.



Figura 4 – Filamento de ABS utilizado na conformação por FDM – Fonte: Impressoras, 2015.

Assim como toda tecnologia tem seus pontos positivos e negativos, na prototipagem rápida Modeen (2005) ressalta os seguintes pontos fortes: sua capacidade de confeccionar formas tridimensionais complexas e com muitos detalhes; redução do *lead times* para peças únicas e possibilidade de instalação em ambientes domiciliares, devido à baixa produção de ruído e desperdícios.

Vale salientar que essa técnica foge das formas de concepção de produtos, como por exemplo a conformação de produtos metálicos por usinagem, onde a

usinagem gera *cavaco*. Já na impressão 3D, não é gerado *cavaco*². Todavia, em algum momento da impressão pode ocorrer a existência de alguma sobra de material, entretanto, na grande maioria das vezes inexistente *cavaco* na impressão 3D.



Figura 5 – Cavaco metálico – Fonte: Media, 2015.

Outro grande contraste no desenvolvimento de produtos feitos por impressão 3D para processos de concepção de produtos industriais é o custo da matéria prima, pois em grande parte dos materiais um dos fatores que pesam no momento da escolha do material é o seu custo.

Sendo então a impressão 3D mais rentável financeiramente falando por conta do seu índice de desperdício mínimo no processo de concepção do produto. Segundo Deurson (2013) a primeira impressora 3D foi criada em 1984 por Chuck Hull. Entretanto em 2008, que houve uma queda drástica no preço das impressoras.

Onde antes custavam em torno de \$ 200,000 passando para até \$2,000. Uma grande coadjuvante para essa que são os softwares de código aberto com objetivo de uma manipulação simples e direta quando se trata da manipulação das impressoras 3D (REPRAP, 2012).

² Segundo CIMM (2015) cavaco é o material removido durante o processo de usinagem, cujo objetivo é obter uma peça com forma e dimensões definidas.

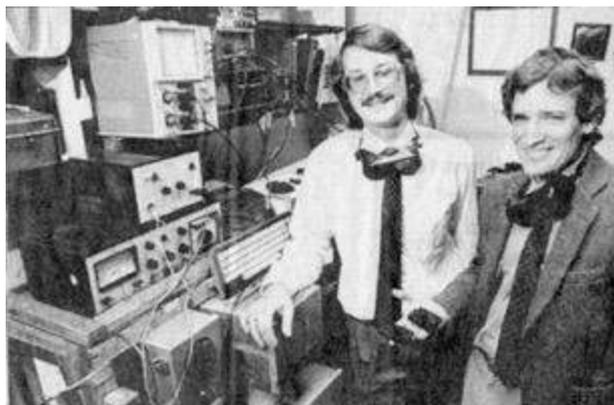


Figura 6 - Protótipo da impressora 3D de Chuck Hull - Fonte: Media, 2015.

Então, as impressoras 3D agora passam a ser um produto de desejo, e juntamente com esse desejo, nasce agora um novo contexto para o desenvolvimento de produtos em casa, deixando de lado a ideia que apenas as indústrias poderiam desenvolver produtos passíveis de produção em massa.



Figura 7 - Impressora 3D - Fonte: Media, 2015.

Dentro deste contexto surge o desejo de produzir os próprios produtos, que supriram necessidades oriundas do dia-a-dia por conta que as empresas produzem artefatos para a população de modo geral, deixando de lado uma necessidade específica de um determinado usuário. Segundo Löbach (2001) isso se trata de produtos industriais usados exclusivamente por uma determinada pessoa, surgindo uma relação forte entre a pessoa e o produto. Então nasce a necessidade de ter

produtos feitos pelo usuário e para o usuário com o propósito de suprimir necessidades existentes e/ou aspirações futuras.

2.2.1. Fresamento

A operação de fresamento é um dos processos de usinagem em que a peça é o resultado de um processo de remoção de material, sendo possível adquirir geometrias através da rotação da ferramenta junto com o deslocamento da própria ferramenta ou da peça a ser usinada (MACHADO et al, 2009). Para Alcoforado (2014) fresamento é um processo subtrativo onde um bloco de material pode ser desgastado pela ação de uma fresa controlada numericamente por computador (CNC).



Figura 8 – Usinagem – Fresadora CNC – Fonte: Logismarket, 2015.

Para Souza e Ulbrich (2009), o processo de fresamento assumi um papel importante na manufatura de moldes e matrizes, devido a sua versatilidade na produção de geometrias complexas. Entretanto, o fresamento de formas complexas ainda representa um grande desafio para este processo de prototipagem rápida (PPR). O processo para a concepção da usinagem por fresadora é prático e conciso.

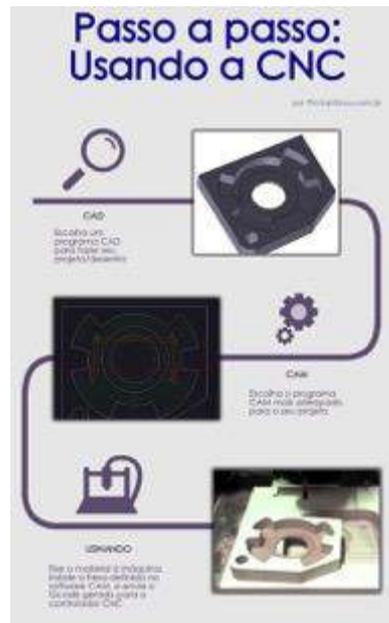


Figura 9 - Utilização da CNC - Fonte: Proptimus, 2015.

Para Fett (2010) estes sistemas estão sendo utilizados para o desenvolvimento de produtos desde uma simples caneta a grandes embarcações, utilizados praticamente em todos os setores da indústria.

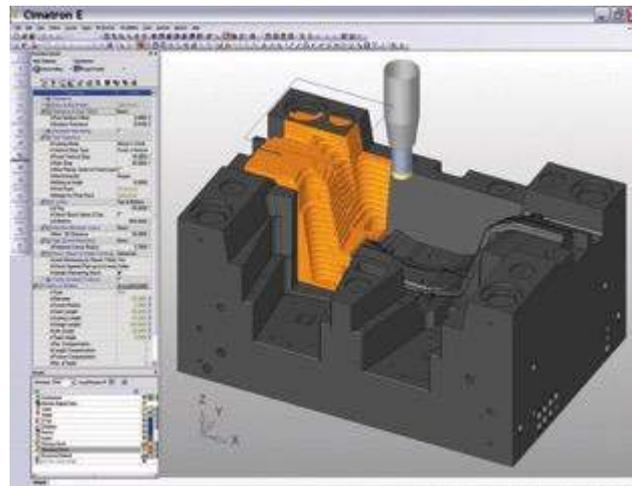


Figura 10 - Software CAD/CAM - Fonte: Plastico, 2015.

Atualmente existe centenas de softwares que podem ser usados para se trabalhar com máquinas CNC. Em resumo para utilizar uma CNC é necessário

de um programa CAD (Desenho Assistido por Computador), um CAM (Manufatura Auxiliada por Computador) e por fim o controlador da máquina.



Figura 11 - Peça fresada - Fonte: Api, 2015.

2.2.2. Corte a laser

Weiss (2012) comenta que o processo de corte a laser é, atualmente, bastante usado para efetuar corte em perfis definitivos e, em muitos casos, pode substituir os processos de fabricação como furação e estampagem facilitando e amenizando processos mais complexos.

Para Moraes e Borges (2010), no corte a laser, a energia elétrica é transformada em uma luz com um só comprimento de onda (λ), que concentra energia de forma muito eficaz.

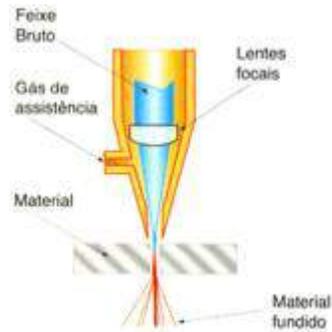


Figura 12 - Corte a laser - Fonte: Industria, 2016.

Segundo Joaquim e Ramalho (2010), o corte de materiais por laser é um processo bastante flexível por assim construir corte com alta qualidade. Como principal utilização é a execução de pequenos protótipos, uma vez que o protótipo não precisa de ferramental para a concepção do mesmo.

O processo de corte a laser também pode ser aplicado para outros fins, como:

- Corte de geometrias complexas, difíceis de serem concebidos por processos de conformação que antecedem o corte a laser.
- Corte preciso para ferramental em aço.
- Materiais com alta rigidez (titânio) difíceis de serem cortados em processos convencionais.
- Corte de materiais não metálicos como: madeiras, pvc, tecidos, etc.



Figura 13 - Corte a laser em couro com aplicação em calçado - Fonte: ExportLaser, 2016.

De acordo com Bystronic (2016), a elevada aplicabilidade do corte a laser em diversos processos de fabricação, unida a uma quase infinita gama de matérias e formas, justifica o reconhecimento da aplicabilidade mundial do corte a laser.

2.2.3. Modelagem por decomposição fundida (FDM)

Segundo Pradella e Folle (2014) este processo utiliza um filamento de resina termoplásticas aquecida sendo extrusado a partir de uma matriz em forma de ponta que se movimentam nos eixos X e Y numa plataforma móvel responsável pelo Z.

É válido salientar que o ideal é que a plataforma responsável pelo eixo z também chamada de mesa, seja aquecida numa temperatura inferior a temperatura do material extrusado para que o mesmo possa endurecer de forma rápida e assim as camadas se unam umas nas outras. Com o decorrer do processo camadas são adicionadas uma acima da outra formando o produto modelado anterior a este processo. Como sequência sincronizada a essas adições de camada a mesa desce conforme ilustrado na imagem abaixo.

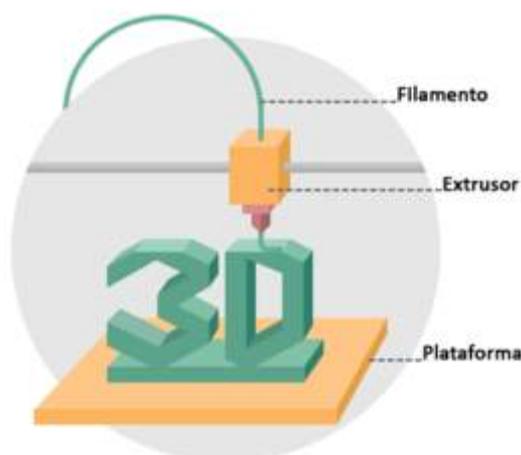


Figura 14 - FDM: Processo - Fonte: THRE3D, 2014

Para Alcoforado (2014) este processo de impressão em FDM permite imprimir protótipos virtuais gerados em 3D a partir de um processo de segmentação de material fundido extrusado uma cabeça de impressão. Geralmente o material a ser extrusado é um termoplástico tipo ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno), PLA (Ácido Poliláctico) e similares (TAKAGAKI, 2012).

Gorni (2001) ressalta que as resinas termoplásticas adequadas a esse processo incluem poliéster (PES), polipropileno (PP), ABS, elastômeros e cera usado no processo de fundição por cera perdida.



Figura 15 - Bico extrusor para termoplásticos - Fonte: Alicdn, 2015.

Takagaki (2012) cita que alguns fabricantes fizeram variações do FDM, onde a cabeça inicialmente desenvolvida para extrusar termoplásticos, agora libera outros tipos de materiais como: chocolate, queijos fundidos, etc

permitindo assim a confecção de produtos comestíveis em formas difíceis de serem modelados de forma manual.

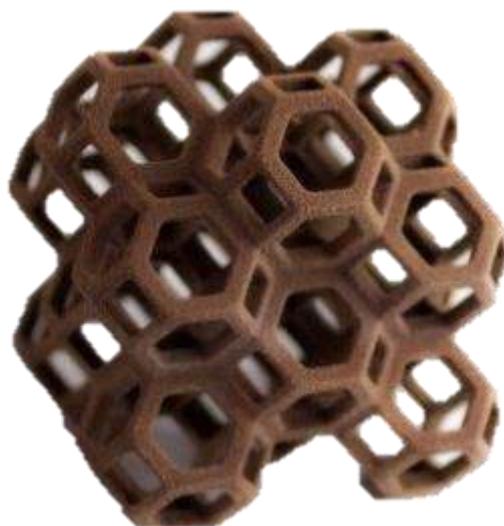


Figura 16 - Extrusão em chocolate - Fonte: PCWORLD, 2015

2.2.4. Modelagem de objetos por laminação (LOM)

Monteiro (2015) ressalta que impressoras LOM não utilizam cabeça de impressão, pois convertem finas lâminas de um determinado material podendo ser plástico, papel ou metal. Algumas dessas máquinas que trabalham com alumínio, usam frequências de ultrassom para fundi-lo, compactando as camadas e tornando o objeto resistente (LIPSON e KURMAN, 2013).



Figura 17 – Impressora LOM – Fonte: Havetech, 2015.

Gorni (2001) ressalta que os mais recentes desenvolvimentos oriundos deste processo permitem o uso de novos materiais, incluindo plástico, papel hidrófobo e pós cerâmicos e metálicos. O mesmo ainda enfatiza fazendo a ressalva que estes materiais pulverulentos geram no final do processo uma peça “verde” que deve ser posteriormente queimado para que a mesma alcance um patamar elevado de resistência mecânica.



Figura 18 - Objeto conformado por LOM - Fonte: Imanishi, 2015.

Para Nascimento (2013) essa fabricação baseia-se na sobreposição de folhas com um dos lados sendo adesivos. O processo ocorre com a decomposição da folha sobre o local, um rolo aquecido é passado sobre as folhas, onde as mesmas se aderem a camada anterior. Um feixe de laser CO₂ é ativado, recortando o desenho.

Este processo apresenta como ponto positivo o não requerimento de pós-cura. De contrapartida, como ponto negativo deste processo, a disponibilidade de materiais é muito pequena para a construção de protótipos, sendo este não flexíveis.

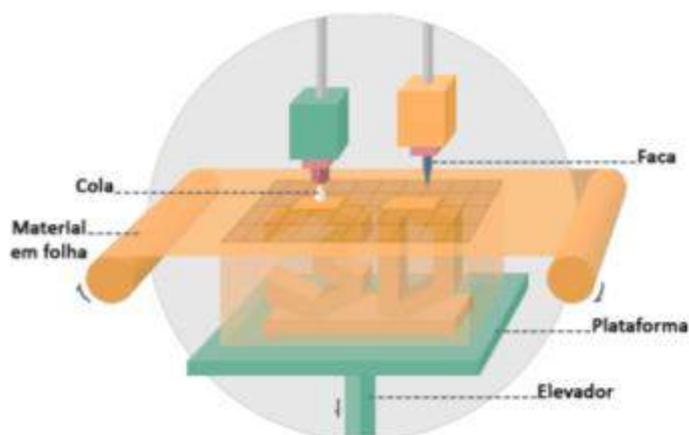


Figura 19 - Processo da impressão LOM - Fonte: THRE3D, 2014.

2.2.5. Sinterização por laser seletivo (SLS)

A sinterização seletiva a laser foi patenteada em 1989, a técnica usa um feixe de laser para ligar seletivamente materiais soa a forma de pó como nylon, elastômeros e metais em um objeto sólido (HOTZA, 2009). Para a sinterização é usado um laser de CO₂, que algumas vezes pode ser até mesmo levado ao ponto de fusão, ocorrendo então a formação do corpo da peça camada por camada.

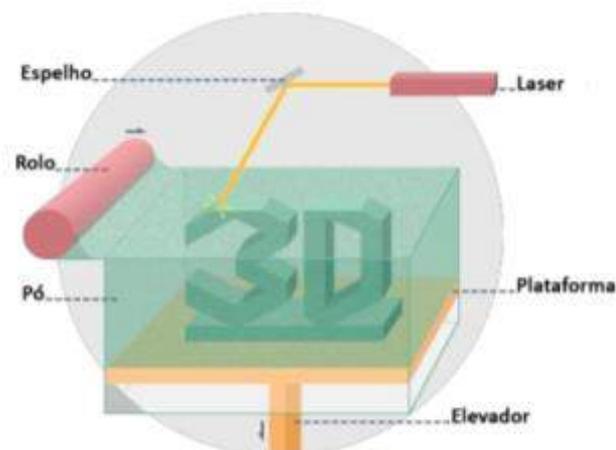


Figura 20 - Conformação em SLS - Fonte: THRE3D, 2014

Após a sinterização da primeira camada o processo é repetido sucessivamente até à finalização do modelo. Quando finalizado o processo é retirado da plataforma de construção e o pó não sinterizado até o final do processo é removido (ANTAS, 2007). Nascimento (2013) comenta que o pó excedente é removido (por escova, ar comprimido...) e reutilizado.



Figura 21 - Produto conformado em SLS - Fonte: UTEXAS, 2015.

Como diferencial deste processo o mesmo não necessita que o software do equipamento defina estruturas de suporte, permitindo por isso um tempo de fabricação mais curto dos demais processos já citados neste documento. Em processo como o

FDM, é necessário a utilização de suporte para a conformação de peça em que suas estruturas não iniciem na base da mesa móvel responsável pelo eixo z.



Figura 22 - Objeto conformado em FDM com projeção de suporte na cor branca - Fonte: 3DPRINT, 2015.

Antas (2007) comenta para fins de acabamento em peça conformadas por SLS é necessário a impregnação com resinas ou tintas para obter garantia de impermeabilidade e baixa rugosidade da peça, já que os modelos no final do processo citado anteriormente ficam com textura porosa e com alguma rugosidade superficial.



Figura 23 - Objeto sem aplicação de resina ou tintas - Fonte: GROWTHOBJECTS, 2015.

2.2.6. Estereolitografia (SLA)

Macedo (2010) comenta que a SLA foi a primeira tecnologia de Prototipagem Rápida apresentada ao mercado e patenteada em 1986. Para o processo de Estereolitografia é utilizada uma resina fotocurável líquida para a construção do protótipo por meio de superposição de camadas.

Para Casagrande (2013) a SLA baseia-se na transformação de uma resina composta por monômeros fotossensíveis que se transformam em cadeias poliméricas. Esta reação química resulta e cadeias poliméricas com estruturas cruzadas.

A conformação do produto na SLA ocorre de acordo com o desenho criado em CAD, os raios laser UV solidificam a resina polimérica, camada a camada dos contornos do objeto pretendido até completar a formação da peça (SELHORST JUNIOR, 2008).

No final da polimerização de cada camada, a plataforma desce, adicionando desta forma resina a camada anterior. Uma lamina regulariza a camada de resina líquida depositada, e o feixe laser é novamente direcionado sobre a resina de forma a construir a camada seguinte (ANTAS, 2007).

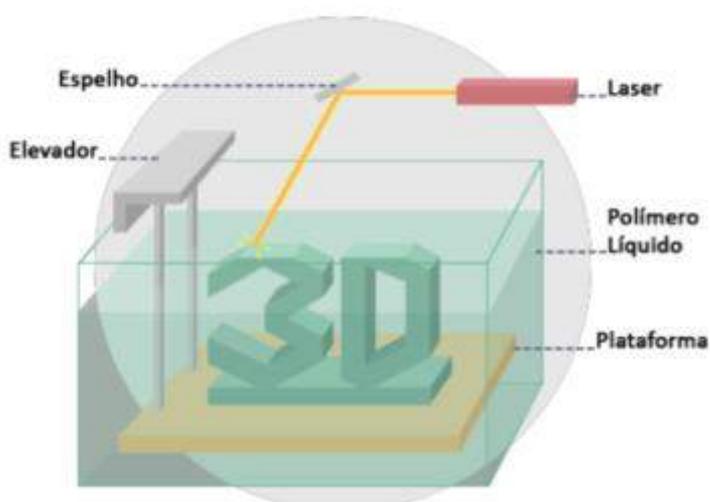


Figura 24 - Conformação por SLA - Fonte: THRE3D, 2014

Após a conformação da peça, é necessário executar alguns processos, como a retirada de suportes de material³ e dependendo do tipo de material usado, ainda pode ser necessário completar a cura do protótipo em forno com luz ultravioleta.

A espessura do feixe é de 0,25mm, entretanto em aplicações que necessitem de uma alta definição o valor do feixe do laser pode ser reduzido para até 0,075mm resultando assim em um tempo maior para a finalização do produto em conformação.

Macedo (2010) comenta que ao se retirar a peça ainda em estado “verde” da máquina, é realizada a limpeza com solvente para que seja retirado resíduos de resina não curados no processo de conformação da peça. Logo após, são removidos os suportes e a peça vai para um forno de radiação ultravioleta para cura total da resina, assim o produto está apto para utilização comercial.



Figura 25 - Conformação por SLA em qualidade de cura final - Fonte: 3DPRINT, 2015.

2.2.7. Cura sólida na base (SGC)

³ Suportes são materiais depositados durante a impressão 3D de forma mais espaçada e frágil com os objetivos de sustentar o início da construção de partes da peça em balanço ou sem apoio (GIBSON, ROSEN e STUCKER, 2010)

Gorni (2001) comenta que este processo é bastante similar a Estereolitografia (SLS), pois ambos usam radiação ultravioleta para endurecer de forma seletiva, polímeros fotossensíveis. Contudo, como contraste a SLS, este processo cura uma cama inteira de uma única vez. Neste processo a resina fotossensível é borrifada sobre a plataforma de construção.

Em seguida, a máquina gera uma foto-máscara correspondente à camada a ser gerada. Esta foto-máscara por sua vez é impressa sobre uma placa de vidro acima da plataforma de construção, usando-se um processo similar ao das fotocopiadoras.

A seguir a máscara é exposta à radiação UV, a qual passa apenas através das porções transparentes da máscara, endurecendo seletivamente as porções desejadas de polímero correspondente à camada atual. Após a cura da camada, a máquina suga por vácuo o excesso da resina líquida e borrifa cera em seu lugar para dar suporte ao modelo durante sua construção.

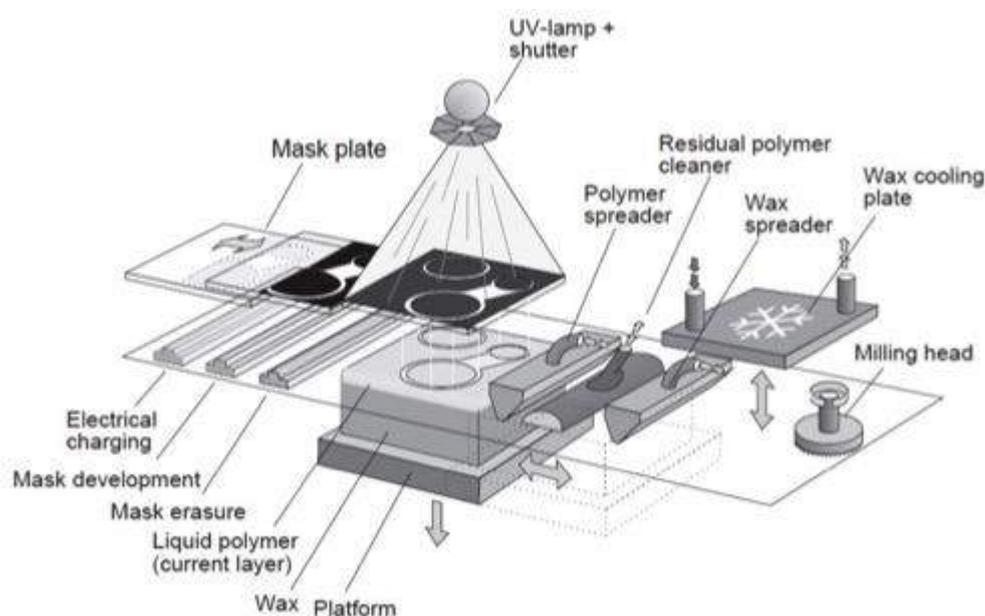


Figura 26 - Processo de conformação por SGC - Fonte: Upload, 2015.

A superfície superior é fresada de forma a ficar plana e o processo é repetido para se construir a próxima camada. Assim que a peça ficar pronta é necessário

remover a cera da peça, através de sua imersão em banho de solvente. É pertinente ressaltar que essas máquinas de SGC são de grande porte podendo assim construir protótipos de grande porte.



Figura 27 - Peça conformada por SGC - Fonte: Ielm, 2015.

2.2.8. Impressão por múltiplos jatos de tinta (MJT)

Takagaki (2015) comenta que esta tecnologia de impressão constrói objetos através de sucessivas camadas de pó, que é colada através de uma cabeça de impressão de jato de tinta que pulveriza uma solução colante que junta seletivamente os grânulos necessários.

O pó que continua solto permanece na plataforma para dar suporte ao protótipo que vai sendo formado. A plataforma é ligeiramente abaixada, adiciona-se mais material pulverulento e o processo é repetido.

Ao se terminar o processo a peça “verde” precisa de ser resinada, removendo assim o pó que ficou solto na peça (GORNI, 2001). Vilas Boas (2006) ressaltava que as partículas empregadas são constituídas de materiais cerâmicos, metálicos ou plásticos.

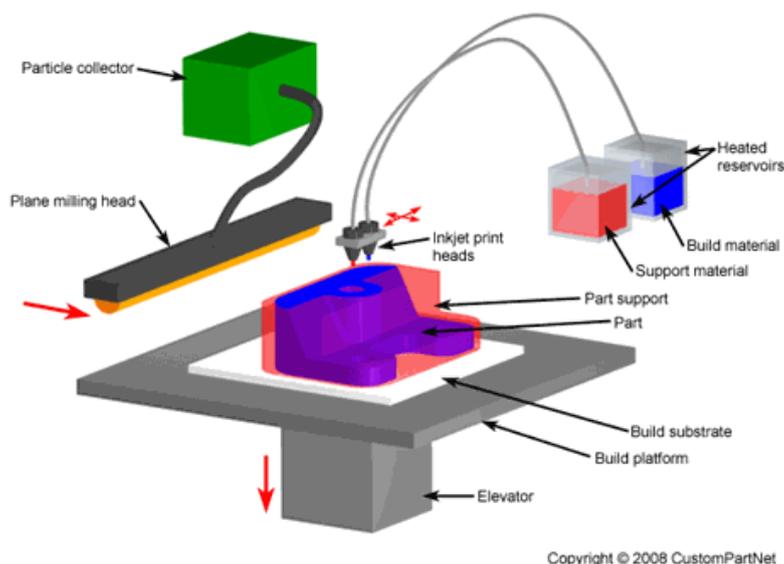


Figura 28 - Processo de conformação por MJT - Fonte: CUSTOMPARTNERT, 2015.

2.2.9. Impressão a jato de tinta (IJP)

A denominada de *Polyjet* é relativamente recente e foi desenvolvida pela empresa *Objet Geometries Ltd*, de Israel, fundada em 1998. Assim como a SLA esta tecnologia também trabalha com resinas fotocuráveis, entretanto difere consideravelmente do principio da SLA.

O princípio desta tecnologia é utilizar um sistema tipo jato de tinta para depositar a resina em pequenas gotas sobre uma bandeja e, imediatamente após este processo, lançar uma luz UV para a cura da camada (ALMEIDA, 2007).

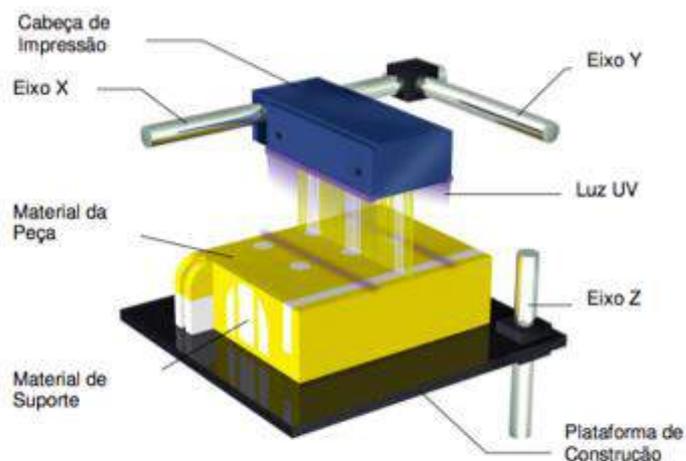


Figura 29 - Processo de conformação em IJP - Fonte: Volpato, 2007

O mesmo autor citado acima ainda ressalta que este sistema de deposição trabalha com oito cabeças de jato de resina e um sistema de controle que permite que estas trabalhem de forma sincronizada e harmônica. Esta tecnologia utiliza dois materiais diferentes para a fabricação, uma resina para a peça e um material tipo gel, também foto curável, para o suporte.

Finalizado o processo, o material do suporte é facilmente removido com um jato d'água misturado com componente solúvel ou mesmo manualmente. Neste processo a resina utilizada é totalmente curada durante o processo de deposição, tornando-se dispensável um processo de pós-cura da peça.

2.2.10. Conformação próxima ao formato final via laser (LENS)

Almeida (2007) comenta que este processo é relativamente novo, cuja vantagem é produzir protótipos de metal densos, com boas propriedades metalúrgicas e sob velocidades razoáveis de construção. Define-se por um gerador de raio laser de alta potência o qual é usado para fundir pó metálico fornecido coaxialmente ao foco do raio laser, através de um cabeçote de deposição. O raio laser passa através do centro do cabeçote e é focado para um pequeno ponto através de uma lente ou conjunto de

lentes. Uma mesa X-Y é movida por varredura de forma a gerar cada camada do objeto.

O cabeçote é movido para cima à medida que cada é completada. O raio laser pode ser conduzido até a área de trabalho através de espelhos ou fibra ótica. Os pós metálicos são fornecidos e distribuídos ao redor da circunferência do cabeçote por gravidade ou através de um gás portador inerte pressurizado. Mesmo nos casos em que não há necessidade de uma corrente de gás para transportar o pó metálico é necessário haver uma corrente de gás inerte par proteger a poça de metal líquido do oxigênio atmosférico, de forma a garantir as propriedades do metal e promover uma melhor aderência entre as camadas através do molhamento superficial.

Os protótipos produzidos requerem usinagem para acabamento, pois apresentam densidade plena, boa microestrutura e propriedades similares ou melhores à peça obtida por processos convencionais. Pradella e Folle (2014) enfatiza que podem ser usados pós de diversas ligas metálicas, tais como aço inoxidável, inconel, cobre, alumínio e titânio. A potência do gerador de raio laser varia conforme o material usado, taxa de deposição e outros parâmetros, podendo oscilar desde algumas centenas até 20.000 watts ou mais.

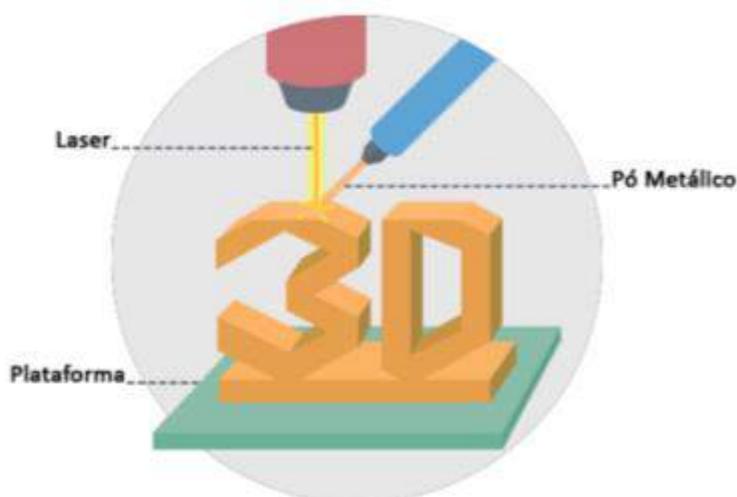


Figura 30 - Conformação em LENS - Fonte: THRE3D, 2014

A vantagem deste processo é poder utilizar materiais mais duros, como titânio, e aço inoxidável. Até que os processos com metal fossem inventados, as grandes

indústrias não levaram muito a sério a impressão 3D por trabalhar apenas com polímeros, porém quando este tipo de processo apareceu, indústrias como a aeroespacial e automotiva prontamente se interessaram (MONTEIRO, 2015). A tecnologia LENS hoje é utilizada para fabricar peças em metais duros, como tais como hélices de turbinas, canais de refrigeração internos, dentre outros (LIPSON E KURMAN, 2013).

2.2.11. Tecnologia com lâminas de papel (PLT)

Desenvolvida pela Kira Corporation Ltd, uma empresa japonesa, o processo com lâminas de papel (PLT) é semelhante ao processo LOM se diferenciando em poucos detalhes (AGUIAR, 2013). Neste processo existem duas formas de fornecer as lâminas, uma a uma ou em forma de rolos. Para serem fornecidas uma a uma, as folhas já vêm previamente cortadas e um sistema de alimentação coleta e as deposita uma sobre a outra.

A autora citada acima ainda comenta que quando fornecidas na forma de rolos, o próprio sistema corta as folhas. Com a folha cortada o processo continua de forma igual para ambas as formas de fornecer as lâminas. Um sistema de impressão deposita na geometria 2D obtida pelo fatiamento do modelo 3D em pó de resina sobre a plataforma de construção, a folha cortada é então depositada sobre a resina na plataforma, que elevada até uma placa aquecida ativa o adesivo direcionado para baixo e elimina bolhas.

A folha cola sobre a anterior ou sobre a plataforma apenas onde o pó de resina foi depositado, desta forma a posterior remoção do material que não faz parte da peça é facilitada. Em seguida a plataforma desce para reiniciar o processo, porém antes um sistema de facas corta o perfil do protótipo de está sendo formado e picota o restante do material que assim como no processo LOM serve de suporte natural para parte suspensas do protótipo.

Volpato et al, (2007) enfatiza que estas etapas se repetem até que o processo seja finalizado. Ele ainda ressalta que quando finalizado, deve ser feita a remoção do material em excesso, posteriormente um polimento com lixa fina também pode ser realizado para dar acabamento. Quando necessário melhorar a resistência do protótipo é aconselhável aplicar uma resina epóxi.

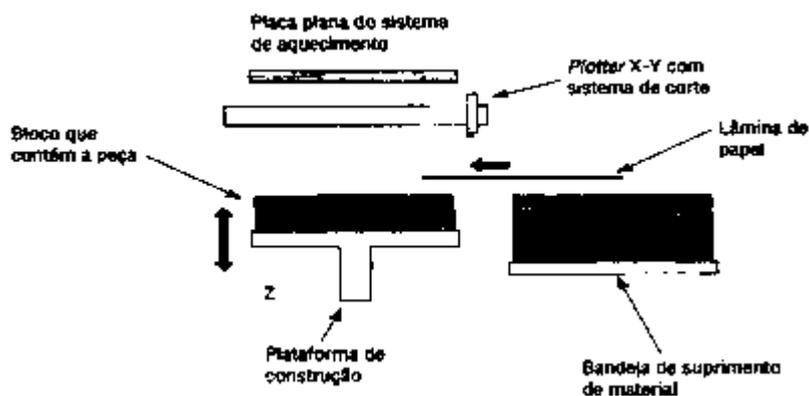


Figura 31 - Conformação em PLT - Fonte: VOLPATO et al, 2007

Esta técnica não utiliza laser, não necessita de pós-cura dos materiais, não requer construção de suportes para construção de peças não conectadas e devido ao processo de prensa de alta pressão, distorções em geral não ocorrem (NASCIMENTO, 2013).

2.2.12. Impressão tridimensional (3DP)

Segundo Pupo (2009) essa tecnologia utiliza um cabeçote de impressão para depositar um líquido adesivo catalisador (*binder*) sobre o pó de gesso, aglutinando-os. O processo inicia-se com o abastecimento de pó em uma das plataformas de alimentação (*feed*) e deve ser abastecida com o aglutinante e o cartucho de impressão (similar aos de impressão jato de tinta) em seus respectivos locais.

Ao iniciar a impressão, o rolo transfere uma fina camada de pó da bandeja de alimentação para a de construção (*build*), espalhando-o e nivelando-o nesta bandeja, ao mesmo tempo de execução o cabeçote deposita o líquido aglutinante de acordo com a geometria 2D do objeto a ser construído. Este processo é feito camada a

camada. Ao final do processo a impressora aquece por 60min, onde o objeto tem que aquecer com a mesma.



Figura 32 - Conformação em 3DP - Fonte: PUPO, 2009

As peças fabricadas por este processo geralmente necessitam de uma etapa de pós-processamento para aumentar a resistência ou acabamento superficial. Este pós-processamento varia de acordo com o material utilizado. Na obtenção de peças metálicas geralmente é necessária a queima do aglutinante e sinterização em um forno a alta temperatura.

Quando o objeto é a base de celulose pode ser aplicado um banho de resina ou elastômero que torna o protótipo bastante flexível. Aparentemente não há limitação quanto aos materiais que podem ser utilizados neste processo de conformação, sendo comum o uso de cerâmicas, metais, polímeros e material a base de celulose (ALMEIDA, 2007).

O mesmo autor ainda complementa que este processo também não precisa de suporte, pois o material não processado ao redor da peça atua como um suporte natural. Adicionalmente, várias peças podem ser fabricadas em sobreposição em uma operação.

Diante de todas essas tecnologias é necessário levar em consideração fatores ligados a ergonomia, pois assim esses fatores serão de grande importância para o desenvolvimento de todo e qualquer produto.

2.3. Ergonomia aplicada ao design

Em diversos momentos do desenvolvimento de um produto é necessário verificar os requisitos projetuais. Dentre esses, os requisitos ligados a Ergonomia são de extrema importância, pois são a partir deles que é possível ter a certeza que aquele produto poderá ser adequado às necessidades de uma pessoa ou grupo. Para Lida (2005) a Ergonomia é o estudo da adaptação do trabalho ao homem.

Dul (2004) comenta que a Ergonomia estuda vários aspectos: a postura e os movimentos corporais, fatores ambientais, informação, relações entre mostradores e controles, bem como cargos e tarefas.

Para Blaich (apud MORAES, 1993:364), a ergonomia é uma parte integrante do projeto e da projeção, sempre que há o envolvimento usuário-produto. Um projeto de produto desenvolvido de forma apropriada requer interação com a ergonomia.

É importante ressaltar que na maioria dos produtos, em especial produtos com alta complexidade de desenvolvimento, eles possuem atributos críticos para a sua utilização pelos usuários. De forma mais simples a ergonomia vem para reduzir suposições e aumentar o nível de confiança nas decisões projetuais de um produto.

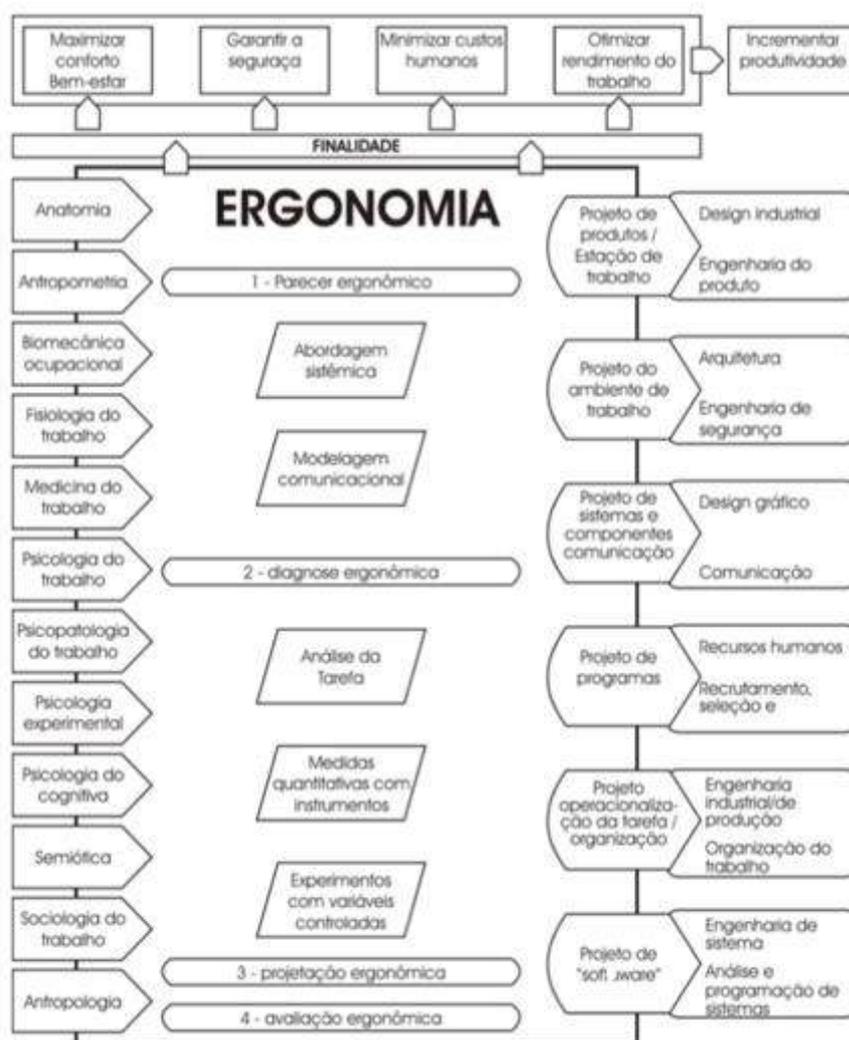


Figura 33 – Fronteiras da Ergonomia, Ciência e Tecnologia: Projetos Ergonômicos – Fonte: MORAIS, 1993.

De acordo com dados apresentados pela *Ergonomics Research Society*, Inglaterra, a Ergonomia é o estudo do relacionamento entre o homem e o seu trabalho, equipamentos e ambientes, em particular a aplicabilidade da anatomia, fisiologia e psicologia na resolução de problemas que surgem deste relacionamento.

Moraes e Soares (1989) comentam que os conhecimentos sobre “componentes humanos” dos sistemas homens-máquinas começaram a ser coletados de forma sistemática antes do aparecimento oficial da Ergonomia. Foram pesquisadores, físicos e fisiologistas, que tiveram o interesse de entender o funcionamento do organismo humano com relação a máquina.

Desde a década de 90 vários autores escreviam sobre Ergonomia com um olhar muito contemporâneo. Atualmente profissionais como ergonomistas, arquitetos, desenhistas industriais, analistas, programadores, engenheiro e seguranças do trabalho, propõem mudanças e inovações focados na ergonomia com o intuito de privilegiar o ser humano.

Sendo assim, atendendo os requisitos da Ergonomia é possível maximizar o conforto, o bem-estar e a satisfação, garantindo segurança e minimizando constrangimentos, assim como os custos humanos, carga cognitiva, psíquica e física do usuário, podendo então possibilitar uma experiência agradável e satisfatória dentro da relação homem-máquina.

A medida que o tempo vai passando novos biótipos vão sendo gerados, e junto com os biótipos novas necessidades vão surgindo. Então o que é padrão e aplicado uma um determinando público, amanhã acaba sendo inviável para uma nova geração de indivíduos que vem surgindo, devido a evolução da sociedade.

Consolo et al (2009) comenta que a sensibilidade de um olhar e uma nova forma de perceber as novas possibilidades do mundo podem ser as chaves para buscar alternativas projetuais que atendam às necessidades atuais e vindouras e as aspirações da humanidade.

A Ergonomia apresenta dois enfoques, ou seja, duas linhas de análise e desenvolvimento, que segundo Moraes et al. (2000:16) há um enfoque americano e um enfoque europeu. De acordo com Moraes et al. (2000:16) “[...] os americanos preocupam-se principalmente, com os aspectos físicos da interface homem-máquina (anatômicos, antropométricos, fisiológicos e sensoriais), objetivando dimensionar a estação de trabalho, facilitar a discriminação de informações dos mostradores e a manipulação dos controles”.

Ainda segundo a autora os americanos realizam simulações em laboratórios, onde medem alcances, esforços, discriminação visual, rapidez de resposta, mantendo constantes algumas variáveis, seres humanos com dimensões extremas (do 5º ao 95º

percentis), acuidade visual, nível de instrução etc. O americano considera a Ergonomia como a utilização das ciências para melhorar as condições do trabalho humano (PEQUINI, 2005).

A linha europeia, segundo Montmollin (apud MORAES et al., 2000:17) diz:

[...] privilegia as atividades do operador, priorizando o entendimento da tarefa, os mecanismos de seleção de informações, de resolução de problemas, de tomada de decisão. Tudo se inicia com observação do trabalho, em condições reais. Em seguida, tem-se a verbalização de trabalho executado pelos próprios operados especificamente nele envolvidos e considera-se a aprendizagem da tarefa e a competência do operados[...].

Ainda segundo Montmollin, esta linha foca o conjunto da situação de trabalho do trabalhador, em detrimento do estudo de equipamento. Moraes et al (2000:20) concluem que ambas as Ergonomias não são contraditórias, mas complementares.

Como comentado pelos autores acima, a Ergonomia não é algo específico, mas algo que tem uma abrangência imensa. Com um olhar contemporâneo, a Ergonomia deve ser aplicada ao design de um produto de forma universal. Cada vez mais os produtos estão sendo projetados para pessoas sem necessidades especiais.

Todavia, os produtos devem ser desenvolvidos com foco nas necessidades de todos os usuários, sendo eles especiais ou não. Iida (2005) comenta que na ergonomia existe ramificações sendo elas a Ergonomia Física, a Ergonomia Cognitiva e a Organizacional. Para fins de desenvolvimento desse trabalho será observado e posto em prática a Ergonomia Física.

Ocupa-se das características da anatomia humana, antropometria, fisiologia e biomecânica, relacionados com a atividade física, os tópicos relevantes incluem a postura no trabalho, manuseio de matérias, movimentos repetitivos, distúrbios musculoesqueléticos relacionados ao trabalho, projeto de postos de trabalho, segurança e saúde do trabalhador (IIDA, 2005, p. 3).

A ergonomia vem contribuindo continuamente para a melhoria da vida cotidiana, tornando a mobília doméstica mais confortável, os aparelhos eletrodomésticos mais eficientes e seguros, assim como os meios de transporte mais cômodos e seguros.

Essa contribuição da ergonomia não é apenas para a indústria, mas para o dia-a-dia das pessoas, seja na escola, em casa, na rua, entre os diversos meios do qual faz-se necessária a aplicação da ergonomia para o bem-estar do usuário. Iida (2005) comenta que atualmente os estudos ergonômicos são muito amplos, podendo contribuir para melhorar as residências, assim como a circulação de pedestres em locais públicos, ajudar pessoas idosas, crianças em idade escolar, aquelas com necessidades especiais e assim por diante.

Portanto, o profissional de ergonomia analisa a real situação entre o homem-máquina e usa conhecimentos das ciências biológicas, sociais e humanas, psicossociologias, fisiologia, sociologia e biomecânica, pesquisam para entender da melhor forma o comportamento do ser humano e assim avaliar os custos envolvidos no trabalho do que se trata da epidemiologia, medicina do trabalho e por fim da psicopatologia.

Assim a partir dos dados coletados com base nas análises e levantamentos é possível propor recomendações referentes a postos de trabalho, produtos, sistemas e programas. Então a Ergonomia passa a ter uma relação direta com tecnologias de desenvolvimento projetual. Deste modo,

[...] propicia-se a consideração das capacidades e limites humanos quando da definição dos requisitos projetuais. A adequação às características humanas – físicas, psíquicas e cognitivas – apresenta-se como um parâmetro fundamental para a definição de componentes interfaciais – antropométricos, biomecânicos, informacionais, movimentacionais. Esta passagem das ciências para as tecnologias compreende o principal aspecto da metodologia ergonômica que conjuga técnicas de pesquisa, de desenvolvimento e de avaliação (MORAES, 1999:366).

Pequini (2005) comenta que dessa forma o atendimento aos requisitos ergonômicos desenvolve possibilidades de maximização do conforto, da satisfação e o bem-estar, garantindo a segurança, minimizando constrangimento, custos humanos e carga cognitiva, psíquica e física do usuário e assim otimizando o desempenho da tarefa, o rendimento do trabalho e a produtividade do sistema homem-máquina.

Por meio de métodos e técnicas, levantamento de dados a Ergonomia busca forma de subsidiar o designer no desenvolvimento de produtos. Moraes (2004) explica que pôr a Ergonomia ser uma disciplina de desenvolvimento recente, os métodos contam mais que os resultados e isso acaba gerando um paradoxo, pois a Ergonomia está ligada de forma total à melhoria do trabalho concreto referindo-se a máquinas, instrumentos, entre outros.

Moraes afirma que se garante uma melhor adequação às necessidades do usuário a partir da problematização ergonômica, da sistematização do sistema homem-máquina e da análise da tarefa. É possível observar na Ergonomia, através de métodos e técnicas de observação sistemática e registro comportamental das atividades do usuário operador, quando da análise da tarefa, provê uma efetiva análise de uso (MORAES, 1993).

Para Quaresma (2001) métodos e técnicas da ergonomia são muitos úteis para um projeto, para se ter o conhecimento de todos o sistema em que o produto está inserido. A análise da tarefa é uma das principais técnicas utilizadas na ergonomia, é usada para a definição dos requisitos de projeto e da execução da tarefa propriamente dito. Quaresma cita Pheasant (1994) para apresentar a importância da análise da tarefa:

A análise da tarefa é na verdade a tentativa formal ou semiformal de definir e determinar o que o usuário/operados fará com o produto/sistema/ambiente em questão. Uma efetiva análise da tarefa deixa claro todos os requisitos do projeto, estabelecendo os critérios que precisa ser conhecido, indicando as

prováveis áreas de incompatibilidade, entre outras coisas (QUARESMA, 2001).

Quaresma continua, a análise da tarefa utiliza técnicas específicas, como observações sistemáticas, registros comportamentais das posturas assumidas (de frequência, duração e sequência), entrevistas, questionários, técnicas de tomada de informações, de acionamento, de deslocamento e de comunicações para ajudar o designer na coleta de informações e posteriormente, definir os requisitos do projeto e possibilitar a tomada de decisões sobre as soluções projetuais.

Segundo Moraes et al., (2000), uma intervenção ergonômica no design de produtos pode ser dividida nos seguintes grandes etapas:

- Apreciação ergonômica
- Diagnose ergonômica
- Projetação ergonômica
- Avaliação, validação e/ou testes ergonômicos
- Detalhamento ergonômico e otimização

Moraes et al. (2000) conceitua todas as etapas citadas acima.

Apreciação Ergonômica

A apreciação ergonômica é uma fase exploratória que compreende o mapeamento dos problemas ergonômicos. Consiste na sistematização do sistema homem-tarefa-máquina e na delimitação dos problemas ergonômicos – postura, informacionais, acionais, cognitivos, comunicacionais, interacionais, de deslocamento, movimentacionais, operacionais, espaciais, físico-ambientais, biológicos. Fazem-se observações no local de trabalho e entrevista com supervisores e trabalhadores.

Realizam-se registros fotográficos e em formas de vídeo. Esta etapa termina com o parecer ergonômico, que compreende a apresentação ilustrada dos problemas, a modelagem e as disfunções do sistema homem-tarefa-máquina. Conclui-se com: a hierarquização dos problemas, a partir dos custos humanos do trabalho, segundo a gravidade e a urgência; a priorização dos postos a serem diagnosticados e modificados; sugestões preliminares de melhoria, e predições que se relacionam à provável causa do problema a ser enfocado na etapa da diagnose.

Diagnose Ergonômica

A diagnose ergonômica permite aprofundar os problemas priorizadas e testar predições. De acordo com o recorte da pesquisa ou conforme a explicitação da demanda pelo decisor, fazem-se análise macroergonômica e/ou a análise da tarefa dos sistemas homem-tarefa-máquina. Consideram-se a ambiência tecnológica, o ambiente físico e o ambiente organizacional da tarefa. É o momento das observações sistemáticas das atividades da tarefa, dos registros de comportamento, em situação real de trabalho. Realizam-se gravações em vídeos, entrevista estruturada, verbalizações e aplicam-se questionários e escalas de avaliação.

Registram-se frequências, sequências e/ou duração de postura assumidas, tomadas de informações, acionamentos, comunicações e/ou deslocamentos. Os níveis, amplitude e profundidade dos levantamentos de doas e das análises dependem das prioridades definidas, dos prazos disponíveis e dos recursos orçamentários. Esta etapa se encerra com o diagnostico ergonômico, que compreende a confirmação ou a refutação de predições e/ou hipóteses. Conclui-se com: o quadro da revisão da literatura, as recomendações ergonômicas em termos de ambiente, arranjo e conformação de postos de trabalho, seus subsistemas e componentes, programação da tarefa- enriquecimento, pausa etc.

Projetação Ergonômica

A projeção ergonômica trata de adaptar estações de trabalho, equipamentos e ferramentas às características físicas, psíquicas e cognitivas do trabalhador/operados/usuário/consumidor/manutenidor/instrutor. Compreende o detalhamento do arranjo e da conformação das interfaces, dos subsistemas e componentes instrumentais, informacionais, acionais, comunicacionais, interacionais, instrucionais, movimentacionais, espaciais e físico-ambientais. Conclui-se com o projeto ergonômico: conceito do projeto, sua configuração, conformação, perfil e dimensionamento, considerando espaços, estações de trabalho, subsistemas de transporte e de manipulação, telas e ambientes, mudanças na organização do trabalho e na operacionalização da tarefa.

Avaliação, Validação e/ou Teste ergonômicos

A avaliação, validação e/ou teste ergonômicos tratam de retornar aos usuários/ operadores/ usuários/ consumidores/ manutenidores/ instrutores os argumentos, as propostas e alternativas projetuais/ Compreende simulações e avaliações através de modelos de teste. As técnicas de conclave objetivam conseguir a participação dos usuários/trabalhadores nas decisões relativas as soluções a serem implementadas, detalhadas e implantada. Para fundamentar escolhas, realiza-se, também, testes e experimentos com variáveis controladas.

Detalhamento Ergonômicos e Otimização

O detalhamento e a otimização ergonômica compreendem a revisão do projeto, após sua avaliação pelo contratante e validação pelos operadores, conforme as opções do decisor, segundo as restrições de custo, as prioridades tecnológicas da empresa solicitante, a capacidade instalada do implementador e as soluções técnicas disponíveis. Termina com as especificações ergonômicas para o subsistemas e componentes interfaciais, instrumentais, informacionais, acionais, comunicacionais, interacionais, instrucionais, movimentacionais, espaciais e físico-ambientais.

Durante as etapas citadas acima, o designer deve trabalhar de forma paralela com outras técnicas, como:

- Levantamento, análise e síntese de dados;
- Geração, seleção e desenvolvimento de alternativas;
- Avaliação e teste de modelos;
- Detalhamento de subsistemas e componentes.

2.4. Biomecânica da postura sentada

2.4.1. A coluna vertebral

A coluna vertebral é um tema que vem sendo estudado há anos, tendo em vista sua grande funcionalidade e importância para a vida do ser humano. Para Kapandji (2000), a coluna vertebral é o eixo do corpo e deve conciliar dois imperativos mecânicos contraditórios: a rigidez e a flexibilidade. Consegue esta façanha graças à sua estrutura.

Em conjunto, pode ser considerada como mastro de um navio, apoiado na pelve, continua até a cabeça e, no nível dos ombros, suporta uma grande verga transversal: a cintura escapular. Em cada nível, existem tensores ligamentares e musculares.

Todas as funções da coluna acontecem sob a influência do sistema nervoso central. Trata-se de uma adaptação ativa graças ao ajuste permanente do tônus dos diferentes músculos da postura pelo sistema extrapiramidal (PEQUINI, 2005).

A autora ainda comenta que a flexibilidade do eixo vertebral é devido à sua configuração por múltiplas peças superpostas, unidas entre si por

elementos ligamentares e musculares. Deste modo, a estrutura pode ser deformada, porém permanece rígida sob a influência dos tensores musculares.

Kapandji (2000) ressalta que a coluna vertebral constitui um pilar central do tronco, desempenhando um papel protetor do eixo nervoso, fato que a deixa muito sensível e com uma necessidade maior de cuidados quanto ao seu uso.

De acordo com Oliver (1998), a coluna vertebral consiste em 24 vertebrae individualizadas acompanhadas de cinco fusionadas, formando o sacro e, usualmente, quatro fusionadas formando o cóccix.

A coluna vertebral apresentar quatro curvaturas quando vistas no plano sagital sendo elas: curvatura sacral, sendo fixa devidas à soldadura definitiva das vertebrae sacrais, de concavidade anterior; a lordose lombar, que tem concavidade posterior; a cifose dorsal, de convexidade posterior e a lordose cervical, de concavidade posterior.

Estas curvas surgiram no percurso da evolução da espécie humana na passagem da posição quadrúpede à posição bípede, que levou à retificação e depois à inversão da curvatura lombar, inicialmente côncava para frente; assim apareceu a lordose lombar côncava para trás (KAPANDJI, 2000).

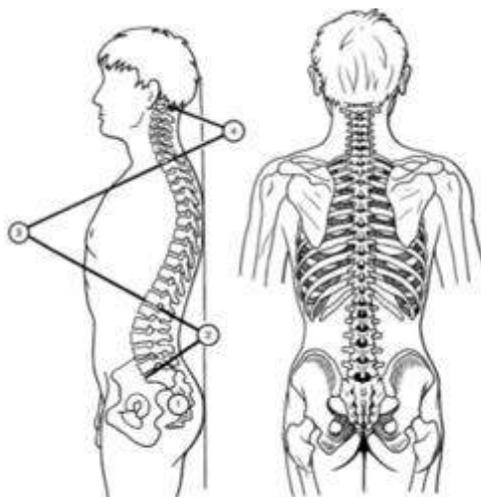


Figura 34 - A curvaturas da coluna vertebral em conjunto: 1 - curvatura sacral; 2 - lordose lombar; 3 - cifose dorsal; 4 - lordose cervical. Fonte: Kapandji (2000)

Por conta desta evolução da espécie humana (figura 33), o autor citado acima ainda ressalta que é possível observar a evolução da coluna vertebral desde o primeiro dia de vida (a), a coluna lombar é côncava para frente. Com cinco meses, (b) a curvatura continua sendo ligeiramente côncava para frente; e (c) somente aos trezes meses a coluna lombar se torna retilínea. A partir dos três anos (d) pode-se apreciar uma ligeira lordose lombar que se vai consolidar aos oito anos e (e) adotar sua curvatura definitivas aos dez anos (f), conclui-se, então, que a evolução é paralela à evolução da espécie.

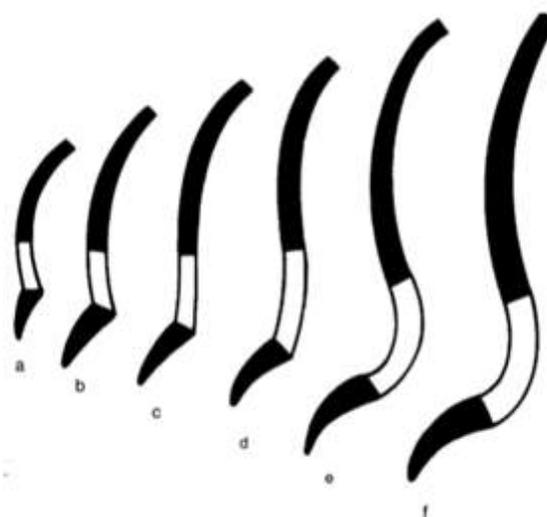


Figura 35 - A aparição das curvaturas da coluna vertebral. Fonte: Kapandji (2000).

Essas curvaturas auxiliam a dissipar as forças verticais compressivas, tornando a coluna parte importante do corpo humano com grande capacidade de absorção de choques, tomando-se a coluna retilínea (a) como referência, cujo número de curvaturas é igual a zero, e, se considerarmos a sua resistência como uma unidade na coluna como uma só curvatura (b), a sua resistência é o dobro da primeira.

Na coluna com duas curvaturas, (c) a sua resistência é cinco vezes maior do que a coluna retilínea. Por fim, no caso de coluna com três curvaturas móveis (d), como a coluna vertebral com a sua lordose lombar, a sua cifose dorsal e a sua lordose cervical, a sua resistência é dez vezes mais que a resistência presente na coluna retilínea (PEQUINI, 2005).

Atualmente, boa parte dos postos de trabalho é para desenvolvimentos de atividades sentadas, gerando assim grande fadiga por decorrência de atividades monótonas ou com excessiva jornada de trabalho com atividade de movimentos repetitivos.

E falando de postura sentada, Moraes (1992) comenta que a pressão dos discos intervertebrais é maior quando se está sentado, mesmo com o tronco ereto, em torno de 40% maior que na posição de pé.

Quando o trabalho é executado com o tronco flexionado, a situação é ainda mais agravante, pois as bordas frontais das vertebrae são pressionadas umas contra as outras com uma força considerável. Nesta postura a pressão intradiscal aumenta cerca de 90% quando comparado a postura em pé.

Para cadeirantes o esforço e a pressão gerada na coluna vertebral ainda são mais desgastantes, por conta que eles passam mais de 12 horas em postura sentada.

Para pessoas que trabalham sentadas não cadeirantes têm a possibilidade de levantar-se ou até mesmo mudar de postura por algum tempo.

Para cadeirantes é possível trocar a posição na cadeira, entretanto ainda continua sentado.

2.5. Antropometria

Neste subcapítulo será abordado fatores de dimensionamento do corpo humana como requisito projetual no desenvolvimento de projetos de produto. Para Dull (2004) a antropometria ocupa-se das dimensões e proporções do corpo humano. Como comentado pelo autor citado anterior, a Antropometria estabelece as dimensões e proporções do ser humano.

As medidas do corpo humano têm despertado interesse desde a existência da humanidade. Em vários períodos da nossa história, pode-se identificar estudiosos que utilizaram as medidas do corpo humano como referência para construção das mais perfeitas obras que humanidade já teve conhecimento (PEQUINI, 2005).

Moraes (1983) comenta que, no fim do século XIX e no início do século XX, em decorrência do interesse por estudos detalhados do ser humano vivente e do esqueleto de fósseis, a antropometria passou a desempenhar um importante papel, destacando-se Martin, em 1917, e Hrdlička em 1939. O mesmo autor continua dizendo que no início do século XX, a antropometria, um importante método da antropologia física, experimentou extensivo e rápido crescimento da literatura.

Para Boueri (1991), a antropometria é a aplicação dos métodos científicos de medidas físicas nos seres humanos, buscando determinar as diferenças entre indivíduos e grupos sociais, com a finalidade de se obter informações/dados capazes de serem aplicados em projetos de arquitetura, urbanismo, desenho industrial, comunicação visual e engenharia, de modo geral, para melhor adequar os produtos as necessidades dos seres humanos.

Todavia faz-se necessário salientar, que existe diferentes corpos humanos por conta da miscigenação das raças. Assim sendo, a altura do encosto de uma cadeira para uma pessoa média, pode ser desconfortável para uma pessoa alta mais alta ou mais baixa.

Até a década de 50, havia uma preocupação em estabelecer padrões nacionais antropométricos. Mas, a partir de então, a economia começou a se internacionalizar com a expansão da produção em massa, culminando na globalização atual da economia. Hoje, é possível atender os padrões de qualquer mercado, já que é possível acessar tabelas de muitas populações que habitam este planeta. Algumas estão tabuladas em mídia eletrônica, outras em papel, mas o que importa é a confiabilidade dos dados de uma determinada população (GUIMARÃES et al., 2000).

Para isso faz-se necessário o uso de tabelas antropométricas adequadas. Como a população brasileira acaba sendo menor que a população americana, os projetos brasileiros são dimensionados a partir de medidas e percentis⁴ da população europeia.

Para o desenvolvimento de projetos de produtos ergonômicos faz-se necessário a aplicação correta das dimensões humanas. Atualmente, a evolução das formas de análise de dados estatísticos aperfeiçoa as

⁴ Boueri (1991) define percentil como a medida de dispersão das dimensões do corpo humano para a distribuição estatística, sendo a única maneira de determinar o padrão dimensional, sem incorrer em erro de conceitos matemáticos nas aferições de medidas.

informações que são levantados nas pesquisas de dados antropométricos. Moraes (1983) ressalta que:

[...] mais importante, ainda, foi a inovação de métodos computadorizados para a manipulação de modelos matemáticos dos processos biomecânicos. Os conceitos e amplitude dos dados disponíveis atualmente colocaram uma grande variedade de modelos matemáticos do homem dentro do âmbito da exequibilidade, e pesquisadores já começaram a desenvolver tais modelos. Com estes objetivos identificaram áreas específicas de conhecimento que são fracas e deficientes em dados diretamente úteis ao desenvolvimento de tais modelos conceituais. Há um interesse crescente e uma nova ênfase nas descrições tridimensionais do corpo e na pesquisa de medições de articulações funcionais do corpo.

Autores conceituam dois tipos de antropometria: a estática e a dinâmica. Para Moraes (1983), a antropometria estática compreende as dimensões físicas do corpo humano parado, pesquisa as dimensões estruturais do corpo tomadas com os sujeitos em posições fixas e standardizadas: alturas, larguras, comprimentos e perímetros.

Já a antropometria dinâmica, trabalha com medias dinâmicas, descreve o individuo em movimento e envolve o estudo das medias funcionais do corpo humano, relacionadas a ângulos de conforto, considerando braços e pernas como sistemas de alavanca. Essa grande variação ocorre por conta dos seguintes fatores: sexo, idade, etnia e raça, tipo de atividade, nível socioeconômico.

O ideal para o desenvolvimento de projetos de produtos ergonômicos é utilizar referenciais de percentis que atendam às necessidades básicas estabelecidos no partido projetual do produto. Moraes (1983) esclarece que, devido às significantes variações nos tamanhos do corpo de cada indivíduo, as “médias” são de pouca utilidade. Portanto é necessário trabalhar com limites de variação.

Estatisticamente, pode-se constatar que as medidas do corpo humano, de qualquer população dada, distribuem-se de tal modo que, de alguma maneira, cairão em algum lugar pelo meio da curva de distribuição, enquanto um pequeno número de medidas extremas cairá em uma das extremidades do espectro (PEQUINI,2005). Por isso, na grande maioria das vezes, os dados antropométricos de modo geral são apresentados em forma de percentis.

Moraes (1983) recomenda que se pode melhorar uma dimensão como compensação para aquela que está sendo prejudicada. Moraes ainda comenta que variáveis antropométricas que se aplicam ao projeto de estações de trabalho e produtos, são as seguintes:

- Macrodimensões estáticas estruturais extremas lineares – objetivando definir alturas, larguras e profundidades;
- Macrodimensões estáticas funcionais padronizadas de alcances, com vistas a definição de áreas para manípulos e pedais, nos planos sagital, transversal e coronal;
- Macrodimensões estáticas funcionais padronizadas de espaços, para a explicitação de limites de movimentação dos braços no plano transversal (como largura cotovelo-a-cotovelo – braços em abdução) e pernas no plano sagital (como altura dos joelhos cruzados).
- Dimensões dinâmicas funcionais angulares, para a especificação dos ângulos de conforto;
- Dimensões dinâmicas newtonianas, objetivando definir a área ótima para o acionamento de controles manuais e pedais.

PANERO E ZELNIK (2013) comentam que para projetos de design é possível usar as dimensões ilustradas nas figuras abaixo. Para desenvolvimento do suporte de leitura resultado da aplicação de tecnologias de prototipagem abordados neste documento são necessárias medidas diretas do usuário final por conta que o projeto é direcionado a uma única pessoa, tornando assim essenciais as dimensões deste usuário, que serão apresentadas no próximo capítulo.

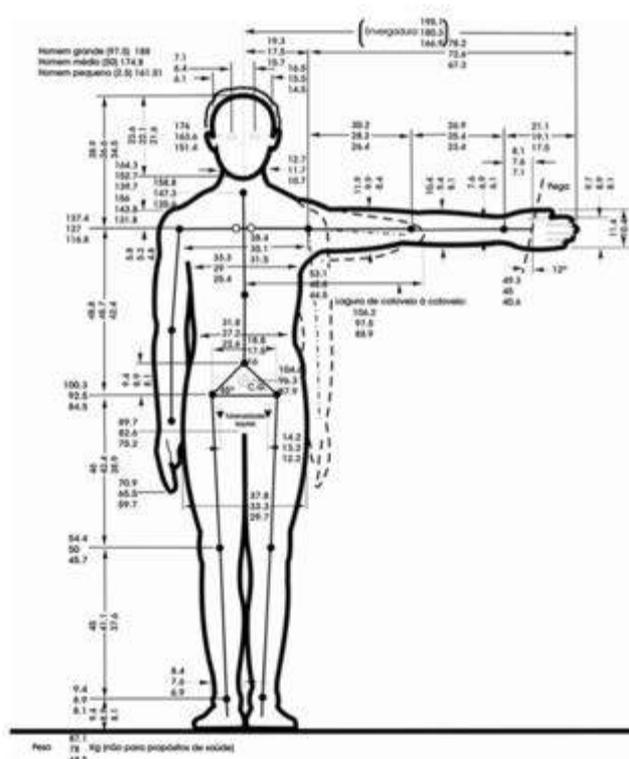


Figura 36 - Homem (vista frontal). Fonte: Diffrient et al. (1981).

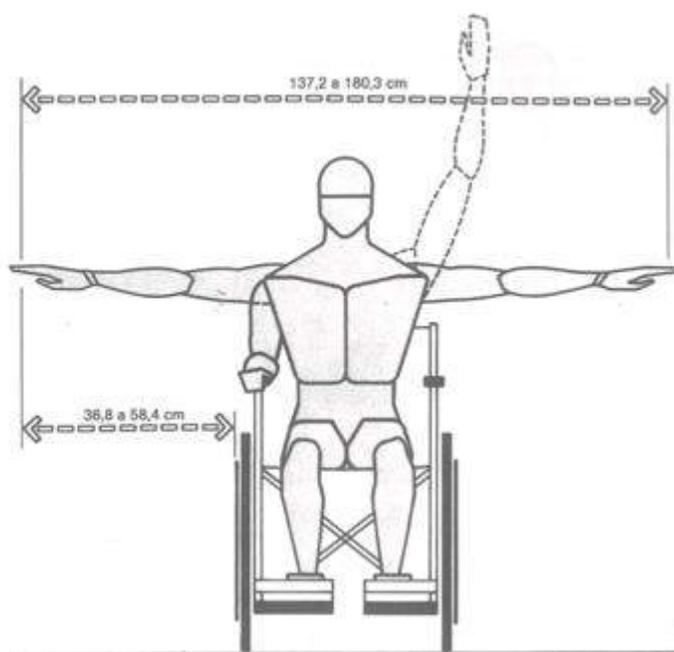


Figura 39 - Níveis de alcance para cadeirantes – Fonte: (PANERO E ZELNIK, 2013, pag.53)

3. APLICANDO TECNOLOGIAS DE PROTOTIPAGEM NO DESIGN

Neste capítulo será abordado o desenvolvimento do suporte de leitura para um cadeirante (o estudo de caso), por intermédio da FDM (popularmente conhecida como impressão 3D) tecnologia de prototipagem disponível atualmente no mercado brasileiro e pelo corte a laser.

3.1. Metodologia projetual de Alcoforado (2014)

Para o desenvolvimento projetual desse produto será utilizado a metodologia de Alcoforado (2014), onde será considerado as seguintes macrorregiões: Preparação, Desenvolvimento e Realização.

A preparação é a macrorregião que será possível compreender o problema ou necessidade projetual, por meio de ferramentas que possam viabilizar o levantamento dessas informações a partir do usuário. O mesmo autor citado acima ainda comenta, que nesta fase é gerada as soluções a partir dos requisitos identificados nas necessidades do usuário. Nesta fase espera-se o surgimento do maior número possível de alternativas que atendam aos requisitos do usuário e do projeto.

No desenvolvimento será avaliado as alternativas geradas na fase de preparação e restará apenas aquela melhor pontuada, ela seguirá para a etapa de realização.

Na realização faz-se necessário a construção do protótipo de alta fidelidade, detalhamento técnico e teste com o usuário.

3.2. O cadeirante como estudo de caso

Como estudo do caso desta pesquisa, um aluno do curso de Biblioteconomia da Universidade Federal de Pernambuco enfrenta grandes batalhas todos os dias. Na grande maioria das vezes atividades como ir de uma calçada para outro se torna um grande desafio quando você é um cadeirante.

Com 40 anos, o cadeirante tem um filho e encontrasse atualmente casado. Quando criança foi diagnosticado, um quadro de Poliomielite⁵ que lhe deixou sequelas, sendo elas a perda de 75% da força de seus membros tanto inferiores quanto superiores e atrofia em alguns ossos e músculos nos mesmos membros.

Com o passar do tempo o cadeirante observou que suas necessidades específicas não deveriam ser empecilho e sim mais uma condição de adaptação para a sua vida. Atualmente, a casa do mesmo é toda adaptada as suas necessidades. Todavia, essas adaptações foram feitas nas salas de aulas da universidade que o mesmo faz parte.

Entretanto, o mesmo ainda tem dificuldade para executar tarefas como ler, escrever e desenvolver todas as outras atividades oriundas da atividade: estudar em sala de aula, solicitados pelos docentes.

Para um melhor entendimento destas dificuldades ainda encontradas na execução da atividade citada acima, foi feito uma análise da tarefa (apresentado no capítulo anterior) para assim poder-se detectar possíveis necessidades oriundas de fatores ergonômicos.

⁵ Poliomielite Anterior Aguda - PAA, também conhecida como paralisia infantil é uma doença endêmica humana, causada por um enterovírus chamado poliovírus (SMITH, 2004).

Nesta análise da tarefa foram feitas observação em termos da execução da tarefa, assim como entrevista com roteiro definido, fotografia e avaliação de desconforto corporal (modelo disponível em Apêndice 1).

3.3. Necessidades do usuário

Com base dos dados levantados nesta análise, foi possível elencar as necessidades do usuário na execução da atividade: estudar em sala de aula.

Para o desenvolvimento da mesma foi levado em consideração as observações feitas por meio de entrevista com o usuário na execução da tarefa descrita no parágrafo acima.

Tabela 1 - Necessidades do usuário - Fonte: autor

NECESSIDADES DO USUÁRIO	JUSTIFICATIVAS
Facilitar a leitura	Sem algo para colocar os cadernos, livros de forma adequada as necessidades do cadeirante tornando difícil ler, escrever, entre outros.
Amenizar esforços para a leitura	Apresenta desconfortos posturais quando estudando.

Alcoforado (2014) comenta que está é uma atividade que busca satisfazer as necessidades humanas, desenvolvendo artefatos que possam atender os aspectos emocionais, estético, práticos, físicos e simbólicos das pessoas.

3.4. Requisitos do projeto

Acima é possível observar as necessidades do usuário, parte importante que serve como pontos cruciais para estabelecer requisitos de um projeto. Para o desenvolvimento dos requisitos projetuais se fez necessário desenvolver questionário para entrevistar o cadeirante, estudo de caso dessa monografia. Através da entrevista foi possível ter entendimento das condições pessoais do usuário.

Por esse projeto ser individualizado (para um único usuário) foi feito o levantamento antropométrico do cadeirante. Em grande parte dos cursos de Design pelo Brasil é apresentado como se aplica as medidas antropométricas em projetos de design, mas não como mensurá-las. As dimensões expostas abaixo foram mensuradas com orientação de fisioterapeuta.



Figura 40 - Dimensionamento antropométrico - Fonte: o autor.

Para fazer medição antropométrica são necessários diversos equipamentos decorrentes das partes do corpo que serão mensurados. Para fins desta monografia foi utilizado paquímetro e trenas.



Figura 41 - Trena antropométrica - Fonte: o autor.

Tabela 2 - Dimensionamento do usuário - Fonte: o autor

PARTE DO CORPO	MEDIDA
Estatura	168 cm
Altura do usuário sentado normal	96,7 cm
Altura do meio ombro, sentado	62,2 cm
Largura do cotovelo a cotovelo	51 cm
Altura do joelho	59,3 cm
Alcance frontal de apreensão	76 cm
Comprimento da mão na extremidade do dedo médio	20,2 cm

Na figura abaixo é possível observar as medidas mais usadas pelos designers segundo PANERO E ZELNIK (2013).

Altura do assento ao chão	49,5 cm
Comprimento	108,2 cm
VISTA FRONTAL	
Largura	64,2 cm
Altura do descanso de braço ao chão	72,1 cm
OUTRAS DIMENSÕES	
Diâmetro da barra para encaixe do suporte	9 cm
Distância entre a barra para encaixe e descanso dos braços	31 cm

Após o dimensionamento da cadeira, se fez necessário a análise da tarefa executada pelo usuário. Para este projeto, foi observado a tarefa: estudar em sala de aula. Por meio de observações foi possível notar que o usuário executa toda a tarefa utilizando o membro superior esquerdo, em eventos esporádicos o mesmo utilizado o membro superior direito como contrapeso para diminuir a movimentação do caderno em sua banca de estudo.

Ainda na observação da tarefa citada acima foi notado que o usuário sente muito desconforto em sua própria cadeira, trocando de posição de acento diversas vezes em um intervalo de 30min. Confirmando alegação do desconforto, o usuário comentou que sente muito desconforto físico e o que o ajuda é a fisioterapia.



Figura 43 - Análise da Tarefa - Fonte: o autor

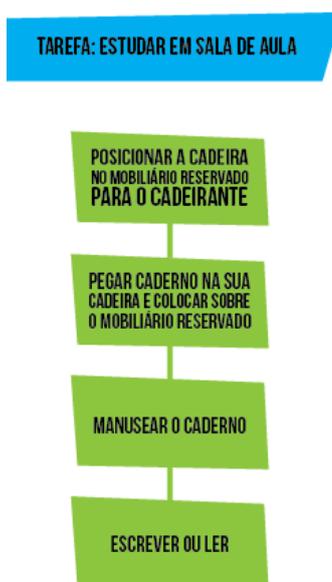


Figura 44 - Diagrama da tarefa - Fonte: autor

Para quantificar o desconforto do usuário foi aplicado a escala de desconforto de Corllet (1986) (em anexo) no início e no final da aula, assim foi observado os locais com maior índice de desconforto.

Tabela 4 - Avaliação de desconforto antes de executar a atividade - Fonte: o autor

Local analisado	Nível de desconforto
Pescoço	2
Região Cervical	2
Costas-superior (dorsal)	3
Costas-médio (cintura)	3
Costas-inferior (lombar)	4
Bacia	4
LADO ESQUERDO	
Ombro	1
Braço	1
Cotovelo	2
Antebraço	2
Punho	2
Mão	2
Coxa	3
Joelho	3
Perna	2
Tornozelo	2
Pé	1
LADO DIREITO	
Ombro	1
Braço	1
Cotovelo	1
Antebraço	1
Punho	1
Mão	1
Coxa	1
Joelho	1
Perna	1
Tornozelo	1
Pé	1

Tabela 5 - Avaliação de desconforto depois de executar a atividade - Fonte: o autor

Local analisado	Nível de desconforto
-----------------	----------------------

Pescoço	4
Região Cervical	4
Costas-superior (dorsal)	5
Costas-médio (cintura)	5
Costas-inferior (lombar)	5
Bacia	5
LADO ESQUERDO	
Ombro	4
Braço	4
Cotovelo	4
Antebraço	4
Punho	4
Mão	3
Coxa	3
Joelho	3
Perna	3
Tornozelo	3
Pé	3
LADO DIREITO	
Ombro	2
Braço	2
Cotovelo	2
Antebraço	2
Punho	1
Mão	1
Coxa	1
Joelho	2
Perna	2
Tornozelo	2
Pé	2

Com esta análise foi observado que o desconforto intradiscal do usuário aumentou entre 70% e 90% ao decorrer da execução da atividade, atividade esta descrita na análise da tarefa.

Tomando como referência os dados dispostos acima e com observações das atividades do usuário, foi possível pontuar os requisitos projetuais para o desenvolvimento do suporte de leitura.

Tabela 6 - Requisitos do projeto - Fonte: o autor

Requisitos projetuais	Justificativa
Uso descomplicado	O cadeirante tem mobilidade reduzida
Fácil manipulação	O cadeirante deve ter total autonomia no uso
Baixo custo	Quanto maior o custo, menor o acesso a pessoas mais carentes
Individualizado	O produto teve atender apenas a necessidade do cadeirante
Amenize a fadiga da coluna	O produto deve ameniza/sanar o cansaço gerado na execução da atividade
Dimensões adequadas para o suporte	O projeto deve ser adequado a cadeira
Dimensões do corpo humano masculino	O projeto deve ser adequado ao usuário

3.5. Análise de similares

A análise sincrônica serve para reconhecer o universo do produto em questão e para evitar reinvenções. A comparação e a crítica dos produtos requerem a formulação de critérios comuns (BONSIEPE et al., 1984). Essa análise pode também ser entendida como um levantamento dos produtos do sistema eleito (BOMFIM, 1977).

Para o desenvolvimento deste projeto fez-se necessário fazer uma busca no mercado de tecnologias assistivas⁶ que tivessem relação direta com o produto a ser desenvolvido. Entretanto, não foi encontrado nenhum produto que tivesse relação direta com o produto a ser desenvolvido.

⁶ Tecnologia Assistiva é uma área do conhecimento, de característica interdisciplinar, que engloba produtos, recursos, metodologias, estratégias, práticas e serviços que objetivam promover a funcionalidade, relacionada à atividade e participação, de pessoas com deficiência, incapacidades ou mobilidade reduzida, visando sua autonomia, independência, qualidade de vida e inclusão social (BRASIL, 2009).

Com base nesta condição mercadológica, será analisado produtos que tem função direta com um suporte de leitura, que diante dos requisitos acima citados, o produto escolhido para análise, será a banca escolar.

Para a análise dos similares será elencado sete indicadores que servirão de fatores para a análise, e cada fator receberá uma pontuação de 0 a 5, onde 0, será um fator de grande irrelevância para o projeto e 5, um fator de grande relevância para o projeto.

Ao final será somado os pontos, e assim os indicadores do produto que mais receber pontos, será levado em consideração para o desenvolvimento do suporte de leitura para o cadeirante, e suas necessidades especificadas já citados neste documento.

É válido ressaltar que os valores resultantes desta análise serão aplicados do desenvolvimento da melhor forma possível, no âmbito que o mesmo venha a acrescentar/engrandecer o desenvolvimento, a usabilidade e a adaptabilidade do cadeirante, objeto de estudo deste projeto.

Para definir os pontos a serem avaliados na análise de similares se fez necessário a utilização de todos pela pessoa com necessidades específicas citado acima.

Para executar a análise de similares foi utilizado o método Pugh. Com esse método é possível medir a capacidade de cada alternativa com foco em atender as necessidades do usuário.

No desenvolvimento deste método Pugh (1991) revisou variados modelos de atividades do Design com intenção de aplica-lo em diferentes disciplinas e produtos. A essência do método Pugh consiste na comparação entre as alternativas com foco numa matriz.

O usuário testou e atribuiu valores de comparação entre uma concepção de referência e os modelos disponíveis em suas salas de aula.

Tabela 7 - Análise de similares - Fonte: o autor

				
	Modelo 001	Modelo 002	Modelo 003	Modelo 004
Usabilidade	0	+	-	+
Níveis de alcance	0	+	0	+
Material	0	+	0	+
Acabamento	+	+	+	+
Configuração estrutural	-	+	-	-

3.5.1. Resultados da análise de similares

Com base no resultado da análise é possível observar que os fatores que receberam pontuações mais altas foram os fatores ligados a ergonomia: usabilidade, níveis de alcance e configuração estrutural.

Tabela 8 - Resultado da análise de similares - Fonte: o autor

	Resultado da soma
Modelo 001	0
Modelo 002	+5
Modelo 003	-1
Modelo 004	+4

Tendo em vista este resultado, faz-se necessário que o projeto ainda continue levando em consideração as necessidades do usuário e os requisitos projetuais, de forma que esses resultados sejam influentes no desenvolvimento do produto final deste projeto: o suporte de leitura.

3.6. Geração de alternativas

Nas seções acima, foi identificado diversos requisitos, inclusive foi feito uma análise sincrônica (similares) e verificado a melhor a alternativa. Tendo como base esses fatores, nesta seção será apresentada as alternativas para a solução do problema do cadeirante.

3.6.1. Geração de alternativas para a superfície do suporte

Como enfatizado na análise de similares, fatores que se destacaram foram os fatores ergonômicos. Para a geração de alternativas fez-se necessário o desenvolvimento de modelo de média fidelidade das alternativas geradas.

3.6.1.1. Alternativa 1



Figura 45 - Alternativa 1 - Fonte: o autor

Descrição: Suporte de leitura com preenchimento parcial

Vantagem: É possível proporcionar uma área livre para mobilidade de membro superior direito.

Desvantagem: O suporte permite usar apenas objetos de pequeno porte.

3.6.1.2. Alternativa 2



Figura 46 - Alternativa 2 - Fonte: o autor.

Descrição: suporte de leitura com sistema de engate por encaixe e corte em 45°

Vantagem: o suporte comporta mais objetos em sua superfície.

Desvantagem: Superfície em ângulo 0°

3.6.1.3. Alternativa 3



Figura 47 - Alternativa 3 - Fonte: o autor.

Descrição: suporte de leitura com sistema de engate por encaixe e inclinação de 10°

Vantagem: Plano com angulação de 10°

Desvantagem: Objetos com superfície lisa sofreram deslocamento por gravidade

3.6.1.4. Seleção alternativa para superfície do suporte

Para a escolha da alternativa final da superfície para o suporte, as opções serão avaliadas em fatores como: custo de produção, usabilidade, níveis de alcance, material, acabamento e configuração estrutural. É necessário ressaltar que as alternativas foram geradas com foco nas necessidades do usuário, análise sincrônica.

Para selecionar a melhor alternativa foi utilizado o método Pugh, o mesmo usado na análise de similares.

Tabela 9 - Seleção de alternativas para superfície do suporte de leitura - Fonte: o autor.

Fatores	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3
Custo de Prod.	+	-	+
Usabilidade	0	+	+
Níveis de alcance	0	+	+
Material	+	+	+
Acabamento	0	-	0
Configuração estrutural	0	-	+

Tabela 10 - Resultado da avaliação das alternativas para superfície do suporte de leitura - Fonte: o autor.

	Resultado da soma
Alternativa 1	+2
Alternativa 2	0
Alternativa 3	+5

As alternativas pertencentes ao conjunto-solução devem aproximar-se tanto quanto possível dos requisitos de projeto previamente listados (CAMARGO, 2007).

3.6.2. Geração de alternativas sistema de suporte do suporte

Esse sistema é responsável pela sustentação da superfície do suporte de leitura. Para a escolha da alternativa final da superfície para o suporte, as opções serão avaliadas em fatores como: custo de produção, usabilidade, níveis de alcance, material, acabamento e configuração estrutural.

3.6.2.1. Alternativa 1

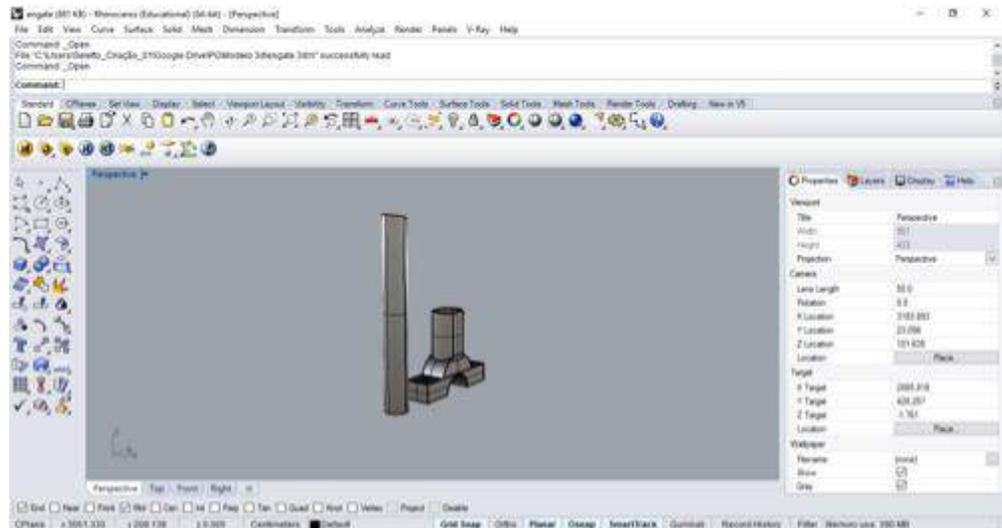


Figura 48 – Alternativa 1 - Fonte: o autor

Descrição: Sistema de sustentação com engate

Vantagem: Fácil manipulação

Desvantagem: Usuário tem que aplicar força para desengate.

3.6.2.2. Alternativa 2

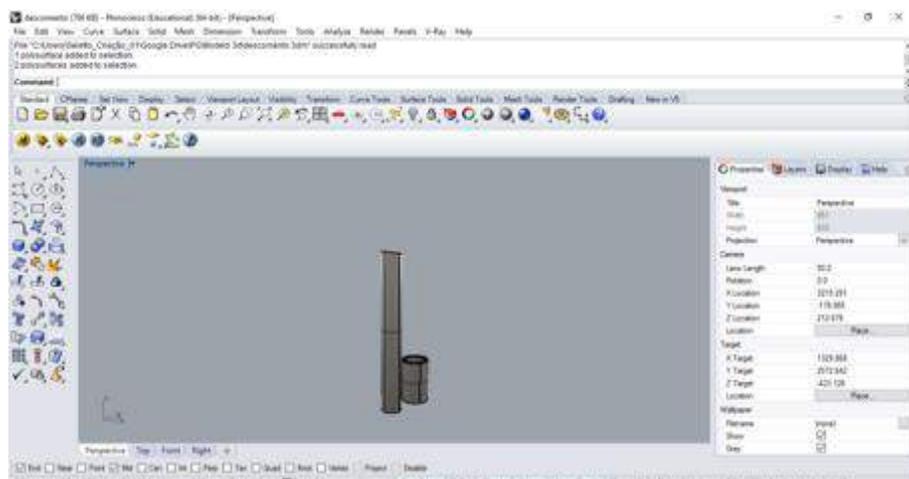


Figura 49 - Alternativa 2 - Fonte: o autor

Descrição: Sistema de sustentação com engate e deslocamento lateral.

Vantagem: Fácil manipulação

Desvantagem: Usuário tem que aplicar força para desengate e força para deslocamento.

3.6.2.3. Seleção de alternativa para sistema de suporte do suporte

Para a escolha da alternativa final da superfície para o suporte, as opções serão avaliadas em fatores como: custo de produção, usabilidade, níveis de alcance, material, acabamento e configuração estrutural. Para selecionar a melhor alternativa foi utilizado o método Pugh, o mesmo usado na análise de similares.

Tabela 11 - Seleção de alternativa sistema de suporte do suporte de leitura - Fonte: o autor.

Fatores	Alternativa 1	Alternativa 2
Custo de Prod.	+	-
Usabilidade	0	+
Níveis de alcance	0	+
Material	+	+
Acabamento	0	-
Configuração estrutural	0	-

Tabela 12 - Resultado da avaliação das alternativas para sistema de suporte do suporte - Fonte: o autor.

	Resultado da soma
Alternativa 1	+2
Alternativa 2	0

3.7. Rendering da alternativa

Para Munari (2008), o rendering é um modelo construído em três dimensões sendo ele produzido pelo autor, e que tenha as características de um produto para comercialização. A partir do rendering é possível notar proporções, material e estruturas do projeto.



Figura 50 - Rendering completo - Fonte: o autor.



Figura 51 - Rendering da parte plana do suporte - Fonte: o autor.



Figura 52 - Rendering do sistema de sustentação - Fonte: o autor.

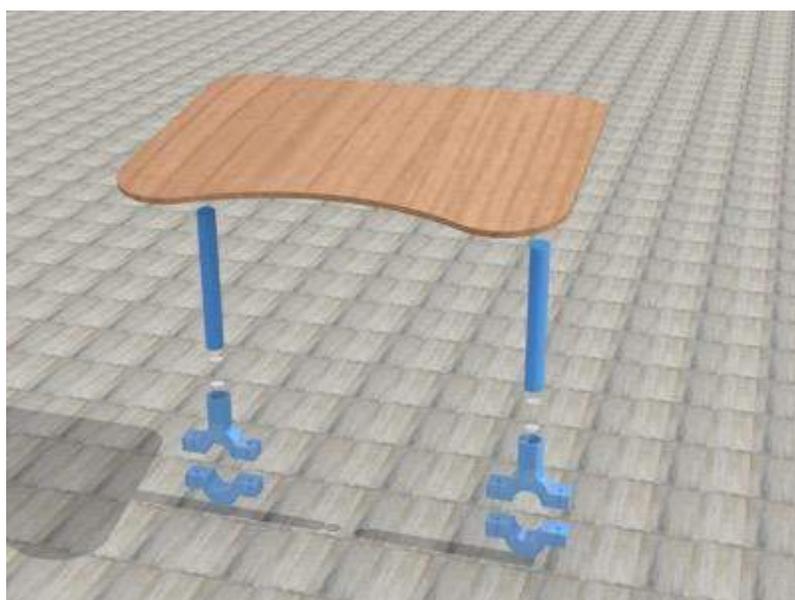


Figura 53 - Vista explodida do modelo - Fonte: o autor.

3.8. Processo de prototipagem/manufatura rápida

Para a construção do suporte de leitura para cadeirante foi utilizado o processo de modelagem por deposição fundida (FDM) popularmente conhecido como “impressão 3D”.

Foi necessário desenvolver as peças a serem impressas em ambiente 3D. Como suporte para a concepção das mesmas foi utilizado o *software* de modelagem tridimensional *Rhinceros*.

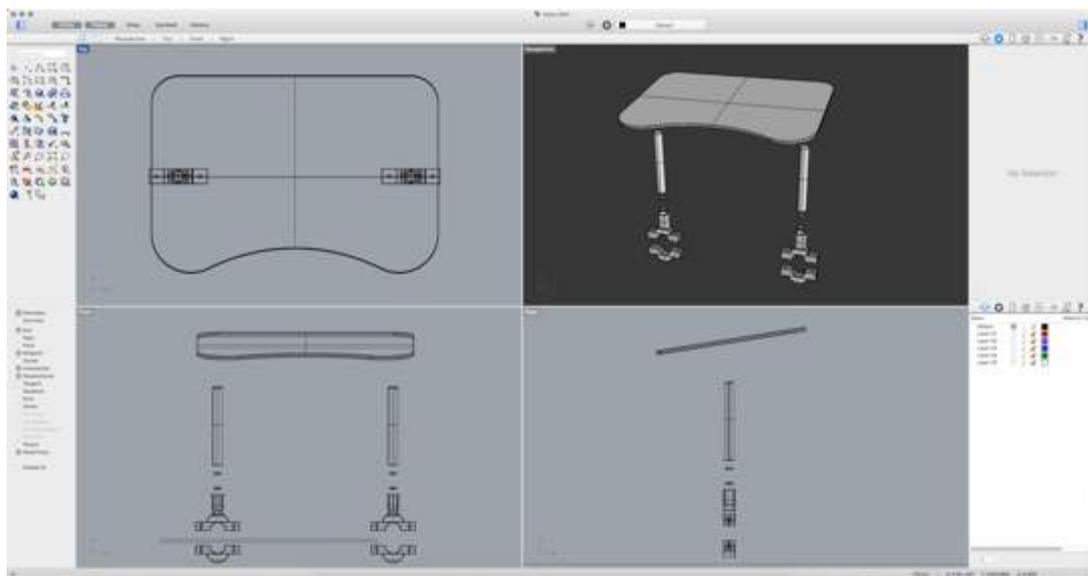


Figura 54 - Ambiente de modelagem do *Rhinceros* - Fonte: o autor.

No ambiente do *Rhinceros* é possível simular toda a peça, visualizar o modelo nas vistas ortográficas e em perspectivas, também é possível aplicar materiais e ter uma prévia do modelo final.

Depois de modelado é necessário fazer a exportação das peças. Para a prototipar por FDM o mesmo deve estar em formato *.stl*/ extensão correta para poder ser compreendido pelos sistemas das “Impressoras 3D”.

Em seguida as peças são executadas dentro do ambiente (*software da impressora*) 3D da impressora. Na maioria das vezes, cada fabricante de impressora desenvolve o seu ambiente de impressão. Para esse projeto foi utilizado a impressora da 3D Cloner.



Figura 55 - Impressora 3D - Fonte: o autor.

Para os modelos poderem serem impressos, os mesmos precisam passar por dois *softwares*: *ClonerGen3D* e *ClonerMaker3D*.

No *ClonerGen3D* é possível controlar a espessura que vai existir entre uma camada e outra, assim como a temperatura que o bico aquecerá, como o tipo de preenchimento da peça e a quantidade de material que existirá no meio da peça.

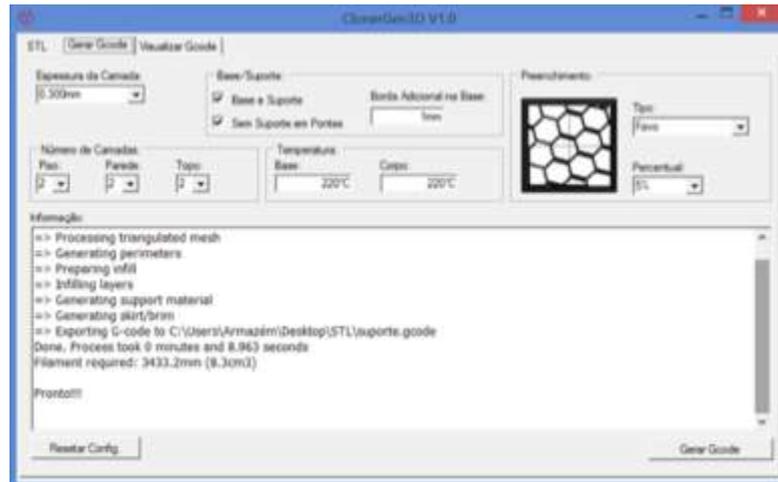


Figura 56 - Configuração para impressão das peças - Fonte: o autor.

Ainda nesse é gerado o GCode. Esse é código de impressão que será necessário para a peça ser impressa.

Em seguida é utilizado o software *ClonerMaker3D* nele é interpretado o código de impressão e transmitido para a impressora.

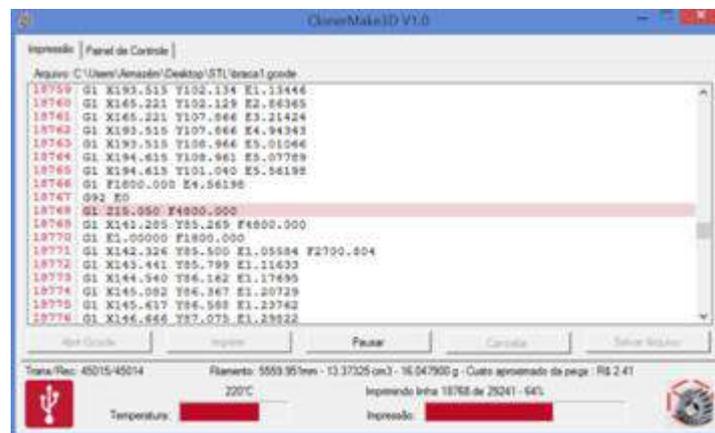


Figura 57 - ClonerMaker3D interpretando os códigos - Fonte: o autor.

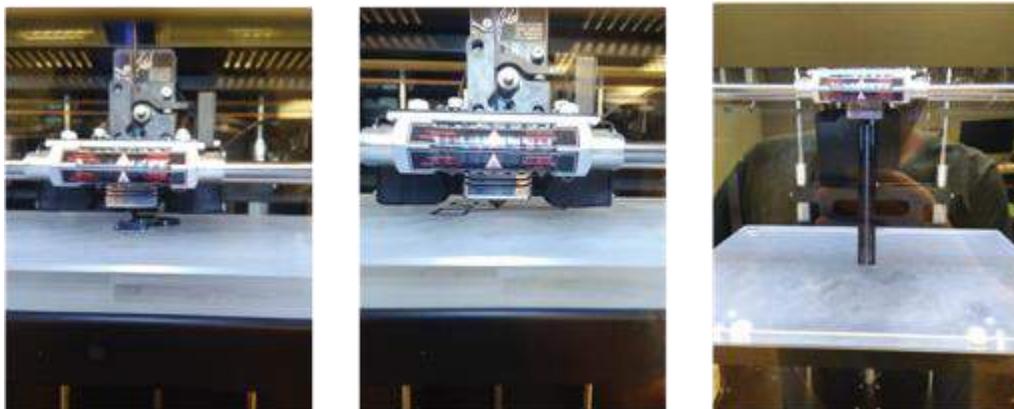


Figura 58 - Peças sendo prototipadas - Fonte: o autor



Figura 59 - Peça prontas - Fonte: o autor

Quando se trata da parte plana responsável para o suporte e manuseio de materiais (livro, caderno), foi utilizado o corte a laser para a conformação da mesma.

Para ocorrer o corte no material (MDF) é necessário o caminho do corte para o laser executá-lo. O *layout* do corte na maioria das vezes pode ser feito por

qualquer *software* que trabalhe com vetor. Para fins desse projeto o mesmo foi desenvolvido no *Illustrator*.

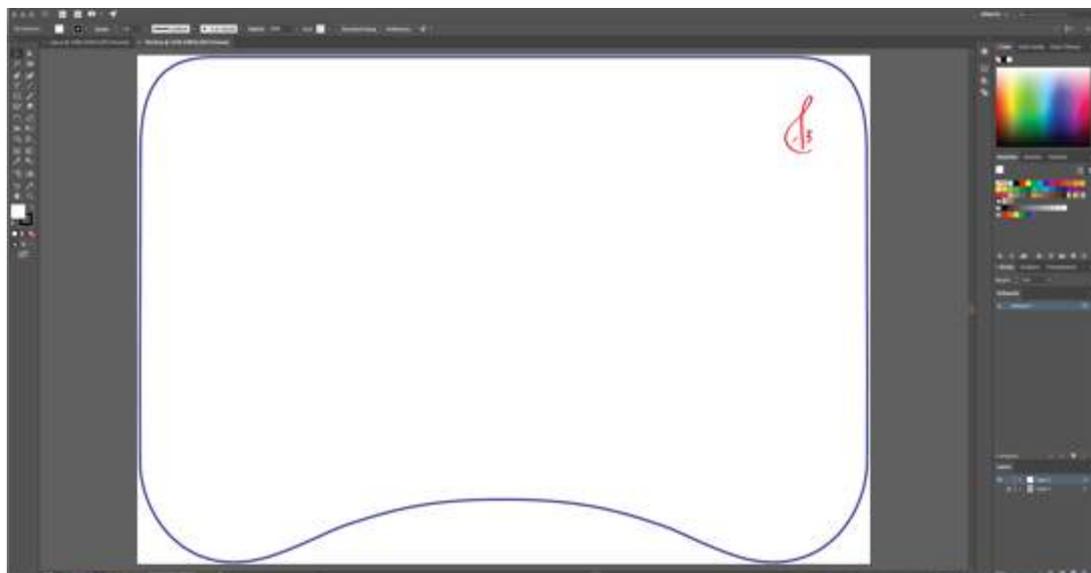


Figura 60 - *Layout* de corte feito no *Illustrator* - Fonte: o autor

Para cortar foi utilizado o *software JobControl*, ele identifica o *layout* de corte (caminho do corte) e faz o corte no material que o usuário necessita. Para esse projeto foi utilizado lamina de MDF de 3.4mm.

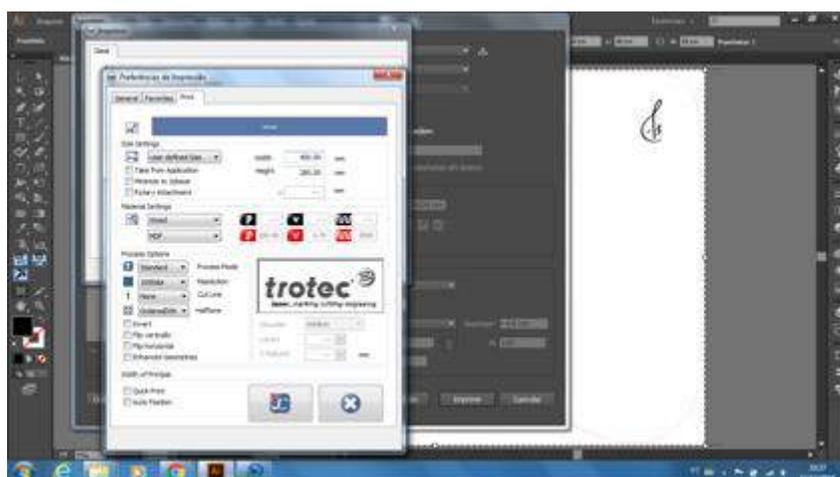


Figura 61 - *Software* operando o corte - Fonte: o autor.

Ainda é possível identificar o que será cortado e o que será gravado no MDF. No *layout* foi utilizado duas cores, no *JobControl* é possível identificar a distinção entre os dois.

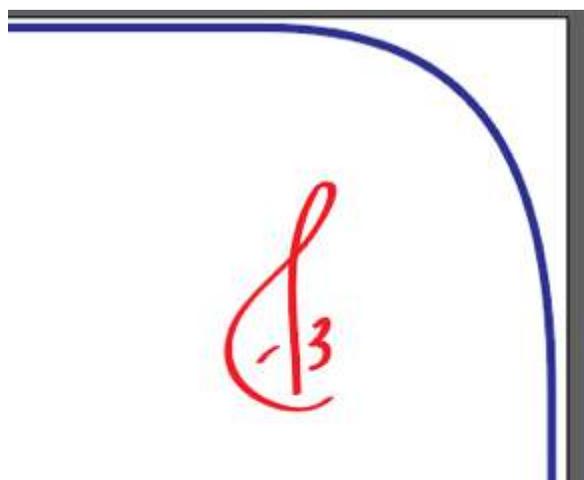


Figura 62 – Cores diferentes para diferenciar o corte do que vai ser gravado – Fonte: o autor.



Figura 63 - Peça final cortada e gravada a laser - Fonte: o autor.

3.8.1. Modelo final



Figura 64 - Modelo em escala reduzida - Fonte: o autor

3.8.2. Modelo final melhorado

Depois de protótipo o modelo do item 5.8.1 foi possível observar que é necessário fazer mudanças para a prototipagem do modelo em escala real para o usuário. O que chamou a atenção para a alteração foi a situação que o sistema de engate pode dificultar o uso quando o usuário estiver em situações que o seu braço esteja cansado, necessitando fazer mais esforço para o desengate.

Com foco nessa hipótese a alternativa pode ser melhorada utilizando um sistema de rotação deslizante, onde o usuário precisa apenas empurrar a superfície plana do suporte para o mesmo de deslocar.

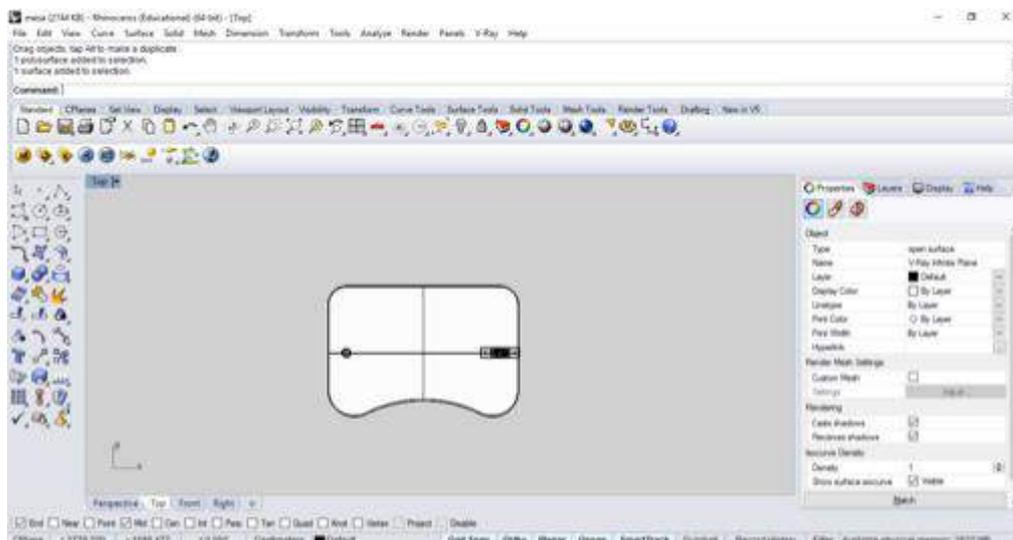


Figura 65 - Superfície sem deslocamento - Fonte: o autor.

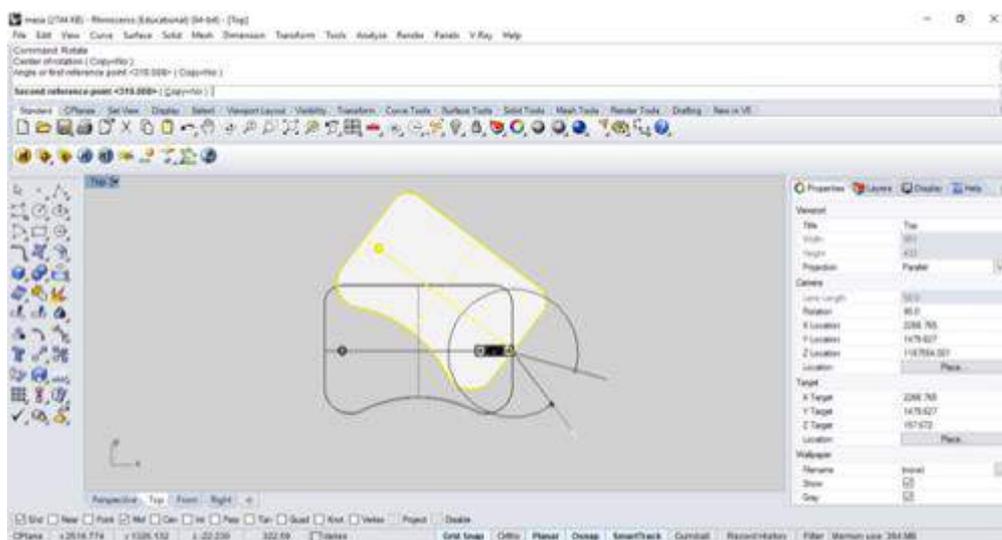


Figura 66 - Superfície em deslocamento - Fonte: o autor

3.9. Memorial descritivo

Para o desenvolvimento do projeto foi utilizado como material prima o PLA, utilizado para a extrusão na impressora 3D. Também foi utilizado MDF para a parte plana do suporte de leitura.

O suporte é composto por um conjunto de peças construídas em impressora 3D, peça de MDF cortada a laser, imãs de alta pressão, parafusos tipo fenda e arruelas. Foi necessário o uso dos imãs para facilitar na acoplagem e desacoplagem na cadeira.

É necessário deixar apenas na cadeira o sistema de fixação. Esse sistema foi desenvolvido para ficar fixo e com foco no não comprometimento das outras atividades realizadas na cadeira.

3.10. Considerações sobre o projeto

Para o desenvolvimento do projeto foi bastante produtivo e rápido desenvolvê-lo com o suporte da FDM e do corte a laser. O tempo que seria gasto com outras formas de produção de *mockup* manuais seria bem maior e muito exaustivo. Levando em conta com iria ter mais processos de conformação envolvidos até o modelo final ficar acabado. O que contrasta com os que foram comentados nos subitens acima. Com FDM e corte a laser o produto já está pronto para uso depois de conformado.

O processo de criação desse projeto é mais detalhado que no desenvolvimento de produtos para massas. Desenvolver produtos para massa não há a necessidade de entender questões extremamente pessoais dos usuários.

Tecnologias assistivas requerem mais detalhes como: a condição do usuário, as limitações do usuário, englobando condições fisiológicas, psicológicas e motoras do mesmo.

Nessa etapa ocorre uma relação simbólica muito grande entre o designer e o usuário para qual está sendo desenvolvido a tecnologia existe da parte do usuário uma comoção muito grande com o desenvolvimento do

projeto e o Designer tem que ser imparcial, o mesmo deve entender as condições, mas não pode deixar ser impacto, pois isso poderá influenciar no momento do entendimento da condição do usuário e assim refletir no desenvolvimento de um projeto que necessitará de alterações.

É necessário entender as necessidades e as limitações do usuário. A tecnologia assistiva deve ter um uso prático e descomplicado, a mesma deve ser de fácil entendimento, não requerendo conhecimentos específicos do usuário.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Produtos vem sendo desenvolvido desde as necessidades mais básica do homem no Período Neolítico. Com o decorrer do tempo novas tecnologias vão surgindo juntas com novas formas de produção de objetos. Atualmente o uso da prototipagem/manufatura rápida vem sendo difundida paulatinamente por conta que novas tecnologias não tem uma facilidade de uso e disseminação como tecnologias que já estão no mercado a décadas.

A “impressão 3D” assim como o corte a laser são tecnologias que estão sendo bastante difundidas e usadas na contemporaneidade. O laser tem um valor mais suave quando comparado a “impressão 3D”, todavia ambas são de total importância para o processo de prototipagem/manufatura rápida dentro do âmbito do design e no âmbito do desenvolvimento de produtos individualizados.

Essas tecnologias reduzem o tempo de produção e o tempo de conformação das peças quando comparados as técnicas manuais utilizadas por designers. Com a “impressão 3D e o corte a laser” os produtos após a finalização do processo de conformação das mesmas já estão aptos para o uso.

Com tempo de conformação reduzido propiciada pelos processos citados acima é possível identificar de forma ágil ainda em fase de protótipo os possíveis erros que com formas de conformação cotidianas é demorado e que na grande maioria das vezes é necessário fazer mudanças em diversas etapas do processo. Com essas tecnologias em situação que necessitarem de mudanças é possível realiza-las de forma rápida editando o modelo 3D e/ou layout de corte.

Com essas vantagens e facilidades o custo de erros é bem menor, assim como as complicações de prototipagem são ínfimas. Se faz necessário comentar que essas vantagens foram identificadas no desenvolvimento de produto individualizado, contudo o uso da “impressão 3D” vem sendo utilizado por diversos designers pelo

mundo todo, o que supõe que a mesma também facilita no processo de produtos sem a necessidade de serem tecnologia assistiva.

Com essa nova forma de conformação de objetos é necessário agora reflexões sobre o que é Design, pois existe autores que afirmam que produtos são considerados produtos quando produzidos por uma máquina e em grande escala. Partindo pressuposto, o produto final dessa monografia é um produto feito por designer, passou por metodologia de design, mas não é produzido em grande escala. Assim como as pessoas evoluem, tecnologias também.

Se faz necessário a reflexão do que é Design e como produtos de Design produzidos nessa era de grandes intervenções tecnológicas por conta que o processo de conformação de produtos não mais categorias se o mesmo é um produto de design, mas a metodologia de design usada para conceber o produto final.

REFERÊNCIAS

AGUIAR, Magna Caires. **Avaliação da prototipagem rápida em impressão 3d como uma inovação tecnológica aplicada ao desenvolvimento de produtos** - um estudo multicaso. Projeto de graduação – UNIVEM, São Paulo. 2013.

ALCOFORADO, Manoel Guedes. **Metodologia de Design mediada por protótipos**. 2014. 460f. Tese (Doutorado em Design) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação, Bauru. 2014.

ALMEIDA, Wagner José de. **Otimização estrutural de protótipos fabricados pela tecnologia FDM utilizando o método dos elementos finitos**. Dissertação Mestrado em Engenharia Mecânica, Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2007.

ANTAS, Ana Filipa Felgueiras. **Utilização das tecnologias de prototipagem rápida na área de Médica**. Dissertação Mestrado em Design Industrial, FEUP/ESAD, 2007.

AZEVEDO, Fábio Mariotto de, **Estudos e projetos de melhoria em máquina de impressão 3D** – Escola de Engenharia de São Paulo da Universidade de São Paulo, 2013.

BOUERI, José Jorge. **Antropometria aplicada à Arquitetura, Urbanismo e Desenho Industrial**. São Paulo, FAU/USP, 1991, v. I.

BRASIL, Subsecretaria Nacional de Promoção dos Direitos da Pessoa com Deficiência. **Tecnologia Assistiva**. Brasília, CORDE, 2009.

BUSWELL, R. SOAR, R.; GIBB, A.; THORPE, A. **Freeform Construction: Mega-scale Rapid Manufacturing for construction**. In: Automations in Construction 16, 2007, p. 224-231.

BYSTRONIC. **Corte a laser**. Disponível em: <
http://www.bystronic.com.br/cutting_and_bending/br/pt/products/laser/index.php>.
Acesso em: 12 jun. 2016.

BLAICH, R. **Ergo design as a corporate strategy**. In: Behaviour and information technology. London, Taylor & Francis, 1987. Vol. 6, no. 3. Pp 219-227.

CARDOSO, Rafael. **Uma introdução à história do design**. São Paulo: Blucher, 2008.

CAMARGO Fábio R. **Modelo para análise e seleção de alternativas na etapa conceitual de projeto: uma abordagem envolvendo variáveis do processo de negócio**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2007.

CASAGRANDE, Marcus Vinicius Sena. **Projeto de um cabeçote de extrusão de uma máquina de prototipagem rápida FDM**. Projeto de graduação – UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

CALVERA, Anna. Treinando pesquisadores para o design: algumas considerações e muitas preocupações acadêmicas. **Revista Design em foco**, Salvador, v. 3, n. 1, p. 97-120, jan/jun. 2006.

CIMM. Disponível em:<http://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3632-estudo-do-cavaco#.VndE9pMrKek> Acesso em 20 de Dezembro de 2015.

CONSOLO, Cecília. **Anatomia do Design: uma análise do design gráfico brasileiro** – São Paulo: Blucher, 2009.

CORLETT, Nigel; WILSON, John; MANENICA, Ilija. **The ergonomics of working postures**. London: Taylor & Francis, 1986.

COSTA, Leila Miguelina Aparecida. **O artesanato como forma de manifestação**

cultural e complementação de renda: um estudo de caso da Associação Comunitária do Bairro do Lambari. Trabalho de conclusão do curso de pós-graduação em Gestão de Projetos Culturais e Organização de Eventos – São Paulo: CELACC/ECA – USP, 2012.

CUNICO, Marlon Wesley Machado. **Impressoras 3D:** o novo meio produtivo – Curitiba: Concep3D Pesquisas Científicas Ltda, 2014.

CHOI, S. H. e CHAN, A. M. M. **A virtual prototyping system for rapid product development.** *Computer-Aided Design*, No. 36, p. 401-412, 2004.

DEURSEN, Felipe. **A revolução das impressoras 3D.** Super Interessante, n. 314, p. 31-32, 2013.

DIFFRIENT, Niels; TILLEY, Alvin; HARMAN, David. **Humanscale.** Massachusetts: Henry Dreyfuss Associates, 1981 v. I ao 9.

DUL, Jan. **Ergonomia Prática – 2ª ev.** Rev e ampl. – São Paulo: Edgard Blucher, 2004.

FARBIARZ, Jackeline Lima; FARBIARZ, Alexandre. Do códice ao e-book: o texto e o suporte. In: L. A. L. Coelho & A. Farbiarz (Orgs.). **Design:** olhares sobre o livro. Teresópolis: Novas Ideias, 2010.

FRASCARA, Jorge. **Diseño gráfico para la gente.** Comunicaciones de masa y cambio social. 3.ed. Buenos Aires: Ediciones Infinito, 2004.

FORTY, Adrian. **Objeto de desejo – design e sociedade desde 1750.** Tradução: Pedro Maia Soares. São Paulo: Cosac Naify, 2007.

FLUSSER, Vilém. **O mundo codificado:** por uma filosofia do design e da comunicação. Organização: Rafael Cardoso. Tradução: Raquel Abi-Sâmara. São Paulo, SP: Cosac Naify, 2007.

GIBSON, I.; ROSEN, D. W.; STUCKER, B. **Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing**. New York: Springer Heidelberg Dordrecht London, 2010.

GIL, Antônio Carlos, 1946 - **Como elaborar projetos de pesquisa**. - 4. ed. - São Paulo: Atlas, 2002.

GORNI, Antonio Augusto. **Introdução à Prototipagem Rápida e seus Processos** – Revista Plástico Industrial, Março de 2001.

HOPKINSON, N.; HABGUE, R. J. M.; DICKENS, P. M. **Um aplicativo para o processamento de geometria de prototipagem rápida**. XIX Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia – CRICTE. Curitiba – PR. 2004.

HOTZA, Dachamir. **Prototipagem rápida de pilhas a combustível de óxido sólido** – Revista Matéria, v. 14, n. 4, p. 1101-1113, 2009.

IIDA, Itiro. **Ergonomia: projeto e produção** – 2ª Ed. Ver. E Ampli. - São Paulo: Blucher, 2005.

JOAQUIM, R.; RAMALHO, J. **Soldagem laser**. Apostila Técnica, 2010.

KAI, C. C.; JACOB, G. K.; MEI, T. **Interface between CAD and Rapid Prototyping systems**. Part1: a study of existing interfaces. Advanced Manufacturing Technology, v. 13, p. 566-570, 1997.

KAMINSKI, P. C. **Desenvolvendo produtos com planejamento, criatividade e qualidade**. Rio de Janeiro. LTC Editora. 2000.

KAPANDJI, A. I. **Fisiologia articular: tronco e coluna vertebral**. 5 ed. São Paulo: Médica Panamericana, 2000.

KAUARK, Fabiana. **Metodologia da pesquisa: guia prático** / Fabiana Kauark, Fernanda Castro Manhães e Carlos Henrique Medeiros. – Itabuna: Via Litterarum, 2010.

LABGRAPH. Disponível em:
<http://www.factoryoffactories.com/fof_br/rapidprotot_br.htm> Acessado em 14 Nov. de 2015.

LAFRATTA, F. H. **Uso de fluido refrigerante, temporariamente confinado, em ferramental rápido para a injeção de termoplásticos.** 2004. 180f. Tese de Doutorado – Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

LIPSON, H.; KURMAN, M. **Fabricated: The New World of 3D Printing.** Indianápolis: John Wiley & Sons, Inc., 2013.

LÖBACH, B. **Design industrial: bases para a configuração dos produtos industriais.** s. l.: Edgar Blücher, 2001.

MACEDO, Graciele Marcela Almeida. **Comparação de duas diferentes tecnologias de prototipagem rápida na concepção de novos produtos: Estereolitografia e modelagem por decomposição de material fundido (FDM) – um estudo de caso,** 2010. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora. 2010.

MACHADO, Á. R.; Abrão, A. M.; Coelho, R. C.; Silva, M. B. **Teoria da usinagem dos materiais.** São Paulo: Blücher, 2009.

MALDONADO, Tomás. **Design industrial.** Lisboa: Edições 70: LDA, 1999.

MODEEN, Thomas. **CADCAMing. The use of rapid prototyping for the conceptualization and fabrication of architecture.** Automation in Construction, No. 14, p. 215-224, 2005.

MONTEIRO, Marco Túlio Ferreira. **A impressão 3D no meio produtivo e o design: um estudo na fabricação de joias.** 2015. 129f. Dissertação (Mestrado em Design) – Universidade Estadual de Minas Gerais, Minas Gerais. 2013.

MONTMOLLIN, M. **A ergonomia.** Lisboa, Instituto Piaget, 1990.

MORAES, Dijon. **Metaprojeto: o design do design**. São Paulo: Blucher, 2010.

MORAES, Anamaria; SOARES, Marcelo. **Ergonomia no Brasil e no mundo: um quadro uma fotografia**. Rio de Janeiro: ABERGO:UERJ:ESDI:Univerta, 1989.

MORAES, Anamaria; MONT'ALVÃO, Cláudia. **Ergonomia conceitos e aplicações**. 2. Ed. Rio de Janeiro: 2AB, 2000.

MORAES, Anamaria de. O projeto ergonômico de espaços de trabalho: Exemplos de estações de trabalho informatizadas. In: LAMBERTS, R.; GONTIJO, L.; GERGERS, S.; PHILIPPI, P.; FERREIRA, F. (org) Anais do 2º Encontro Conforto no ambiente. Florianópolis: ANTAC: ABERGO: SOBRAC, 1993, p. 363-372.

MORAES, Anamaria; PEQUINI, Suzi. **Ergonomia e usabilidade**. Salvador: UNEB, 2004.

MORAIS, W. A.; BORGES, H. C. **Adequações nas práticas dos novos processos de corte e dobra para otimizar o desempenho de aços planos**. Tecnol. Metal. Mater. Miner., São Paulo, v. 7, n. 1-2, p. 54-60, jul.-dez. 2010.

MUNARI, Bruno. **Das coisas nascem coisas**. 2. Ed. São Paulo, 2008.

NASCIMENTO, Allan André. **Tendências Tecnológicas em Prototipagem Rápida e Manufatura Aditiva** - Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica, 2013.

OLIVER, Jean; MIDDLEDITCH, Alison. **Anatomia funcional da coluna vertebral**. Rio de Janeiro: Revinter, 2000.

ONO, Maristela Mitsuko. **Design e Cultura: sintonia essencial**. Curitiba: Edição da Autora, 2006.

PANERO, Julius; ZELNIK, Martin. **Dimensionamento Humano Para Espaços Interiores**. São Paulo: Gustavo Gili, 8ªed, 2013.

PAZ, Octavio. **O uso e a contemplação**. In: Revista raízes uol, s/d. Disponível em: <http://revistaraiz.uol.com.br/portal/index.php?Itemid=116&id=102&option=com_content&task=view> Acesso em: 03 de Agosto de 2014.

PRADELLA, Marcelo Pinto; FOLLE, Luís Fernando; **Análise de mercado sobre tecnologias de prototipagem rápida por adição de material** In: Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design P&D2014, Gramado. Anais do P&D, 2014.

PEQUINI, Suzi Mariño; **Ergonomia aplicada ao design de produtos**: um estudo de caso sobre o design de bicicletas. São Paulo, USP, 2005

PUGH, S. [February 1991]. **Total Design**: Integrated Methods for Successful Product Engineering. Addison-Wesley. ISB N 0201416395

PUPO, Regiane Trevisan. **A inserção da prototipagem e fabricação digitais no processo de projeto**: um novo desafio para o ensino da arquitetura. Tese de Doutorado – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo. Campinas, 2009.

REPRAP. Disponível em: <<http://www.reprap.org/wiki>> Acesso em: 12 de Janeiro de 2015.

SELHORST JUNIOR, A. **Análise comparativa entre processos de prototipagem rápida na concepção de novos produtos**: um estudo de caso para determinação do processo mais indicado. Dissertação de mestrado, Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Produção e Sistemas – Centro de Ciências Exatas e de tecnologia, Curitiba: Pontifícia Universidade Católica do Paraná, 2008.

SMITH, Laura K et al. **A Síndrome Pós-pólio**. In: UMPHERED, Darcy et al. (Comp.). Reabilitação Neurológica. 4^a. ed. Barueri: Manole, 2004. Cap. 19, p. 608- 626.

SOUZA, Adriano Fagali de; ULBRICH, Cristiane Brasil Lima. **Engenharia Integrada por Computador e Sistemas CAD/CAM/CNC** – Princípios e Aplicações. São Paulo, Artliber, 2009, 335p.

TAKAGAKI, Luiz Koiti; **Tecnologia de impressão 3D** – Revista Inovação Tecnológica, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 28-40, jul./dez. 2012.

THRE3D. Thre3D. THRE3D - 3D Printing, Simplified., 2014. Disponível em: <<https://thre3d.com>>. Acesso em: 17 maio 2014.

ULLMAN, D. G. **The mechanical design process**. 4a Edição. New York: McGraw-Hill, 2010.

UPCRAFT, S.; FLETCHER, R. **The Rapid Prototyping technologies**. Rapid Prototyping Journal, v. 23, n. 4, p. 318-330, 2003.

VILAS BOAS, Fábio. **Desenvolvimento de uma ferramenta de CAD aplicada ao projeto de hélices para veículos aquáticos não tripulados**. Dissertação de mestrado em Engenharia – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2006.

VOLPATO N. et al (2007). Os principais processos de prototipagem rápida...Cap. 3, p. 31-57.

WEISS, Almiro. **Processos de fabricação mecânica**. Curitiba: Livro Técnico, 2012. 264 p.

Referências de Imagens

Figura 1 - <https://i.ytimg.com/vi/2ekRLnLgrv8/maxresdefault.jpg> - Acessado em 10/12/2015

Figura 2 - <http://www.adidas-group.com/en/media/news-archive/press-releases/2015/adidas-breaks-mould-3d-printed-performance-footwear/> - Acessado em 20/12/2015

Figura 3 - https://encrypted-tbn3.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcR_4ggdubJYx7G5pTehbEZY8zG6HZPuCO RsKdyAfXSGBO6vgh0 - Acessado em 15/12/2015

Figura 4 – <http://impresoras3dlowcost.com/787/abs-filamento-3d.jpg> - Acessado em 17/12/ 2015

Figura 5 – http://41.media.tumblr.com/8dbac4fb7664ef184a7759b481ab994f/tumblr_nlwqs6WQJs1rd07edo1_500.jpg - Acessado em 17/12/2015

Figura 6 - http://41.media.tumblr.com/8dbac4fb7664ef184a7759b481ab994f/tumblr_nlwqs6WQJs1rd07edo1_500.jpg - Acessado em 18/12/2015

Figura 7 - http://41.media.tumblr.com/8dbac4fb7664ef184a7759b481ab994f/tumblr_nlwqs6WQJs1rd07edo1_500.jpg - Acessado em 27/12/2015

Figura 8 – <https://www.logismarket.pt/ip/lasermaq-fresadora-fresadora-mdx-15-da-roland-946447-FGR.jpg> - Acessado em 23/12/2015

Figura 9 - <http://www.proptimus.com.br/wp-content/uploads/2015/01/infografico-usando-maquina-usinagem-cnc.jpg> - Acessado em 23/12/2015

Figura 10 - http://www.plastico.com.br/plastico/wp-content/uploads/2013/07/ferramentaria_moderna_CAD-CAM.jpg - Acessado em 26/12/2015

Figura 11 - <http://api.ning.com/files/UytU4r62uFOdVuJYLSdazU4zLn7a3p19A7dUHekJ-VSxqVsNtQOdSijwNDPzZM7rfrG6U4HBN8TLKVrqVWdcfoG4uOB3gLGj/madeira.JPG> - Acessado em 26/12/ 2015.

Figura 12 - <http://www.industriahoje.com.br/wp-content/uploads/2013/05/processo-corte-laser.gif> - Acessado em 11/06/2016.

Figura 13 - <http://www.exportlaser.com.br/wp-content/uploads/2014/04/corte-laser-couro.jpg> - Acessado em 11/06/2016

Figura 15 - <http://g02.a.alicdn.com/kf/HTB1b9wyHVXXXccXpXXq6xXFXXX/High-Precision-10PCS-font-b-3D-b-font-Printer-J-head-E3D-0-3MM-Extruder-Brass.jpg> - Acessado em 27/12/2015

Figura 16 - http://pcworld.com.br/idgimages/imagefolder.2014-01-02.5119367855/chefjet_chocolate-435px.jpg - Acessado em 27/12/2015

Figura 17 - http://www.havetech.com.br/wp-content/uploads/2014/08/Img-prints-pag_LOM.png - Acessado em 29/12/2015.

Figura 18 - http://www.imanishi.co.jp/web/lom/impeller_lom.jpg - Acessado em 31/12/2015.

Figura 21 - http://www.me.utexas.edu/_images2012/sls_part_in_powder_300x448.jpg - Acessado em 30/12/2015.

Figura 22 - <http://3dprint.com/wp-content/uploads/2015/07/rinse3.png> - Acessado em: 30/12/2015.

Figura 23 - http://growthobjects.com/wp/wp-content/uploads/2013/09/go_hicong_11.jpg - Acessado em 30/12/2015.

Figura 2567 - <http://3dprint.com/wp-content/uploads/2014/05/titan-dragon.jpg> - Acessado em 30/12/2015.

Figura 26 - https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/b/b6/Schematic_Diagram_of_Solid_Ground_Curing_Process.jpg - Acessado em 31/12/2015.

Figura 27 - http://www.ielm.ust.hk/dfaculty/ajay/courses/ieem513/RP/cubital_f1.gif - Acessado em 31/12/2015.

Figura 28 - <http://www.custompartnet.com/wu/images/rapid-prototyping/inkjet-printing-small.png> - Acessado em 31/12/2015.

APÊNDICES**Apêndice A - Entrevista****ENTREVISTA****Nome:****Idade:****Estado civil:****Trabalho:****Seu dia-a-dia:****A necessidade especial:****Limitações:****Quadro clinico:****Mobilidade corporal:****Movimentação dos braços****Pescoço****SOBRE O PROJETO****Objetivo:****Necessidades:****Aspirações:**

Apêndice B - Dimensionamento da cadeira do cadeirante

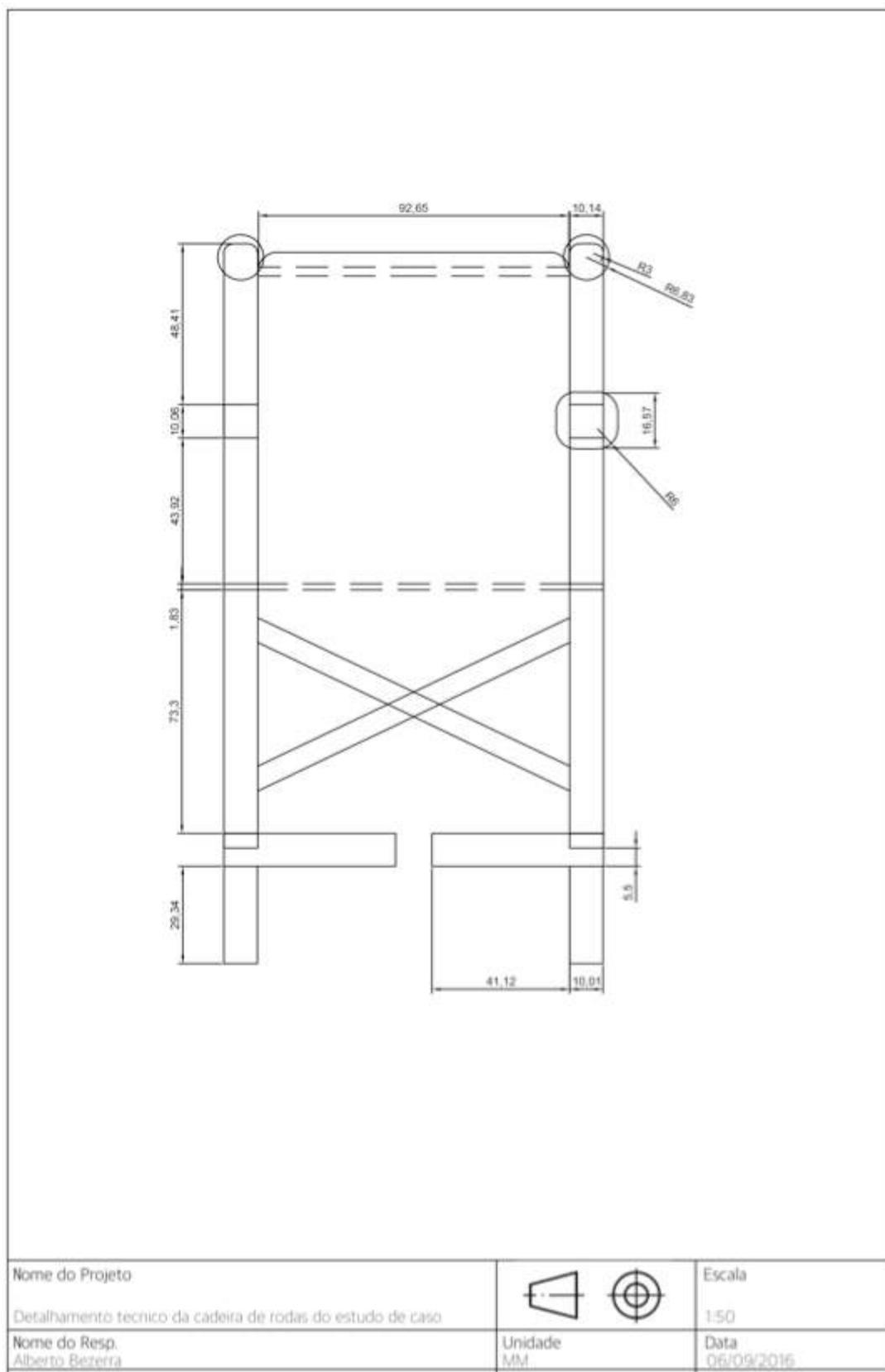


Figura 68 - Vista frontal da cadeira de roda - Fonte: o autor

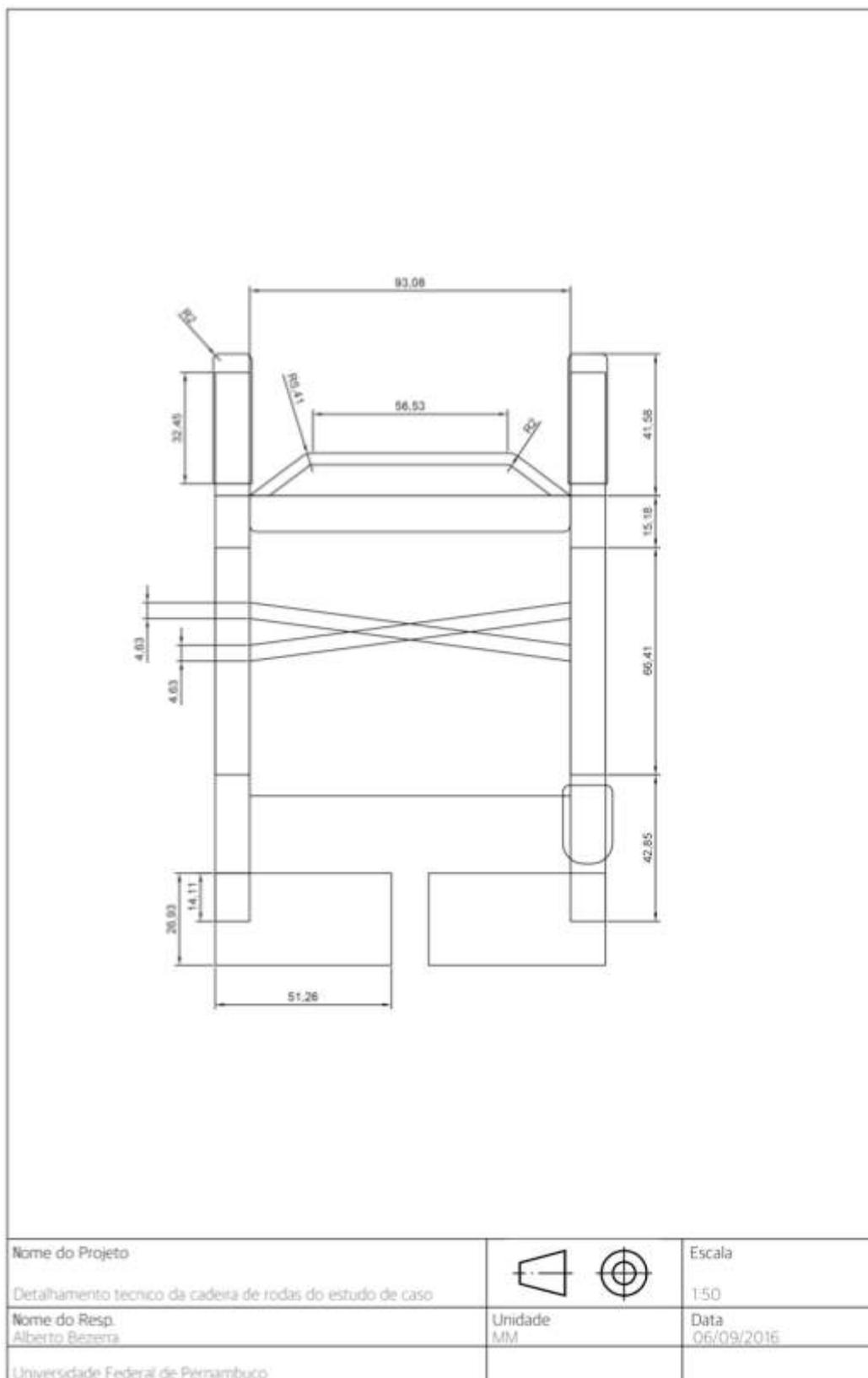


Figura 69 - Vista superior - Fonte: o autor

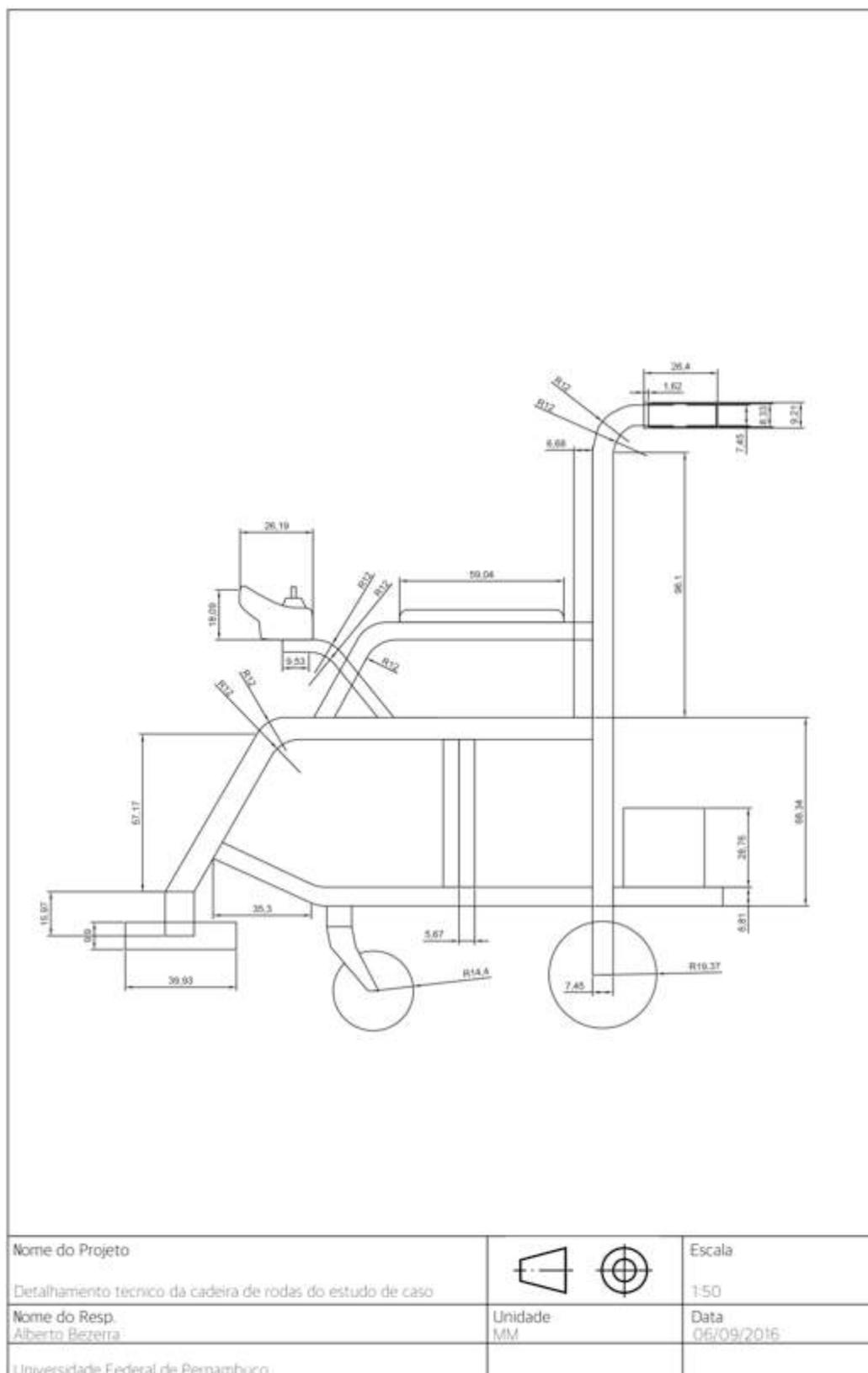


Figura 70 - Vista lateral - Fonte: o autor

ANEXOS

Anexo A - Escala de avaliação de desconforto postural

Fonte: <https://goo.gl/FB1ieM> < Acessado em 8 de Out. de 2016 >

Intensidade				
1	2	3	4	5
↑ Nenhum desconforto/ dor	↑ Algum desconforto/ dor	↑ Moderado desconforto/ dor	↑ Bastante desconforto/ dor	↑ Intolerável desconforto/ dor
<i>Escala progressiva de desconforto/dor</i>				

Tronco

Pescoco (6) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5 <input type="checkbox"/> 6	Costas-medio (3) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
Região cervical (5) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5	Costas-inferior (4) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
Costas-superior (2) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5	Bacia (5) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5

Lado esquerdo Ombro (6) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5	Lado direito Ombro (7) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
Braco(8) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5	Braco(9) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
Cotovelo (10) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5	Cotovelo (11) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
Antebraço (12) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5	Antebraço (13) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
Punho (14) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5	Punho (15) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
Mão (16) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5	Mão (17) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
Coxa (18) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5	Coxa (19) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5
Perna (20, 22, 24, 26) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5	Perna (21, 23, 25, 27) <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> 5

Mapa de regiões corporais

